

Odziv gozdnega drevja na globalno segrevanje

Forest Tree Response to Global Warming

Tom LEVANIČ¹

Izvleček:

Levanič, T.: Odziv gozdnega drevja na globalno segrevanje; *Gozdarski vestnik*, 75/2017, št. 4. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. Lit. 26. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Globalno segrevanje vpliva na gozdne ekosisteme, kar je mogoče opaziti v vedno večjem odmiranju dreves in sušenju večjih predelov gozdov. Vzrok za globalno segrevanje je dvigovanje koncentracij toplogrednih plinov v atmosferi, kar je posledica pretirane porabe fosilnih goriv, izsekavanja gozda, kurjenja z biomaso, intenzivnega kmetijstva in prometa. Odziv dreves na globalno segrevanje smo z dendrokronološkimi metodami proučili na rastiščih na zgornji gozdni meji in v nižinah JZ Balkana in ugotovili, da so prvi znaki vpliva globalnega segrevanja na rast dreves že vidni. Na zgornji gozdni meji, kjer ima temperatura ključno vlogo na rast, je odziv sprva pozitiven, v nižinah pa imajo ključno vlogo padavine; zmanjševanje količine padavin negativno vpliva na rast in je vzrok za hitro povečevanje odmiranja v nižinskih gozdovih.

Ključne besede: globalne spremembe, odziv dreves, dendroklimatologija, JZ Balkan, rekonstrukcija klime

Abstract:

Levanič, T.: Forest Tree Response to Global Warming; *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 75/2017, vol 4. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 26. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Global warming affects forest ecosystems, which can be observed in increased mortality of trees and drying of increasingly larger forest areas. The cause of global warming is an increase of greenhouse gas concentration in the atmosphere, which is a consequence of excessive fossil fuels, deforestation, burning of biomass, intensive agriculture, and traffic. We studied tree response to global warming with the use of dendrochronological methods on sites at the upper forest boundary and in the lowlands of SW Balkan and we have found out, that the first signs of global warming impact on tree growth are already noticeable. At the upper forest boundary, where the temperature has a key impact on the growth, the response is positive at first, in the lowlands, where the key role is played by precipitation, the reduction of precipitation negatively affects the growth and represents the cause for a quick increase in mortality in lowland forests.

Key words: global change, tree response, dendroclimatology, SW Balkan, climate reconstruction

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Z globalnimi spremembami se srečujemo v vseh sferah našega življenja. Tudi gozdni ekosistemi niso imuni za globalne spremembe, kar je opaziti v vedno večjem odmiranju dreves in gozdnih ekosistemov širom sveta (McDowell in Levanič, 2014). Glavni namen pričujočega prispevka je na kratko predstaviti vzroke za globalno segrevanje, povzeti nekatere glavne posledice globalnega segrevanja na rast dreves in predstaviti nekatere rezultate raziskav priraščanja dreves na JZ Balkanu, ki smo jih pridobili v okviru različnih raziskovalnih projektov na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

2 TOPLOGREDNI PLINI IN SPREMINJANJE CO₂ V OZRAČJU

2 GREENHOUSE GASSES AND CHANGE OF CO₂ LEVEL IN THE ATMOSPHERE

Globalno segrevanje in podnebne spremembe sta dva termina, ki sta v javnosti pogosto v uporabi in se nanašata na višanje temperatur v zadnjem stoletju in na s tem povezane posledice za ekosisteme na Zemlji. Številni znanstveni dokazi kažejo, da se podnebje na Zemlji dejansko ogreva in samo

¹Prof. dr. T. L., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. tom.levanic@gozdis.si

med letoma 2010 in 2016 so bila leta 2010, 2013, 2014, 2015 in 2016 toplejša od predhodnega in hkrati toplejša od dolgoročnega povprečja (glej npr. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016, published online January 2017, 2017; Pachauri in Meyer, 2014). Podnebne spremembe imajo številne posredne in neposredne vplive na rast dreves, na razvoj in produktivnost gozdnih ekosistemov, na selitve drevesnih vrst in na pogostost motenj v gozdnih ekosistemih (npr. vetroolomi, žledolomi, napadi podlubnikov, gozdni požari ...) (Lindner in sod., 2014). Spreminjajoča se razporeditev padavin vpliva na pojav suše tam, kjer je doslej, vsaj v večjem obsegu, nismo beležili in vpliva na rast in produktivnost gozdnih ekosistemov, kar je že danes vidno npr. na JZ ZDA (McDowell in Levanič, 2014; McDowell in sod., 2015; Park Williams in sod., 2013). Vedno večja količina CO₂ v atmosferi na splošno sicer pozitivno učinkuje na rast dreves, vendar samo do določene meje. Pri smreki je tako učinek povišanega CO₂ v atmosferi pozitivno vplival na fotosintezo, medtem ko samo višanje temperature ni imelo statistično značilnega vpliva. Kombinacija povišanih temperatur in višje koncentracije CO₂ pa je delovala negativno na fotosintezo (Lamab in sod., 2014).

Glavni vzrok za globalno segrevanje je, glede na mnenje strokovne javnosti, večanje količine CO₂ v atmosferi (glej npr. Shakun in sod., 2012). CO₂ spada v skupino toplogrednih plinov in je nujno potreben za vzdrževanje za življenje primernih temperatur na Zemlji. V skupino toplogrednih plinov spadajo še nekateri drugi plini, ki so ravno tako ali pa še pomembnejši za vzdrževanje podnebja na Zemlji. Kot prvega omenjamo vodo oz. **vodno paro**. V atmosferi ima voda dve vlogi: v prvi deluje kot toplogredni plin, v drugi pa zaradi tvorbe oblakov in padavin preprečuje segrevanje pritalne plasti atmosfere. Zaradi t.i. »povratnega učinka« je voda izredno pomembna sestavina našega ozračja in eden od blažilnikov globalnega segrevanja (glej npr. Solomon in sod., 2010)

Ogljikov dioksid je nujno potreben plin za proces fotosinteze na Zemlji; prihaja iz naravnih virov (npr. dihanje rastlin, vulkanska dejavnost) ali iz antropogenih (npr. izsekavanje gozdov, sprememba rabe tal, kurjenje fosilnih goriv). Člo-

vekov vpliv na dvig koncentracije CO₂ v atmosferi je znaten. Od začetka industrijske revolucije do danes nam je koncentracija CO₂ v atmosferi uspelo dvigniti za več kot tretjino, s 280 ppm na 400 ppm in količina se vztrajno večja. Glede na podatke iz izvrtkov ledu koncentracija CO₂ v atmosferi v zadnjih 400.000 letih nikoli ni preseгла 300 ppm (Barnola in sod., 1987; Petit in sod., 1999). Samo v zadnjih sto letih pa se je dvignila na raven, kot je ni zaslediti niti v meritvah ledenih izvrtkov za zadnjih dva tisoč let (MacFarling Meure in sod., 2006).

Tudi **Metan (CH₄)** spada med toplogredne pline. Viri metana so naravni in antropogeni. Od antropogenih so največji izvori metana razpad organske snovi na deponijah, kmetijstvo in, zanimivo, pridelava riža. Kot pomemben vir metana literatura omenja tudi živinorejo. Velika grožnja so tudi ogromne količine metana, ki so nakopičene pod trajno zmrznjenimi plastmi v arktičnih predelih in bi se lahko sprostile, če bi se začel topiti permafrost. Zaradi zgradbe molekule ima metan 36-krat večji potencial globalnega segrevanja kot CO₂. Na srečo pa je v atmosferi manj pogost in relativno hitro tudi izgine iz ozračja – v približno dvanajstih letih.

Dušikov oksid (N₂O) je kot toplogredni plin približno 280-krat močnejši od ogljikovega dioksida. Največji viri dušikovega oksida so: kmetijstvo, gnojenje z umetnimi gnojili, uporaba fosilnih goriv in kurjenje biomase. V povezavi z močnim UV-sevanjem poleti tvori škodljiv pritalni ozon. Je relativno dolgoživ plin, ki iz atmosfere izgine v približno 114 letih.

Klorofluorogljikvodiki (CFC ali freoni) so sintetične spojine, ki so v celoti narejeni umetno., Namenjene so uporabi v hladilnih sistemih, kot potisni plini v pršilih; zaradi vpliva na stratosferski ozon so bolj ali manj prepovedani. Izjemno močno vplivajo na segrevanje ozračja, do 20.000-krat bolj kot CO₂, razgrajujejo ozon v zgornjih plasteh ozračja in so precej dolgožive, od 1 do 50.000 let (odvisno od spojine). Predstavljeni podatki o toplogrednih plinih so povzeti iz spletne strani https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas.

Pri toplogrednih plinih je ključno, da so vsi, razen CFC-ja, v naravi vedno prisotni. Toplogredni plini v atmosferi so nujni za vzdrževanje

ustreznega življenjskega okolja na Zemlji. Brez njih v atmosferi bi bila povprečna temperatura na Zemlji približno -18°C , v resnici pa je 14°C , in to predvsem zaradi toplogrednih plinov (Pachauri in Reisinger, 2007). Brez njih bi bilo življenje na Zemlji praktično nemogoče, zato je določena koncentracija nujno potrebna, težava naše civilizacije pa je, da smo s čezmerno rabo fosilnih goriv, intenzivnim kmetijstvom, izsekavanjem gozdov in uničevanjem ekosistemov posegli v občutljivo ravnovesje toplogrednih plinov v atmosferi in tako sprožili procese, ki na dolgi rok, brez spremembe ravnanja, vodijo v težko predvidljivo prihodnost (Pachauri in Meyer, 2014).

3 DREVESA KOT NARAVNI ARHIV PODATKOV

3 TREES AS A NATURAL DATA ARCHIVE

Drevesa so se izkazala za zelo pomemben arhiv okoljskih podatkov, saj so s koreninami pritrjena v tla in ne morejo pobegniti neugodnim okoljskim ali podnebnim razmeram, tako kot lahko to storijo ljudje ali živali (McCarroll in Loader, 2004). Zato se za rast ugodne in neugodne razmere zrcalijo v širini letnih debelinskih prirastkov, v izotopski sestavi branike, širini ranega in kasnega lesa in različnih lesnoanatomskih značilnostih branike (Fonti in sod., 2010; Fritts, 1976; Schweingruber, 1993). Če vse značilnosti povežemo z okoljskimi podatki, lahko ugotovimo, kako okolje vpliva na rast dreves in kaj se bo zgodilo, če bodo spremembe okolja potekale v smeri nadaljnjega segrevanja in zmanjševanja količine padavin ter spreminjanja drugih okoljskih parametrov.

V luči globalnega segrevanja je poznavanje rasti in odzivanja dreves v preteklosti pokazatelj, kako so se drevesa odzvala na različne podnebne in okoljske strese (npr. ozka branika je lahko posledica suše). Ko nam uspe povezati določeno informacijo o braniki (npr. ozka ali široka branika) s podnebnimi podatki in narediti na tej podlagi model, ga lahko povežemo tudi z različnimi scenariji podnebnih sprememb. Na takšen način lahko ugotovimo, kaj se bo dogajalo z drevesnimi vrstami (in gozdnimi ekosistemi) v podnebno manj ugodnih razmerah v bližnji in daljni prihodnosti.

Odziv dreves na podnebne in okoljske dejavnike lahko proučujemo tako, da analiziramo različne

parametre drevesnih branik. Širina branike je samo eden od njih, ki ga je najlažje meriti in je relativno poceni; poznamo pa tudi druge parametre. Med najbolj uporabne sodi podatek o razmerju stabilnih izotopov ogljika, kisika (in vodika) v letnih debelinskih prirastkih. Zanimive so tudi informacije o širini ranega in kasnega lesa ter o različnih lesno-anatomskih značilnostih branike (Fonti in sod., 2010).

Ko podatke povežemo z merjenimi podatki o temperaturah, padavinah, sončnem obsevanju itd. pridemo do informacije o odzivu dreves na podnebje in tako postavimo izhodišče za rekonstrukcijo podnebja za nazaj in ob upoštevanju podnebnih scenarijev tudi proučevanje odziva dreves v prihodnje.

Pri rekonstrukciji odziva drevesnih vrst na podlagi drevesnih branik se srečamo s številnimi izzivi. Prvi je prav gotovo ta, da je, ne glede na merjeni parameter branike, le-ta nespecifičen znak. To pomeni, da je npr. širina branike v določenem letu rezultat delovanja različnih dejavnikov na priraščanje drevesa, ki pa jih je v naravnem okolju veliko (slika 1). Najpomembnejši dejavnik je prav gotovo podnebje, ki določa potek rasti v določenem letu, ni pa to edini dejavnik, ki pomembno vpliva. Zelo pomembni so tudi drugi, npr. gospodarjenje z gozdom, onesnaževanje okolja, napadi insektov, konkurenca med drevesi, starost drevesa, semenska leta in podobno. Debelinski prirastek posameznega leta je rezultat delovanja vseh naštetih dejavnikov vseh naštetih



Slika 1: Delček različnih dejavnikov, ki vplivajo na debelinski prirastek drevesa in parametre, ki jih lahko merimo v braniki.

Figure 1: A part of diverse factors affecting diameter increment of a tree and parameters we can measure in an annual ring.

dejavnikov hkrati, katerih delež vpliva pa se lahko med leti spreminja (Fritts, 1976; Schweingruber, 1989, 1993).

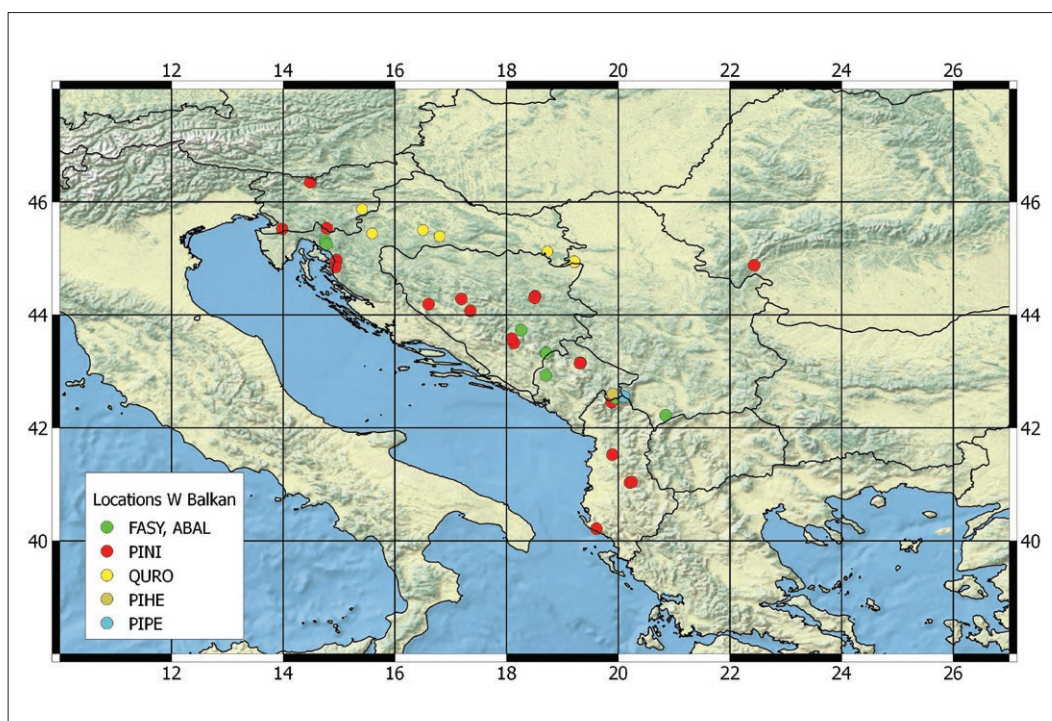
Naslednja težava, s katero se srečujemo dendroklimatologi, so kakovostni meteorološki podatki, ki so nujno potrebni za kalibracijo in verifikacijo modela med podatki branik in podnebjem ter so osnova za rekonstrukcijo podnebja iz drevesnih branik. Kakovost meteoroloških podatkov zelo niha, prav tako dolžina. Za kakovostno postavitev modela, njegovo kalibracijo in verifikacijo potrebujemo čim daljše nize meteoroloških podatkov (vsaj 60 let). Tako dolgih nizov pa je manj, kot bi si želeli, in tudi njihova kakovost zelo niha. Na območju Z Balkana, kjer smo opravili več dendrokronoloških raziskav, se je pokazalo, da so podnebni podatki zelo spremenljivi – od kakovostnih do popolnoma neuporabnih. Zato, kadar niso na voljo lokalni meteorološki nizi, uporabimo t.i.

mrežene podatke, ki pa, iz razumljivih razlogov, niso tako natančni kot lokalni (Levanič in sod., 2015; Poljanšek in sod., 2013).

4 ODZIV DREVES NA GLOBALNO SEGREVANJE NA JZ BALKANU

4 TREE RESPONSE TO GLOBAL WARMING IN SW BALKAN

V okviru različnih domačih in mednarodnih projektov smo na območju Slovenije in JZ Balkana analizirali rast različnih drevesnih vrst, proučevali njihov odziv na aktualno podnebje in rekonstruirali podnebje s pomočjo drevesnih branik. Raziskali smo rast številnih drevesnih vrst (slika 2) na različnih rastiščih – od tistih na zgornji gozdni meji do tistih v poplavnih ravninah (glej npr. Levanič in sod., 2015; Levanič in sod., 2013; Poljanšek in sod., 2013; Stojanović in sod., 2015a; Stojanović in sod., 2015b) (slika 2).



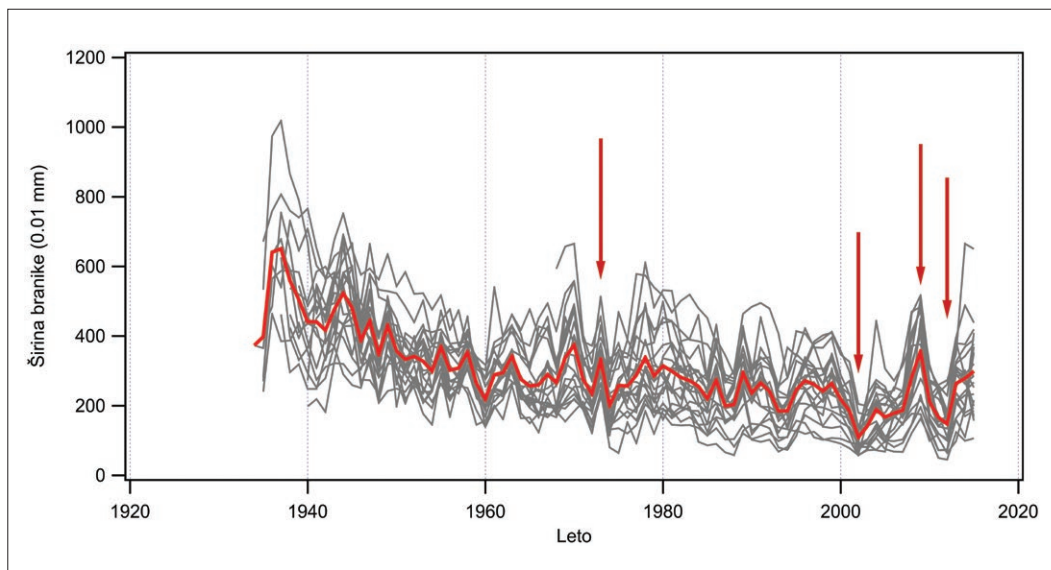
Slika 2: Dendrokronološka mreža različnih drevesnih vrst na območju JZ Balkana je osnova za proučevanje odziva dreves na podnebje in podnebne spremembe. FASY – bukev, ABAL – jelka, PINI – črni bor, QURO – dob, PIHE – munika, PIPE – molika

Figure 2: Dendrochronological net of diverse tree species in the area of SW Balkan is the basis for studying tree response to the climate and climatic changes. FASY – beech, ABAL – fir, RINI – black pine, QURO – pedunculate oak, PIHE – Bosnian pine, PIPE – Macedonian pine

Drevesa na zgornji in tudi na spodnji gozdni meji so z debelinskimi prirastki kazalniki potencialnih sprememb v gozdnih ekosistemih. V poplavnih gozdovih Prekmurja se v povprečnem letu dobi odzivajo na podnebje dokaj nedefinirano, v izjemno suhih (npr. leto 2002 in 2012) ali vlažnih letih (npr. 1973 in 2009) pa je odziv silovit in enoznačen. Tako so se na primer v suhem in vročem letu 2002 in 2012 odzvali na pomanjkanje padavin in nadpovprečne temperature z zelo ozko braniko. V ugodnih letih 1973 in 2009, torej v letih, ko so bile poletne temperature povprečne, padavine pa nadpovprečne, pa so bile širine branik pri dobih večje (Levanič, 2016). To pomeni, da je območje optimuma v nižinskih gozdovih zelo ozko in imajo ključno vlogo padavine. Če jih je dovolj, tudi nekoliko nadpovprečne temperature niso omejujoč dejavnik. Če pa jih je premalo, drevesa z ozko braniko zelo hitro pokažejo, kaj se bo zgodilo, če se povprečna temperatura tipičnega poletja dvigne za eno samo stopinjo in se padavine zmanjšajo za nekaj milimetrov. Podoben prirastni odziv smo ugotavljali v nižinskih gozdovih na celotnem območju JZ Balkana - (Goršič, 2013; Hafner in sod., 2015; Levanič, 2016; Stojanović in sod., 2015a).

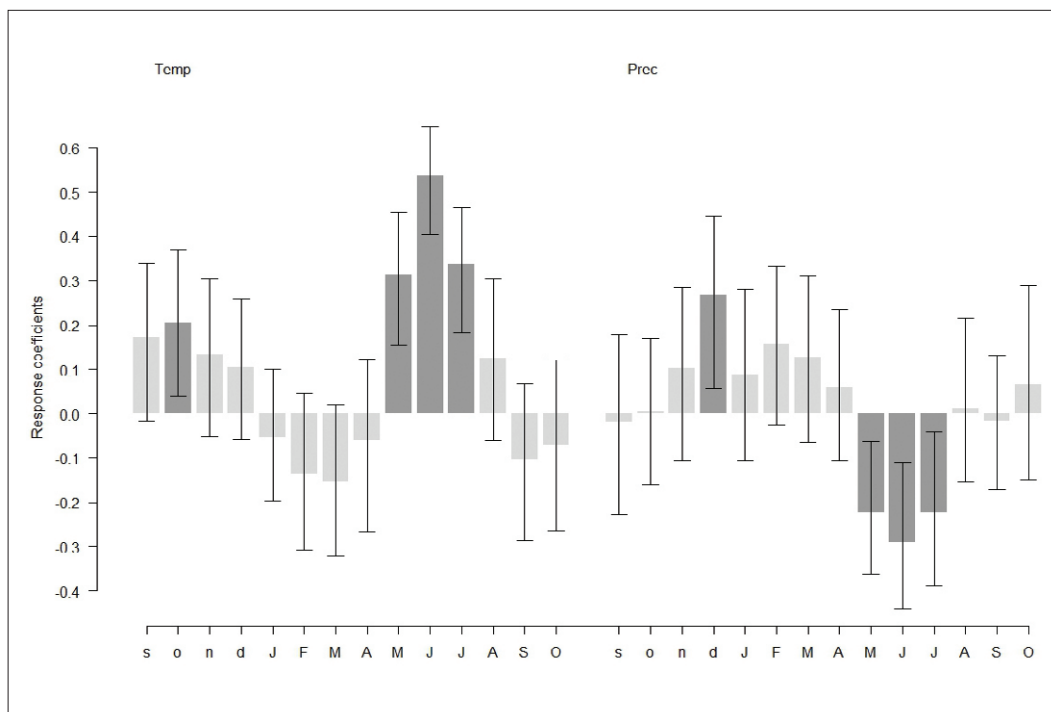
Na zgornji gozdni meji se drevesa odzivajo nekoliko drugače od tistih v nižinah. Pri macesnu na zgornji gornji gozdni meji je temperatura tista, ki ima ključno vlogo. Določa začetek, trajanje in konec rastne sezone. Pri macesnu nadpovprečne poletne temperature delujejo ugodno na širino branike, kljub temu pa je zamikanje začetka rastne sezone v zgodnje poletne mesece veliko tveganje za pezebo in negativno vpliva na priraščanje dreves (slika 4). Raziskave rasti macesna na zgornji gozdni meji, ki smo jih v okviru različnih projektov ARRS izvajali na oddelku za prirastoslovje in gojenje gozda na Gozdarskem inštitutu Slovenije, so pokazale, da je macesen izjemno občutljiva drevesna vrsta, ki ima skoraj enako dober podnebni signal v širinah branik (Levanič, 2005) ali pa v razmerju stabilnih izotopov v branikah (Hafner in sod., 2014).

Poznavanje odziva dreves na robnih rastiščih v podnebno ekstremnih letih je izjemno pomembno za poznavanje odziva dreves v razmerah zelo spremenjenih ekoloških in podnebnih dejavnikov. Kaj lahko se namreč zgodi, da se zaradi pojava novih patogenih organizmov ali pa zelo zaostrenih okoljskih dejavnikov nekatere drevesne vrste v Sloveniji (npr. jesen, brest, dob) ne bodo mogle



Slika 3: Odziv hrastov v Murski šumi (Prekmurje, Slovenija). S puščicami so označena pozitivna (1973, 2009) in negativna (2002, 2012) značilna leta.

Figure 3: Response of oaks in Murska šuma (Prekmurje, Slovenia). Arrows mark positive (1973, 2009) and negative (2002, 2012) pointer years.



Slika 4: Odziv macesnov na zgornji gozdni meji v Alpah – majske, junijske in julijske temperature pomembno vplivajo na rast macesna na zgornji gozdni meji (leva stran grafa) – branika bo širša, če so ti trije meseci toplejši od povprečja. Na grafu je sicer opaziti tudi vpliv padavin (desna stran grafa), vendar je le-ta negativen. Nadpovprečne padavine v maju, juniju in juliju ponavadi ohladijo ozračje in zavrejo rast. Temno sivo so označene značilne povezave.

Figure 4: The response of larch trees at the upper forest boundary in the Alps – May, June, and July temperatures significantly affecting growth of larch tree at the upper forest boundary (left side of the chart) – annual ring will be broader, if these three months are warmer than the average. The chart also shows the impact of precipitation (right side of the chart), but this impact is negative. Above average precipitation in May, June, and July usually cool down the atmosphere and slow down the growth. Characteristic links are marked with dark gray color.

več prilagoditi novim razmeram v okolju in bodo izginile in naših gozdov.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGMENT

Pričujoči prispevek na kratko povzema rezultate raziskav, ki so nastali v okviru različnih projektov Agencije republike Slovenije za raziskovalno dejavnost J4-5519, L7-2393, L4-9653, V4-0348 programske skupine P4-0107 Gozdna biologija, ekologija in tehnologija in programa financiranja mladih raziskovalcev na GIS (Simona Poljanška in Polone Hafner) in projekta GoForMura (projekt programa finančnega mehanizma EGP 2009-2014 (SI02)).

Prispevek je bil pripravljen v okviru tretjega posveta Gozd in Les: Sistemski problemi obnove gozdov, ki sta ga 24. 11. 2016 organizirala Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Gozdarski inštitut Slovenije.

6 POVZETEK

V prispevku smo se osredotočili na vpliv podnebnih sprememb oz. globalnega segrevanja na rast dreves in skušali predstaviti posledice, ki jih bo imelo globalno segrevanje na debelinski prirastek dreves. V prvem delu prispevka na kratko predstavljamo glavne vzroke za globalno segrevanje na Zemlji. To so predvsem toplogredni plini (voda, ogljikov dioksid, metan, dušikovi oksidi

in klorofluorogljikovodiki – CFC), ki so, razen CFC, sicer naravni sestavni del ozračja, vendar se njihova količina v ozračju povečuje zaradi kurjenja fosilnih goriv, izsekavanja gozdov, prometa in kmetijstva. To vpliva na dvigovanje temperature spodnjega dela ozračja in gozdni ekosistemi se na spremenjene razmere morajo odzvati. To je opaziti predvsem kot povečano odmiranje posameznih dreves in celotnih gozdnih ekosistemov

Odziv dreves na globalno segrevanje lahko proučujemo tako, da analiziramo različne parametre drevesnih branik (npr. širine branik, razmerje stabilnih izotopov v braniki in različne lesnoanatomske znake). Ko podatke povežemo z merjenimi podnebnimi podatki pridobimo informacije o odzivu dreves na podnebje in s tem postavimo izhodišče za rekonstrukcijo podnebja za nazaj in ob upoštevanju podnebnih scenarijev tudi proučevanje odziva dreves v prihodnje.

Odziv dreves na globalno segrevanje je odvisen od rastišča, drevesne vrste in nadmorske višine, da omenimo samo nekatere. Macesni na zgornji gozdni meji se na dvigovanje temperatur odzivajo pozitivno. Temperature na zgornji gozdni meji so namreč dejavnik minimuma in bodo to ostale toliko časa, dokler ne bodo postale previsoke in bodo začele delovati zaviralno na rast. Za razliko od macesnov pa se dobi v nižinskih gozdovih ne odzivajo na temperature, ampak na padavine. V nižinah JZ Balkana so padavine dejavnik minimuma in vsaka sprememba v količini in razporeditvi v smeri zmanjševanja padavin negativno vpliva na rast dobov.

6 SUMMARY

In this article we have focused on the impact of climatic changes or, respectively, global warming on the growth of trees and tried to present consequences global warming will cause to diameter increment of the trees. In the first part of the paper, we shortly present main causes for global warming on Earth. These are, above all, greenhouse gasses (water, carbon dioxide, methane, nitrogen oxides, and chlorofluorocarbons – CFC), which are, apart from CFC, a natural component of the atmosphere, however, their quantity in the atmosphere increases due to burning fossil fuels,

deforestation, traffic, and agriculture. All that affects rise in the temperature of the lower part of the atmosphere and forest ecosystems thus have to respond to the changed conditions. This can be seen primarily as increased mortality of individual trees and complete forest ecosystems. We can study the tree response to global warming so that we analyze diverse parameters of the annual rings of the trees (e.g. width of the rings, ratio of stable isotopes in the ring, and diverse wood anatomical traits). When we link these data with measured climatic data, we acquire information on the response of the trees to the climate and thus set the starting point for climate reconstruction in retrospect and, taking climate scenarios into account, also the study of tree response in the future.

Tree response to global warming depends on the site, tree species, altitude, to mention only some of them. Larches at the upper forest boundary respond positively to the rise in temperature. Temperatures at the upper forest boundary are namely a factor of minimum and will stay this as long as they do not become too high and begin to affect the growth negatively. Other than the larches, pedunculate oaks in lowland forest do not respond to the temperatures, but to precipitation. In the lowlands of SW Balkan, the precipitation is a factor of minimum and every change in quantity and distribution towards precipitation reduction negatively affects pedunculate oaks growth.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Barnola, J. M., Raynaud, D., Korotkevich, Y. S., Lorius, C. 1987. Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO₂. *Nature*, 329, 6138: 408–414.
- Fonti, P., von Arx, G., García-González, I., Eilmann, B., Sass-Klaassen, U. in sod. 2010. Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, 185, 42–53.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. (ur.) London, Academic Press Inc. (London) Ltd.: 567 str.
- Goršič E. 2013. *Diameter increment dynamics of pedunculate oak (Quercus robur L.) in Croatia / Dinamika debljinskog prirasta stabala hrasta lužnjaka (Quercus robur L.) u Hrvatskoj*: Doctoral thesis. (University of Zagreb). 154 str.

- Hafner, P., Gričar, J., Skudnik, M., Levanič, T. 2015. Variations in Environmental Signals in Tree-Ring Indices in Trees with Different Growth Potential. *PLoS ONE*, 10, 11: e0143918.
- Hafner, P., McCarroll, D., Robertson, I., Loader, N., Gagen, M. in sod. 2014. A 520 year record of summer sunshine for the eastern European Alps based on stable carbon isotopes in larch tree rings. *Climate Dynamics*, 43, 3: 971–980.
- Lamab S., Uddling J., Raentfors M., Hall M., Wallin G. 2014. Leaf physiological responses of mature Norway Spruce trees exposed to elevated carbon dioxide and temperature. V: Conference theme. Vienna, EGU.
- Levanič, T. 2005. Vpliv klime na debelinsko rast macesna (*Larix decidua* Mill.) na zgornji gozdni meji v JV Alpah = Effect of climate on growth of European larch (*Larix decidua* Mill.) at the upper timberline in the SE Alps. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 78, 29–55.
- Levanič, T. 2016. Prihodnost doba v poplavnih gozdnih habitatnih tipov in vrst v izbranih območjih Natura 2000 ob Muri. Ferreira A. in sod. (ur.). (GoForMura - Upravljanje gozdnih habitatnih tipov in vrst v izbranih območjih Natura 2000 ob Muri, Ljubljana, Založba Silva Slovenica: 28–31.
- Levanič, T., Poljanšek, S., Toromani, E. 2015. Early summer temperatures reconstructed from black pine (*Pinus nigra* Arnold) tree-ring widths from Albania. *The Holocene*, 25, 3: 469–481.
- Levanič, T., Popa, I., Poljanšek, S., Nechita, C. 2013. A 323-year long reconstruction of drought for SW Romania based on black pine (*Pinus nigra*) tree-ring widths. *International Journal of Biometeorology*, 1–12.
- Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, C., Delzon, S. in sod. 2014. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *J Environ Manage*, 146, 69–83.
- MacFarling Meure, C., Etheridge, D., Trudinger, C., Steele, P., Langenfelds, R. in sod. 2006. Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP. *Geophysical Research Letters*, 33, 14: n/a-n/a.
- McCarroll, D., Loader, N. J. 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23, 7-8: 771–801.
- McDowell, N. G., Levanič, T. 2014. Causes, consequences, and the future of forest mortality due to climate change (Klimatske spremembe in mortaliteta v gozdnih ekosistemih - vzroki, posledice in pričakovanja). *Acta Silva et Ligni*, 103, 61–66.
- McDowell, N. G., Williams, A. P., Xu, C., Pockman, W. T., Dickman, L. T. in sod. 2015. Multi-scale predictions of massive conifer mortality due to chronic temperature rise. *Nature Climate Change*, 6, 3: 295–300.
- Park Williams, A., Allen, C. D., Macalady, A. K., Griffin, D., Woodhouse, C. A. in sod. 2013. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Clim. Change*, 3, 3: 292–297.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M. in sod. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 6735: 429–436.
- Poljanšek, S., Ceglar, A., Levanič, T. 2013. Long-term summer sunshine/moisture stress reconstruction from tree-ring widths from Bosnia and Herzegovina. *Clim. Past*, 9, 1: 27–40.
- Schweingruber, F. H. 1989. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology.* (ur.) Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers: 276 str.
- Schweingruber, F. H. 1993. *Jahringe und Umwelt - Dendroökologie.* (ur.) Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft: 474 str.
- Shakun, J. D., Clark, P. U., He, F., Marcott, S. A., Mix, A. C. in sod. 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature*, 484, 7392: 49–54.
- Solomon, S., Rosenlof, K. H., Portmann, R. W., Daniel, J. S., Davis, S. M. in sod. 2010. Contributions of stratospheric water vapor to decadal changes in the rate of global warming. *Science*, 327, 5970: 1219–23.
- State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016, published online January 2017. 2017. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>
- Stojanović, D., Levanič, T., Matović, B., Bravo-Oviedo, A. 2015a. Climate change impact on a mixed lowland oak stand in Serbia. *Annals of Silvicultural Research*, 39, 2: 6.
- Stojanović, D., Levanič, T., Matović, B., Orlović S. 2015b. Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *European Journal of Forest Research*, 134, 3: 555–567.