

Дендроклиматологија: основни појмови, технике мјерења и могућности истраживања у Републици Српској

Раде Ивановић, Милан Миленковић

Сажетак: Дендрохронологија је млада научна дисциплина чије методе се користе у палеогеографским истраживањима у циљу увида у стање, као и промјене у животној средини. Из ње је настала дендроклиматологија, која се користи за проучавање климатских трендова у рецентном периоду, на основу чега се могу утврдити и промјене које су се дешавале у климатском комплексу у прошлости. Захваљујући способности дрвећа да формира годове у складу са климатским утицајима, могуће је утврдити да ли постоји корелација између метеоролошких података и података добијених дендроклиматолошким анализама.

Дендроклиматологија је постала битан инструмент за анализу вишегодишњих климатских колебања и промјена. У раду су приказани резултати досадашњих истраживања и перспективе реконструкције климе дендроклиматолошким методама на простору Републике Српске.

Цитирање: Ивановић Р, Миленковић М (2023) Дендроклиматологија: основни појмови, технике мјерења и могућности истраживања у Републици Српској. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:519–543

Cite as: Ivanović R, Milenković M (2023) Dendroclimatology: Basic Concepts, Measurement Techniques and Research Possibilities in the Republic of Srpska. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:519–543

Иако је код нас још у повоју, ова наука је веома значајна за проучавања климе у прошлости, као и осталих узрочно-последичних промјена везаних за климатске осцилације.

Простор Републике Српске је у знатном проценту покривен шумама у којима је честа појава стабала велике старости. На наведеном подручју постоји низ предности, али и ограничења за дендроклиматолошка истраживања. На простору Републике Српске ова истраживања су све до уназад неколико година вршена спорадично. Интензивнија истраживања последњих година стварају основу за боља разумијевања рецентне климе и палеоклиме. Имајући у виду наведено, може се закључити да Република Српска има значајан потенцијал за дендроклиматолошка истраживања.

Кључне ријечи: Дендроклиматологија, дендрохронологија, Република Српска, реконструкција климе, технике мјерења

12.1. Увод

У најширем смислу ријечи, дендроклиматологија проучава утицај појединих климатских фактора на ширину година дрвета (Дуцић 1991). Узорковање се врши са већег броја стабала исте врсте на одређеној територији, или пак са само једног стабла велике старости. Стабла својим прирашћивањем у дебљину континуирано и стално биљеже утицај климатских чинилаца, али и других фактора, као што су пожари, инсекти, штетни гасови (Van Densen 1987). Захваљујући овој способности могуће је истраживати да ли постоји корелација између метеоролошких података и података добијених дендроклиматолошким анализама. Дендроклиматологија је постала битан инструмент за анализу дугогодишњих климатских колебања и промјена. Дендроклиматолошка истраживања имају изузетан значај за реконструкцију климатских прилика у прошлости, као и осталих (узрочно-последичних) промјена везаних за климатске осцилације.

Дендрохронологија је наука која се бави датирањем и проучавањем прстенова прираста дрвећа и жбуња (Smith and Lewis 2007). Упоредивањем појединачних климатских фактора, као што су падавине, температура, сунчани периоди и индекси суше, са годишњим вриједностима прираста година, као што су границе года (Fritts 1976), густина година (Schweingruber et al. 1978; McCarroll et al. 2002) или стабилни изотопи (McCarroll and Loader 2004), могуће је идентификовати најважније климатске параметре раста и реконструисати их уназад до периода када су узети узорци. То је могуће ако

развијена хронологија година садржи значајан климатски сигнал и постоји довољна дужина инструменталних климатских података (Poljanšek et al. 2015).

Годови дрвета су вриједан биоиндикатор и они могу повезати више еколошких фактора који утичу на раст шума (Schweingruber 1996). Дендроклиматолошка истраживања спроведена посљедњих деценија омогућила су разумијевање утицаја надморске висине на раст стабла, као и реакцију стабла на различите еколошке чиниоце (Мeko et al. 1993).

Постоје различите дефиниције појма дендрохронологије, али се све оне свде на то да је она метод научног датирања базиран на анализи обрасца раста прстенова прираста стабла. Једноставно речено, дендрохронологија је датирање прошлих догађаја (међу које спадају и климатски догађаји) преко посматрања раста година. Ботаничари, шумари и археолози користе ову технику од почетка XX вијека. Њу је увео Даглас (*A. E. Douglass*) са Универзитета у Аризони, који је примијетио да су широки годови одређених примјерака дрвећа настали током влажних година, док су ужи формирани током сувих сезона (Dusić 1995).

Сваке године стабло додаје слој дрвета на деблу и гранама и тако ствара годишње прстенове, који су видљиви на попречном пресеку. Ћелије новог дрвета расту од камбијалног прстена, између „старог“ прстена и коре стабла. Прве нове ћелије у прољеће су велике, али се током љетњег периода формирају мање. У јесен раст престаје и ћелије умиру. Контраст између старих (малих) ћелија и нових (већих) ћелија насталих наредне године довољан је да се уоче прстенови прираста. Годови се могу користити за реконструкцију климе у прошлости, као и за процјену ефекта новијих климатских и еколошких промјена које су утицале на раст дрвећа.

Дендроклиматологија је једна од поддисциплина дендрохронологије, која има и низ других поддисциплина: дендрогеоморфологија, дендрохидрологија, дендроекологија, дендрoarхеологија итд. Наведене технике могу доказати не само промјену климатских прилика на основу година већ дати и бројне друге информације које могу бити од користи за археологију, екологију и друге научне дисциплине (Говедар и Голијанин 2007).

Већина врста дрвећа у умјереним зонама повећава своју дрвну масу за један прстен сваке године. За читав животни вијек, годину за годином, формирају се годови, који рефлектују климатске услове у којима је стабло расло. Адекватно наводњавање и дужа сезона раста узрокују шире прстенове, док се у условима који представљају супротност томе, могу појавити и веома уски. Стабла из исте регије створиће приближно исту мрежу година за одређени период. Мреже година се пореде прстен по прстен и на тај начин могуће је

установити подударарење за одређену географску зону, као и за климатске услове. Мјерењем ширине прстенова живог дрвећа с временом се може израдити хронологија. Велики број различитих уређаја за мјерење и мноштво софтверских пакета користе се за статистичке анализе информација из прстенова, али ништа у потпуности не може да замијени људско око (Ивановић 2013).

Дендроклиматологија је у Републици Српској још у повоју. У овом поглављу приказани су резултати досадашњих истраживања.

12.2. Историјски развој

Мада је још у XV вијеку Леонардо да Винчи уочио везу између ширине година и падавина у сушним областима, почетак модерне дендроклиматологије везује се за имена Ендрјуа Дагласа (*Andrew E. Douglass*) и Елсворта Хантингтона (*Ellsworth Huntington*), који су тридесетих година прошлог вијека вршили ова истраживања на подручју Калифорније. Они су радили са дуговјечним врстама дрвећа (секвоја и жути бор), тако да су могли да изврше реконструкцију климе за више хиљада година уназад. У новије вријеме за Калифорнију је направљена непрекидна дендроскала (график ширине година) за врсту *Pinus aristata* Engelm. (чекињасти бор Стјеновитих планина) у трајању од 7.117 година, а са прекидима ова скала иде чак до 9.000 година (Дуцић 1991).

Даглас је био убијеђен да падавине пресудно утичу на раст дрвећа на сувом југозападу САД, као и да ова стабла у себи чувају податке о томе. Са друге стране, претпоставио је да соларна радијација, кроз испаравање са океана и стварање вјетрова који на континент доносе испарења у виду кише, одређује количину падавина. На крају је закључио да варијације у соларној активности доводе до варијација у количини падавина, што се рефлектује на годовима. Према томе, годови су могли да послуже и као индикатор соларне активности, а самим тим и као средство за астрофизичка истраживања.

Даглас је своју теорију доказивао користећи податке о прошлим и тадашњим варијацијама Сунчевих пјега. Интензивно је сакупљао податке којима би поткријепио своју теорију. Године 1906. постављен је за професора на Унивезитету у Аризони, а до тада је имао 25 сакупљених узорака, међу којима су неки показивали сличне распореди густине година. Ови распореди, као и подаци о години када је дрво посјечено, омогућили су укрштања распореди са различитих узорака и на тај начин стварање дужих временских серија. Ова техника је данас позната као крос релациона анализа. Дагласово занимање

за Сунчеве пјеге довело је до стварања нове науке – дендрохронологије (Webb 1986).

Прве три године на универзитету Даглас је анализирао узорке југозападног жутог бора, покушавајући да повеже распоред година са распоредом падавина и соларном активношћу. Такође је сакупљао метеоролошке податке како би направио годишњи пресјек падавина. Јуна 1909. године објавио је свој први чланак на тему повезаности активности Сунца и климе на Земљи. Повезујући раст стабала са активношћу Сунчевих пјега и климе, Даглас је утврдио циклусе од 32,8 година, 21,2 године и 11,3 година. Подаци о падавинама такође су указивали на цикличне промјене од 11 година, што га је увјерило да су Сунчеве пјеге повезане са климатским промјенама на Земљи (Douglass 1909).

Даглас је наставио да скупља узорке из околине Флагстафа, као и из око 100 км удаљене области Прескот. Узорци дрвећа из два различита округа су се у значајној мјери поклапали, а неке карактеристике биле су лако уочљиве, као на примјер веома узан прстен из 1851. године. С временом је своја истраживања проширио и ван САД, тако да је у периоду 1912–1914. године путовао по Европи и сакупљао узорке из Њемачке, Шведске, Аустрије и Норвешке. Посебну пажњу су му привукли узорци из Прусије, који су се у потпуности уклапали у једанаестогодишње Сунчеве циклусе. По повратку је урадио хронологију и корелације за узорке из околине Флагстафа све до касног XIV вијека.

До 1918. године Дагласова истраживања су толико узнатрговала да је отворена дискусија о новој науци, дендрохронологији. Сљедеће године је детаљно описао развој нове науке, као и технике и резултате добијене током вишегодишњих испитивања многобројних узорака. На основу више од 75.000 прстенова и путем унакрсног укрштања добио је податке за 500 година, који су јасно указивали на цикличност (Douglass 1919). Даглас је одиграо кључну улогу у стварању научне дисциплине дендрохронологије, као и њених огранака дендроклиматологије и дендроекологије. Био је увјерен да су највреднији домети ових дисциплина везани за климатске промјене на Земљи (Webb 1986).

Данас у свијету постоји више дендрохролошких и дендроклиматолошких лабораторија, од којих је најпознатија она при Универзитету Аризона, у оквиру којег постоји редовна публикација под називом *Tree-Ring Research* (раније позната под називом *Tree-Ring Bulletin*), која излази од 1934. године. Такође постоји и часопис *Dendrochronologia* (излази од 1983. године).

Преко 1.500 записа о достигнућима из ових области налази се у Међународној банци података о прстеновима дрвећа (*International Tree-Ring Data Bank*, ITRDB) у Булдеру у Колораду. До података се може доћи и преко Грисино-

Мајерсовог (*H. Grissino–Mayers*) веб-сајта, који је повезан са неколико десетина лабораторија широм свијета. На њему су приказана 6.752 библиографска записа и они се свакодневно допуњавају (Kuniholm 2001).

У бившем СССР је најактивнија била лабораторија Института ботанике АН Литванске ССР, која је направила дендроскалу за Прибалтик за око 1.000 година уназад. И за Западну Европу су дендроскале комплетиране за око 1.000 година (на основу храстова и јоха). Ова техника је нарочито примјењивана у Француској, Швајцарској, Италији и Њемачкој, а од нордијских земаља у Финској (Дуцић 1991).

Од географа у Србији дендроклиматологијом се бави Владан Дуцић, професор Географског факултета у Београду, који је у свом магистарском раду посебан одјељак посветио управо дендроклиматолошкој реконструкцији климе у Србији (Дуцић 1995). Исти аутор утврдио је и утицај активности Сунца на ширину година (Дуцић 2008). И у својим каснијим радовима наставио је да се бави климатологијом и дендроклиматологијом (Milenković et al. 2010; Дуцић et al. 2015а, 2015б, 2015в).

Што се тиче осталих држава Балканског полуострва, у Бугарској је на основу 21 узорка букве у сливу ријеке Черни Вит утврђена веза између Сунчеве активности и ширине година (Дуцић 1995). У Румунији је на основу бора *Pinus cembra* L. урађена дендроскала за период 1163–2005. године (Pora and Kern 2009). У Албанији је на основу мунике (*Pinus heldreichii* H. Christ) урађена дендроскала за 1.391 годину (за период 617–2008. година). Утврђена је висока позитивна корелација са љетњим температурама, посебно за август, али значајне корелације са падавинама није било (Seim et al. 2012). У Словенији се дендроклиматологијом посљедњих деценија бави Огрин, који је истраживао везу између падавина и прираста и утврдио да она није функционална него статистичка (Ogrin 1998).

12.3. Биолошка основа и утицај средине

Основни објекат дендрохронолошких истраживања су дебла, односно годови. Год настаје активношћу камбијума за вријеме вегетационог периода. Ова активност се прекида у јесен и све до прољећа је период мировања. Сваке године камбијум додаје по један слој дрвета. Ови слојеви су код многих врста јасно видљиви. Сваки год има прољетње дрво, које је богатије судовима и свјетлије, и јесење дрво, састављено од елемената са дебљим зидовима и више механичког ткива.

Годови се међусобно разликују према степену маркантности, току граничне линије, ширини, начину низања и боји. Под маркантношћу се подразумева степен изразитости граничне линије између два сусједна года. Степен маркантности је утолико већи уколико је већа разлика у интензитету боје и сјаја прошлогодишњег јесењег и овогодишњег прољетњег дрвета и углавном је већи код четинара него код лишћара. Ширина года зависи од врсте, старости стабла и услова средине, односно станишта. По правилу, ширина года се са старошћу најприје повећава, а послје постизања максималне величине она опада. Спољашњи услови имају велики утицај на ширину година, те се тако у повољној години стварају релативно широки, а у неповољној уски годови (Дуцић 1991).

Превише је поједностављено рећи да је дендрохронологија, односно дендроклиматологија, бројање прстенова засновано на падавинама и специфичностима стабла. Неопходно је узети у обзир и бројне друге факторе. Они су нарочито изражени код старијих четинара јер њихов раст може зависити од више чинилаца, као што су: рељеф, климатски фактори (Сунце, вјетар, температура, количина падавина), врста и квалитет земљишта итд.

Дрво расте кроз издужене и радијалне прираштаје. Издужени прираштаји су у основи изданка, док су радијални прираштаји обогаћени камбијумом (камбијум представља зону живих ћелија између дрвета и коре), и управо они су значајни за дендроклиматолошка проучавања (Сл. 12.1). Раст није континуиран процес, већ постоје варирања.

Дендроклиматологија зависи од годишњих доба, која су у већини случајева климатски контролисана. У хладним регионима постоји успавана сезона од јесени до прољећа и сезона раста у току љета. Период стагнације током хладнијег дијела године доводи до тога да камбијум производи нове ћелије које граде унутрашњост дрвета и спољни слој коре. Нови годишњи прираштај дрвета и коре развија се између постојећих наслага ткива (Douglass 1914).

Сложеност дендроклиматолошке проблематике произлази из чињенице да је раст дрвећа изложен разним факторима средине па је због тога и варирање ширине година узроковано разним станишним чиниоцима. Уколико је раст стабла био више ограничен набројаним факторима средине, биће присутно више варијација година и њиховог раста. Ове варијације се означавају *sensitive* (осјетљивост), док се недостатак варијација означава *complacent* (повољност, угодност). Стабла која показују осјетљивост су она која су погођена факторима као што су нагнутост терена, сиромашно земљиште, мала влажност и друго. *Complacent* се односи на константне повољне услове као што су: добра влажност, плодно земљиште, заштићена локација, па је због тога ширина година уједначена (Dusić 1995).



Сл. 12.1. Годови, основни објекат истраживања дендроклиматологије (Фото Ивановић Р 2013)

Fig. 12.1. Tree rings, the basic object of dendroclimatology research (Photo Ivanović R 2013)

Раст дрвета је условљен бројним факторима, не само температуром већ и болестима, нападом инсеката и разним антропогеним утицајима. Веза између раста стабла и климе веома је компликована. Због тога је за дендроклиматолошка истраживања неопходно осигурати локалну контролу утицајних фактора у циљу примјене статистичких метода обраде података (Надживуковић 1991).

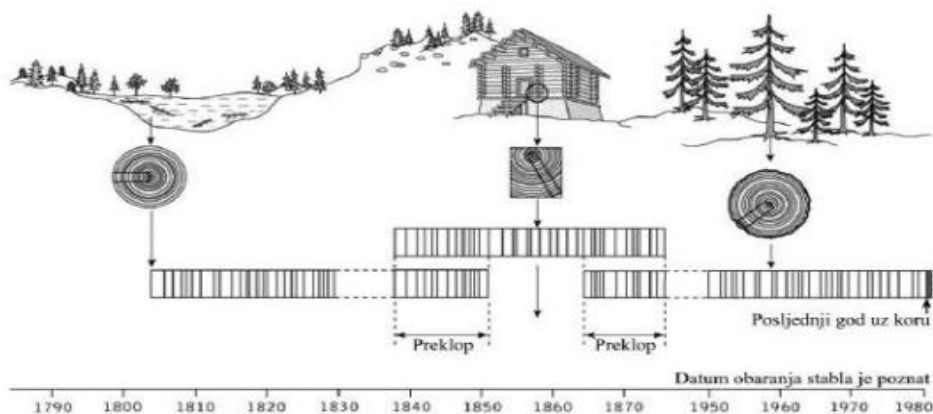
Узимањем за узорке стабла која се налазе на осами искључује се међусобни утицај једног стабла на друго (састојински утицај) у току развоја и омогућава да се смањи број фактора који утичу на ток и величину прираста. Тада до изражаја долазе фактори средине без утицаја шуме као екосистема. Такође, битно је да се води рачуна да су та стабла на осами цијели живот провела као таква, а не у саставу шуме у неком периоду свога живота. Поред наведеног, потребно је бирати стабла која расту у екстремним еколошким условима јер тако до максимума долази до изражаја утицај климатских елемената. У истраживања је потребно укључивати стабла која расту на сиромашним земљиштима на матичном супстрату, јер је на тај начин искључен утицај промјене у хранљивости земљишта (Дуцић 1991).

Продуктивност шуме у највећој мјери зависи од температуре и падавина. Притом, присуство воде у земљишту је кључни чинилац, али је до прецизних података о томе тешко доћи (Govedar i sar. 2007).

12.4. Општи принципи и процедуре

Основни принцип изучавању прошлости је принцип „униформности у току природних дешавања“, предложен од стране Џејмса Хатона (*James Hutton*) 1785. године, изражен ријечима: „Садашњост је кључ прошлости.“ Када се овај принцип примијени на дендроклиматологију, варијације у условима који су присутни данас морале су бити присутне и у прошлости. То не значи да су услови потпуно једнаки, али сличне врсте реакција утицале су на сличне врсте процеса (Touchan and Huges 2000).

Унакрсно датирање (поступак приказан на Сл. 12.2) такође је један од основних принципа дендрохронологије, а самим тим и дендроклиматологије. Истраживач мора да буде сигуран да су узорци који се анализирају формиран и у истим годинама. Једноставно бројање прстенова није довољно, као ни јединствен образац или коваријација у ширини прстенова – потпис.



Сл. 12.2. Унакрсно датирање (Ivanović i Golijanin 2021)

Fig. 12.2. Cross-dating (Ivanović i Golijanin 2021)

С циљем избегавања могућности случајног, али лажног подударарања, дендрохронологији настоје да пореде узорке који имају најмање 100 прстенова и вишеструке потписе, радије него млађе примјерке који нису очували довољно потписа да гарантују подударарање. Ови обрасци могу настати из

широког спектра узрока (Дуцић 1991). Обрасци прстенова који су најподеснији за унакрсно датирање су производ међуреакције дрвећа и неких климатских стимуланса: у неким регијама углавном падавине или њихов недостатак, у другим углавном температура, а у неким њихова комбинација. Ови стимуланси и реакције су зато специфични за одређену климатску регију. Други начин укрштања је на основу густине година или физичких оштећења (на примјер, од пожара) који се читавају у годовима. На ширину година могу утицати и фактори као што су болести, инсекти, различите непогоде итд. (Nash 2002).

Климатске границе за унакрсно датирање година најбоље се утврде у пракси испитивањима и грешкама. Тако дрво одсјечено на шумском дијелу Калабрије у јужној Италији може да се упоређује са дрветом из Грчке или Турске, али не и са дрветом из Шпаније или са Алпа, па ни са Сицилије. Прва два неслагања нису изненађујућа, али неслагање у случају Сицилије, на само 80 км удаљености, свакако јесте. То се објашњава тиме што Сицилија припада више сјеверноафричком климатском систему него централномедитеранском (Kuniholm 2001).

12.5. Ограничења примјене метода дендроклиматологије

Највећа предност дендрохронологије, а самим тим и дендроклиматологије, јесте могућност прецизног одређивања година у којима су годови формирани. Захваљујући укрштању података са различитих узорака и локалитета створени су низови година који залазе у прошлост и по неколико хиљада година. За чување ових података створена је банка података (ITRDB). Захваљујући овој бази, као и размјени података међу истраживачима, за велике географске области познате су варијације година. Дендроклиматологија омогућава избор стратегија у зависности од циљева истраживања, а могућ је и избор више локалитета и више врста дрвећа, како би се добила богатија слика климе и реконструкција климатских варијабли. Дендроклиматологија такође пружа могућност тестирања резултата истраживања и њиховог упоређивања са резултатима добијеним инструменталним мјерењима или другим методама (NCDC NOAA n. d.).

Са друге стране, и даље постоје многи проблеми и нејасноће везане за сложене хемијско-биолошке процесе који утичу на дендроклиматолошка истраживања. Резултати истраживања климе путем година могу да варирају на скали од готово истовјетних са савременим метеоролошким станицама до потпуних непоклапања. Ово није јединствен проблем дендроклиматологије, већ се јавља и код других метода истраживања климе (корали, језгра ледника, седименти итд.), гдје сложени процеси у природи зависе од више промјенљивих.

Доста несигурности у дендроклиматологији потиче од нашег непотпуног разумијевања процеса раста већине врста дрвећа у околини у којој су природни утицаји неутврђени, неконтролисани и стално се мијењају. Раст је посљедица сложености дрвећа као живих организама и начина на који они реагују на околину или су њоме ограничени. Са друге стране, један од основних постулата палеоклиматологије јесте униформисаност, претпоставка да су исти механизми који су формирали климатске податке из прошлости и данас на дјелу. То значи да би линеарни односи између климе и година, посматрани током периода калибрације у садашњости морали бити једнаки онима у прошлости, што не мора у свим случајевима бити тако (NCDC NOAA n. d.).

Остали недостаци метода дендроклиматологије су, прије свега, то што дрво не биљежи зимске температуре, као и то што, и поред великог напретка у изотопским анализама, остаје велики дио тропских предјела за које не постоје подаци о климатским промјенама и њиховом утицају на дрвеће у прошлости. Иако је дендроклиматологија првенствено емпиријска наука, она је дубоко повезана са статистичким моделовањем, тако да се све несигурности око униформности и раста пренесе у статистичке податке. При тестирању, основу за извођење закључака пружа статистичка теорија (Dukić i Petrović 2021). Дендро науке користе различите програме за мјерење, анализу и формирање података. Ово резултира постојањем бројних формата података, што њихову размјену чини компликованом. Често се у том процесу изгуби доста вриједних података.

Дендроклиматологија има и нека врло битна ограничења. То су: техничка, анатомско-генетска, еколошка и ограничења настала због антропогеног утицаја (Ивановић 2013).

Техничка ограничења. У дендрохронолошкој литератури се углавном помињу двије основне технике узимања узорака: помоћу прираштајног сврдла и сјечом стабла. Прираштајно сврдло је инструмент у широкој употреби у шумарској пракси (Сл. 12.3). Овај инструмент једноставним завртањем продире у стабло, при чему се у обрнутом смјеру (одвртањем) извлачи са узорком. Узорак је у облику штапића, а дужина му зависи од дужине сврдла. Основна предност методе је у томе што се стабло знатније не оштећује, тако да није потребна дозвола власника шуме за узимање узорака. Основни недостатак је у томе што и најдужа сврдла код старијих стабала дају узорак за мање од стотинак година. Осим тога, на стаблима се често јавља асиметрија година, па су мјерења по једном радијусу непоуздана. Врло битно ограничење је и у томе што је сврдло предвиђено само за меко дрво, првенствено за четинаре. То значи да узимање узорака из храста и букве није могуће (Дуцић 1991).



Сл. 12.3. Узимање узорка прираштајним сврдлом (Фото Ивановић Р 2013)
Fig. 12.3. Sampling using incremental drill (Photo Ivanović R 2013)

Уобичајено узимање узорка у дендрохронологији врши се на посјеченом стаблу. Узорак са посјеченог стабла добија се пажљивим исијецањем колутова, што код већих стабала може бити компликовано. Са обореног стабла се узима исјечак дебљине 5 цм, на прсној висини 1,3 м од тла. Примјеном ове технике могуће је вршити мјерења по више радијуса и на узорку не долази до деформација. На овај начин могуће је вршити мјерења и на најстаријим стаблима и извршити реконструкцију климе за више стотина година уназад. Основни недостатак је у томе што је за сјечу одабраног стабла потребно добити одобрење власника шуме (Bradley 1999). Такође, већина старијих стабала налази се на тешко приступачним подручјима, далеко од шумских путева (Дуцић 1991).

Што је стабло старије, оно садржи више података о клими из даље прошлости. Најстарије познато посјечено стабло припада врсти *Pinus longaeva* D. K. Bailey (чекињасти бор Великог басена) на подручју Вилеровог врха у америчкој савезној држави Невади. Оно је названо *Prometheus* (Прометеј), а посјечено је 1964. године, при чему се његова старост процјењује на најмање 4.862 година (Dukić i Petrović 2021).

Анатомско-генетска ограничења. Основно анатомско ограничење је то што је релативно мали број врста код којих су годови добро видљиви. Притом, код многих лишћара годови се тешко препознају или се уопште не виде. Ипак, врсте код којих се годови препознају код нас доста су широко распрострањене (Таб. 12.1).

Таб. 12.1. Видљивост година појединих врста дрвећа (Ducić 1995)
 Table 12.1. Visibility of tree-rings of certain tree species (Ducić 1995)

Виде се добро или маркантно.	Не виде се или се не виде добро.
бријест	бреза
буква	граб
врба	грабић
јавор	јасика
кестен	јоха
топола	липа
храст	
сви четинари	

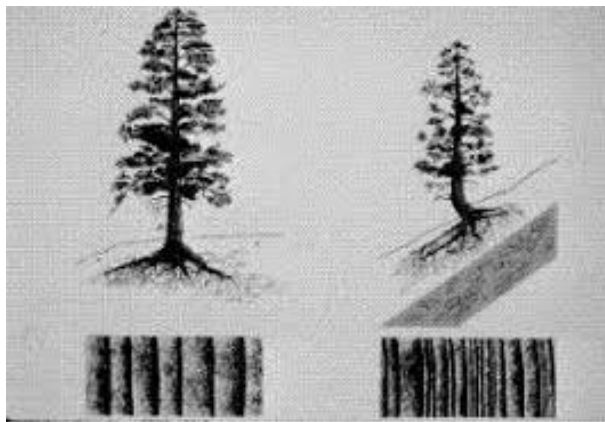
Битна особина неке врсте јесте и дужина трајања живота, а за нас су од посебног значаја дуговјечне врсте (Таб. 12.2).

Таб. 12.2. Животни вијек појединих врста дрвећа (Ducić 1995)
 Table 12.2. Lifespan of certain tree species (Ducić 1995)

Врста дрвећа	Животни вијек (година)
бријест	максимално преко 500
буква	просјечно 200 до 300
врба	просјечно око 100
црна топола	50 до 300
горски јавор	до 400
кестен	максимално преко 500
храст китњак	300 до 500
храст лужњак	до 2.000
борови	преко 300
смрче	300 до 1.000

Еколошка ограничења. За рјешавање наведеног проблема користи се метод лимитирајућег фактора. За анализу је потребно узети оне објекте код којих су температура или падавине лимитирајући фактор прираста. Према овом принципу, раст прстенова се не може одвијати брже него што допушта највише ограничавајући фактор (Fritts 1976). Притом би требало, у што је могуће већој мјери, елиминисати остале еколошке факторе који могу да прикрију везу клима–прираст (Сл. 12.4). Тако плитке подземне воде могу да представљају

значајан извор влаге, па приликом велике атмосферске суше не мора да дође до знатнијег смањења прираста.



Сл. 12.4. Утицај станишта на прираст дрвета (NCDC NOAA n. d.)
Fig. 12.4. The influence of habitat on tree growth (NCDC NOAA n. d.)

Температура је ограничавајући фактор раста у високим планинама, гдје је вегетациони период кратак, а зими влада физиолошка суша због замрзнутог земљишта. Зато би требало узимати узорке у близини горње шумске границе. Када су у питању падавине као лимитирајући фактор, објекте погодне за реконструкцију падавина требало би тражити у оним предјелима гдје неки други еколошки фактор додатно потенцира атмосферску сушу (Дуцић 1991). Ако се анализира водни биланс, највећи дио падавина се слива са стабала и пада са лишћа на земљиште. Воду потребну за животне функције стабло у највећој мјери упија пасивно, преко коријења. Да би се утврдила јасна веза између падавина и прираста, потребно је да се искључи утицај подземних вода и резерви влаге у земљишту. Такође, истовремено више фактора може утицати на раст стабла, усложњавајући физиолошки одговор стабла (Speer 2010).

Ограничења настала усљед антропогеног утицаја. Овај утицај се може сагледати на примјеру Босне и Херцеговине, гдје су заступљене развијене састојине различитих врста четинара и лишћара. Масовнијег искоришћавања шума у овој области није било све до доласка Аустроугарске монархије и окупације Босне и Херцеговине 1878. године.

За потребе експлоатације сировина изграђена је жељезничка пруга на линији Завидовићи – Олово – Хан Пијесак – Кусаче у правцу дринског басена. На тај начин отворени су неискоришћени предјели великих шумских површина Деветака, Жепске планине и Студене горе, које се налазе на територији

општине Рогатица. Међутим, експлоатација је вршена углавном у лако приступачним областима, тако да су подручја у кањону Дрине, Праче, Жепе и стрма планинска подручја углавном остала без масовне експлоатације (Kosorić 1966).

Поставља се питање: Зашто је овај процес ограничавајући фактор за дендроклиматолошка истраживања? Прво, интензивно уништавање шума доводи до уклањања узорака велике старости који су повољни за датирања далеко у прошлост. Највећи проценат шума које су под интензивном експлоатацијом од аустроугарске окупације па до данас чине шуме смрче (достигне старост и до 1.000 година). Са друге стране, сјечом су измијењени микроклиматски услови и режим освјетљења у шумама, што код преосталих стабала знатно утиче на ширину година, независно од климе ширег подручја. У извјесном смислу, ограничавајући фактор представља и чињеница да су сва старија стабла потенцијално заштићена (Dusić 1995). Поред тога, ограничавајући фактор за дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске и Босне и Херцеговине представљају и заостала минска поља из грађанског рата (Ivanović i Golijanin 2021).

12.6. Дивергенција

Посебан проблем у дендроклиматологији представља дивергенција. Наиме, резултати истраживања са локалитета на средњим и сјеверним географским ширинама указују на смањену осјетљивост раста дрвећа на температуру. Дивергенција се дефинише као тенденција да раст дрвећа у неким областима на сјеверу показује мању осјетљивост на температуру током посљедњих педесетак година. Једноставније речено, дио стабала је престао позитивно да реагује на више температуре. Инструментална мјерења током посљедњих 150 година потврдила су претпоставку да температура утиче на раст стабала, тако да оно интензивније расте за вријеме топлијих него хладнијих година. Међутим, прије око 50 година почели су да се биљеже резултати опречни од очекиваних. Тако би, само на основу година, могло да се закључи да температуре падају, иако се ради о периоду у коме је забиљежен раст температуре.

Постојање дивергенције први пут је примијећено на Аљасци, која се показала као област посебно осјетљива у односу на наведени феномен. Притом, нису подједнако захваћени сви локалитети обухваћени истраживањима. Не може се са сигурношћу рећи шта доводи до дивергенције. Међутим, извјесно је да се она јавља тек посљедњих неколико деценија, што указује на антропогене утицаје у виду загађења и пада концентрације озона. На основу експеримената дошло се до доказа за штетно дјеловање ултраљубичастиг зрачења (UV-B

радијације) на процес фотосинтезе виших биљака (D'Arrigo et al. 2007). Још једна од могућих посљедица антропогеног дјеловања јесте затамњивање (замућивање), тј. смањење количине Сунчеве свјетлости која доспијева на планету због промјене у облацима и загађења ваздуха. Комбинација воде у облацима и аеросола у ваздуху утиче на количину Сунчеве свјетлости укључујући и дио спектра који је од есенцијалне важности за фотосинтезу.

У прилог томе да затамњеност доводи до дивергенције иде и то да шуме на сјеверу планете нису само под утицајем температура, нарочито оних ниских које изазивају стрес код дрвећа, већ и кратке сезоне раста. Ове шуме због тога постају веома осјетљиве на опадање количине Сунчеве свјетлости. Са друге стране, шумама на југу раст и фотосинтеза нису под примарним утицајем свјетлости, већ неких других фактора (влажност). Према томе, потребно је знатно смањење количине Сунчеве енергије како би дошло до промјене динамике раста. Ово би могло да објасни зашто се дивергенција јавља на сјеверној Земљиној полулопти (Bradley 1999). Поред ових, постоји још много претпоставки о узроцима дивергенције, као што су температуром изазвани сушни периоди на крају љета, комплексни нелинеарни раст као одговор на промјену у еколошком систему, грешке у обради података итд.

Према томе, постоји више теорија о поријеклу дивергенције, па самим тим и више различитих методолошких поступака који третирају овај проблем. Будућа дендроклиматолошка истраживања не би требало да игноришу потенцијалне комплексне и нелинеарне трендове раста као одговор на климатске факторе. Посебно би требало имати у виду да они могу довести у питање претпоставку униформности, а самим тим и створити методолошке предрасуде које проистичу из проучавања година.

У циљу смањења непоузданости у вези са дивергенцијом требало би примијенити сљедеће мјере:

- сакупљање узорака различите старости, посебно старијих,
- сакупљање узорака на неколико локалитета како би што различитији еколошки услови били заступљени,
- сакупљање више примјерака од уобичајених 15–20.

Дивергенција је један од потенцијалних проблема данашње дендрохронологије и наше вјере у тачност реконструкције климе из прошлости на основу година. У овом случају требало би разматрати „изазов дивергенције“, а не „проблем дивергенције“ (D'Arrigo et al. 2007).

12.7. Дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске

Прва дендроклиматолошка истраживања на простору Републике Српске вршили су шумарски стручњаци и она су се углавном заснивала на анализи еколошког утицаја средине на дебљински прираст стабала (Burlica i sar. 1975). Ова истраживања су показала да годишње суме падавина утичу на дебљински прираст стабала алепског бора (*Pinus halepensis* Mill.) и црног бора (*Pinus nigra* Arnold) на подручју Требиња. У истраживањима која су услиједила, више пажње је посвећено динамици раста и природној регенерацији (црни бор и муника), без успостављања дугих хронологија (Accetto 1979, 1980).

Kuniholm (1981) је на основу стабала црног бора на подручју Равног Борја извршио датирање уназад до 1669. године. Том приликом добијене су и прве локалне хронологије различитих дужина: Влашић 158, Јахорина 245 и Равно Борје 312 година. Истраживања су вршена и на смрчи (*Picea abies* Karst.) на подручју Јахорине и Влашића (Schweingruber 1996). Govedar i sar. (2007) утврдили су утицај климе, прије свега падавина, на раст стабала смрче на Јахорини. Том приликом нису пронађена старија стабла, па скале нису ишле даље од 69 година. Говедар и Голијанин (2007) разматрали су општу проблематику и начела дендроклиматологије, при чему су истакли могућности и предности ове, код нас запостављене научне дисциплине.

Од 2012. године у дендроклиматолошка истраживања у Босни и Херцеговини укључили су се и истраживачи из Словеније, који су на основу живих стабала црног бора успоставили прву регионалну хронологију за централно-западни Балкан (Poljanšek et al. 2012). Ово истраживање урађено је на основу седам локалних хронологија. Анализом је идентификован заједнички сигнал на узорцима за најмање пет позитивних и девет негативних референтних година са свих проучаваних локација. На основу локалних хронологија за простор Босне и Херцеговине, помоћу статистичких параметара и унакрсним датирањем, развијена је 435-годишња хронологија за црни бор. Такође, извршено је поређење са постојећим хронологијама ове врсте из Црне Горе, Грчке, Албаније, Аустрије (регион Беча) и Француске (Корзика). Резултати статистичке и визуелне подударности указују да хронологија има јак регионални сигнал и да стога може бити укључена у дендрохронолошку мрежу црног бора за Западни Балкан. Мјеста узорковања у Босни и Херцеговини била су: Блаце, Коњух, Криваја, Перућица, Прушчакова ријека, Шатор и Шипово, док су метеоролошки подаци били су са станица Мостар и Сарајево.

Poljanšek et al. (2012) користили су развијене моделе за реконструкцију температуре за мај–август (1701–1901) и јануар–март (1685–1901). Методом

процената идентификована су екстремно топла/хладна љета и топла/хладна прољећа, која су компарирана са расположивим документованим историјским изворима и реконструкцијама из ширег региона. На основу података за западни дио Балканског полуострва (црни бор са поменутих седам локација), урађена је прва реконструкција за инсолацију у љетном периоду године (Poljanšek et al. 2013). Установљено је да је инсолација уско повезана са стресом влаге у стаблима, па је тако и ширина година под утицајем директних и интерактивних ефеката Сунчевог зрачења (температура, падавине, облачност и евапотранспирација). Развијени модел је коришћен за реконструкцију љетне инсолације за период 1660–2010. године. Такође, утврђено је да су сва екстремно хладна љета са ниским бројем сунчаних сати у вези са јачим вулканским ерупцијама. Поред тога, Poljanšek and Levanič (2015) урадили су и преглед дендроклиматолошких студија за Балканско полуострво.

У периоду од 2015. уочен је пораст броја радова са дендроклиматолошком тематиком. Томе је допринијело коришћење савремене методологије за узорковање и обраду података. На простору Романије анализа је обухватила 33 узорка: 21 стабло бијелог бора (*Pinus silvestris* L.), 9 стабала смрче (*Picea abies* Karst.) и по једно стабло јеле (*Abies alba* Mill.), храста китњака (*Quercus petraea* Liebl.) и букве (*Fagus sylvatica* L.) (Golijanin i sar. 2015). Најдуже хронологије добијене су из стабала бијелог бора старости веће од 150 година, максималне хронологије до 341 године. Установљена је висока корелација са температуром и нешто мања са падавинама. У каснијем истраживању бавили су се анализом укупног природног наслеђа општине Пале (Golijanin et al. 2020).

Ducić et al. (2015a) анализирали су дендроклиматолошке индикације суше на простору Рогатице, што представља непосредну надоградњу прелиминарног истраживања Ивановића (2013). На основу 11 основних узорака, анализирани су могућности коришћења дендрохронолошких метода у предвиђању суша у источној Босни. Најбоља веза између ширине година и суше добијена је за узорак 67-годишње јеле из планине Бокшаница. Утврђено је да су падавине и суша у љетним мјесецима од кључног значаја за радијални прираст.

Године 2018. извршена је дендроклиматолошка анализа раста јеле на подручју планине Борја (Jović et al. 2018). Спроведена је стандардна дендрохронолошка обрада и анализа података примјеном софтвера Coffecha и Arstan. Добијена је прелиминарна регионална хронологија јеле за ово подручје дужине 137 година (1878–2014. године). Резултати корелационе анализе између индекса радијалног прираста дефинисане хронологије, са једне стране, и падавина и температуре по мјесецима, са друге стране, показали су да веће количине падавина у љето изражено повећавају прираст јеле, а да повећање температуре ваздуха у овим мјесецима не изазива значајну редукцију прираста. Примјена

FAI индекса суше показала је да интензивније суше у љетњим мјесецима могу изазвати значајну редукцију прираста јеле на истраживаном подручју.

Заједничким истраживањима стручњака са Шумарског факултета и Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци на простору планине Козаре, добијена је хронологија дуга 88 година и идентификовано је пет позитивних и девет негативних година (Subotić et al. 2020). Корелациона анализа показала је да падавине имају статистички значајан утицај на радијални прираст стабала, посебно за период април–мај. Такође, утврђена је и статистички значајна повезаност радијалног прираста и индекса аридности.

Истраживањима спроведеним на стаблима мунике са планине Орјен, добијена је хронологија дуга 487 година, а за реконструкцију су коришћени стабилни изотопи (Lukač et al. 2021). Најбоља корелација је добијена са количином падавина за период јун–август. Резултати ове студије показују да реконструкција на основу стабилних изотопа прецизније прати варијабилност климе од стандардног приступа коришћењем ширине година.

У будућим дендроклиматолошким истраживањима на простору Републике Српске требало би испитати везу између активности Сунца и ширине година. Ова веза, коју је у САД уочио још Douglass (1909), потврђена је бројним истраживањима (Ducić 2008; Muraki et al. 2011, 2015; Kasatkina et al. 2019; Li et al. 2019). Притом, све је више студија које се баве утицајем активности Сунца на различите појаве на нашој планети: шумске пожаре (Radovanović et al. 2015, 2019; Vyklyk et al. 2020), пренамножења инсеката (Milenković et al. 2010; Milenković and Ducić 2016), као и урагане (Vyklyk et al. 2017, 2018). Тако се и појаве вртложних кретања ваздушних маса (тромбе) у Србији (Radovanović 2009; Miĥajlović et al. 2013) тумаче утицајем активности Сунца, односно дјеловањем честица Сунчевог вјетра (Radovanović et al. 2013).

12.8. Закључак

Дендроклиматологија је постала битно оруђе за разумијевање и проучавање рецентних и палеоклиматских процеса у свијету. Методе које користи ова научна дисциплина дају поуздане податке и информације о варијабилности одређених климатских елемената (температура и падавине) који су били карактеристични за одређене периоде у прошлости. Ове научне методе, развијене још почетком прошлог вијека, код нас се налазе на ниском степену развоја и немају дугу традицију. Простор Републике Српске пружа могућности, али и ограничења за развој дендроклиматологије. Предности су анатомско-генетске и еколошке, пошто су заступљене врсте које имају маркантне

годове, као и дуговјечне врсте дрвећа. Такође, на великом подручју падавине и температура представљају лимитирајући фактор прираста дрвећа. Главни ограничавајући фактори везани су за сам процес сакупљања узорака, јер се најстарија стабла налазе на неприступачним високопланинским просторима. Знатне шумске површине покривене су заосталим минско-експлозивним средствима из претходног одбрамбено-отаџбинског рата. Такође, битан ограничавајући фактор представља и недостатак опреме и инструмената за дендроклиматолошка истраживања. У Републици Српској ова истраживања су вршена на планинама Јахорина, Романија, Шатор, Козара, Орјен, у околини Требиња, у прашуми Перућици, у околини Шипова и у рогатичком крају. Она су показала да постоје значајне корелације између прираста стабала и климатских елемената. То се прије свега односи на просјечне годишње суме падавина и температуру, као и падавине и температуру током појединих годишњих доба. На простору Републике Српске још постоје локалитети који су избјегли негативан антропогени утицај и на којима су се очували шумски комплекси са стаблима велике старости.

Литература

- Accetto M (1979) Regeneration, Growth and Development of Natural Stands of Austrian Pine (*Pinus nigra* Arnold) on Dolomite-Limestone Sites of Western Bosnia. Research Reports: Forestry and Wood Technology 17:274–351
- Accetto M (1980) Rast bora *Pinus heldreichii* Christ. na planini Prenj v Bosni in Hercegovini. Doctoral dissertation, University of Ljubljana, Ljubljana
- Bradley S (1999) Paleoclimatology, Reconstructing Climates of the Quaternary (International Geophysics Series 68). Academic Press, London, pp 632
- Burlica Č, Prolić N, Hakl Z (1975) Padavine u području Trebinja i njihov uticaj na debljinski prirast alepskog i crnog bora. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, Posebna izdanja, Knjiga XXIII
- Van Densen PC (1987) Detecting Effects of Stand Dynamics with Tree Ring Data. Canadian Journal of Forest Reserch 17:1487–1495
- Vyklyuk Y, Radovanović M, Milovanović B, Leko T, Milenković M, Milošević Z, Milanović Pešić A, Jakovljević D (2017) Hurricane Genesis Modelling Based on the Relationship Between Solar Activity and Hurricanes. Natural Hazards 85(2):1043–1062. doi.10.1007/s11069-016-2620-6
- Vyklyuk Y, Radovanović MM, Stanojević GB, Milovanović B, Leko T, Milenković M, Petrović M, Yamashkin AA, Milanović Pešić A, Jakovljević D, Malinović Milićević, S (2018) Hurricane Genesis Modelling Based on the Relationship Between Solar Activity and Hurricanes II. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 180:159–164. doi.10.1016/j.jastp.2017.09.008

- Vyklyuk Y, Radovanović MM, Stanojević G, Petrović MD, Ćurčić NB, Milenković M, Malinović Milićević S, Milovanović B, Yamashkin AA, Milanović Pešić A, Lukić D, Gajić M (2020) Connection of Solar Activities and Forest Fires in 2018: Events in the USA (California), Portugal and Greece. *Sustainability* 12(24):1–23. doi.10.3390/su122410261
- Говедар З, Голијанин Ј (2007) Нека од основних начела дендроклиматологије. Радови Филозофског факултета 9(2):275–287
- Govedar Z, Golijanin J, Marković S (2007) Dendrohronološka istraživanja razvoja stabala smrče (*Picea abies* L.) na Jahorini. U: Grčić M, Gnјato R, Stamenković S (urednici) Zbornik radova sa naučnog skupa „Srbija i Republika Srpska u regionalnim i globalnim procesima“, str 289–298. Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet
- Golijanin J, Bojić S, Šušnjar S, Ivanović R (2015) Dendroklimatološka istraživanja na prostoru Romanije. U: Filipović D, Šećerov V, Radosavljević Z (urednici) Zbornik radova Osmi naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine, str 411–418. Asocijacija prostornih planera Srbije, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, JP Zavod za urbanizam grada Subotice
- Golijanin J, Šušnjar S, Ivanović R (2020) The Natural Heritage of Pale Municipality: Local Population Attitudes. *Archives for Technical Sciences* 23(1):77–86. doi.10.7251/afts.2020.1223.077G
- D'Arrigo R, Wilson R, Liepert B, Cherubini P (2007) On the Divergence Problem in the Northern Forest: A Review of the Tree–Ring Evidence and Possible Causes. *Global and Planetary Change* 60(3–4):289–305. doi.10.1016/j.gloplacha.2007.03.004
- Douglass AE (1909) Weather Cycles in the Growth of Big Trees. *Monthly Weather Review* 37(6):225–237
- Douglass AE (1914) A Method of Estimating Rainfall by the Growth of Trees. *Carnegie Institute of Washington* 192:101–121
- Douglass AE (1919) Climatic Cycles and Tree-Growth, A study of the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity. Carnegie Institution, Washington, pp 126
- Dukić V, Petrović D (2021) Dendrohronologija. Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Banjaluka, str 390
- Дуцић В (1991) Дендроклиматолошка истраживања у Србији: могућности и ограничења. Зборник радова, Географски факултет, ПМФ 37/38:57–65
- Ducić V (1995) Rekonstrukcija klimata u Srbiji u predinstrumentalnom periodu. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd
- Ducić V (2008) Uticaj Sunčevog vetra na širinu godova kod drveća. *Beogradska škola meteorologije* 1:247–256
- Ducić V, Ivanović R, Mihajlović J, Gnјato R, Trbić G, Ćurčić NB (2015a) Dendroindication of Drought in Rogatica Region (Eastern Bosnia). *Archives of Biological Sciences* 67(1):201–211. doi.10.2298/ABS141114025D

- Ducić V, Milenković M, Milijašević D, Vujačić D, Bjeljac Ž, Lović S, Gajić M, Anđelković G, Djordjević A (2015b) Hiatus in Global Warming – Example of Water Temperature of the Danube River at Bogojevo Gauge (Serbia). *Thermal Science* 19(supplement 2):467–476. doi.10.2298/TSCI150430133D
- Ducić V, Milovanović B, Stanojević G, Milenković M, Ćurčić N (2015в) Tropical Temperature Altitude Amplification in the Hiatus Period (1998-2012). *Thermal Science* 19(supplement 2):371–379. doi.10.2298/TSCI150210093R
- Ивановић Р (2013) Дендроклиматолошка истраживања у Рогатичком крају. Мастер рад, Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд
- Ivanović R, Golijanin J (2021) Mogućnost dendroklimatoloških istraživanja u Sarajevsko–romanijskoj regiji. U: Mirić R (urednik) 5. Kongres geografa BiH, str 76–85. Geografsko društvo u Federaciji Bosne i Hercegovine
- Jović G, Dukić V, Stajić B, Kazimirović M, Petrović D (2018) A Dendroclimatological Analysis of Fir (*Abies alba* Mill.) Growth in the Borja Mountain Area of Bosnia and Herzegovina. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 118:27–45. doi.10.2298/GSF1818027J
- Kasatkina EA, Shumilov OI, Timonen M (2019) Solar Activity Imprints in Tree Ring-Data from Northwestern Russia. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 193(15):105075. doi.10.1016/j.jastp.2019.105075
- Kosorić V (1966) Rogatica pod Austrougarskom upravom. U: Petrović K (urednik) Rogatica, str 62–81. Izdavačko preduzeće Svjetlost
- Kuniholm PI (1981) *Pinus nigra* – Ravno Borje, Bosnia and Herzegovina. National Climatic Data Center, NESDIS, NOAA, US Department of Commerce, Boulder, Colorado
- Kuniholm PI (2001) Dendrochronology and Other Applications of Tree-Ring Studies in Archaeology. In: Brothwell DR, Pollard AM (eds) *The Handbook of Archaeological Sciences*, pp 35–46. John Wiley and Sons, Ltd.
- Li G, Zheng M, Yang H (2019) Cycle Analysis Method of Tree Ring and Solar Activity Based on Variational Mode Decomposition and Hilbert Transform. *Advances in Meteorology* 2019:1715673. doi.10.1155/2019/1715673
- Lukač L, Mikac S, Urban O, Kolář T, Rybníček M, Ač A, Trnka M, Marek MV (2021) Stable Isotopes in Tree Rings of *Pinus heldreichii* Can Indicate Climate Variability over the Eastern Mediterranean Region. *Forests* 12(3):350. doi.10.3390/f12030350
- Meko D, Cook ER, Stahle DW, Stockton CW, Hughes MK (1993) Spatial Patterns of Tree-Growth Anomalies in the United States and Southeastern Canada. *Journal of Climate* 6(9):1773–1786. doi.10.1175/1520-0442(1993)006<1773:SPOTGA>2.0.CO;2
- Milenković M, Ducić V, Milovanović B (2010) The Influence of the Solar Flux at 2.8 GHz on Outbreaks of Gypsy Moth (*Lymantria dispar* L.) (Lepidoptera: Lymantriidae) in Serbia. *Archives of Biological Sciences* 62(4):1021–1025. doi.10.2298/ABS1004021M

- Milenković M, Ducić V (2016) The Solar Activity Cycles and the Outbreaks of the Gypsy Moth—*Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) in Serbia. *Ecologica Montenegrina* 7:538–545. doi.10.37828/em.2016.7.23
- Mihajlović J, Ducić V, Burić D, Ivanović R, Ristić D (2013) Landspout Across Novi Beograd, 24 May 2012: Synoptic Analysis. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 93(2):55–72. doi.10.2298/GSGD1302055M
- Muraki Y, Masuda K, Nagaya K, Wada K, Miyahara H (2011) Solar Variability and Width of Tree Ring. *Astrophysics and Space Sciences Transactions* 7(3):395–401. doi.10.5194/astra-7-395-2011
- Muraki Y, Mitsutani T, Shibata S, Kuramata S, Masuda K, Nagaya K (2015) Regional Climate Pattern During Two Millennia Estimated from Annual Tree Rings of Yaku Cedar Trees: A Hint for Solar Variability? *Earth, Planet and Space* 67:31. doi.10.1186/s40623-015-0198-y
- McCarroll D, Pettigrew E, Luckman A, Guibal F, Edouard J-L (2002) Blue Reflectance Provides a Surrogate for Latewood Density of High-Latitude Pine Tree Rings. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34(4):450–453. doi.10.1080/15230430.2002.12003516
- McCarroll D, Loader NJ (2004) Stable Isotopes in Tree Rings. *Quaternary Science Reviews* 23(7–8):771–801. doi.10.1016/j.quascirev.2003.06.017
- Nash ES (2002) Archaeological Tree–Ring Dating at the Millenium. *Journal of Archaeological Research* 10(3):243–275
- NCDC NOAA (n. d.) Tree-ring. Доступно на: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>, Приступљено: 12. април 2019
- Ogrin D (1998) Dendrokronologija in dendroklimatologija Planine pri jezeru v Julijskih Alpah. *Geografski vestnik* 70:59–73
- Poljanšek S, Ballian D, Nagel TA, Levanič T (2012) A 435-Year-Long European Black Pine (*Pinus nigra*) Chronology for the Central-Western Balkan Region. *Tree-Ring Research* 68(1):31–44. doi.10.3959/2011-7.1
- Poljanšek S, Ceglar A, Levanič T (2013) Long-Term Summer Sunshine/Moisture Stress Reconstruction from Tree-Ring Widths from Bosnia and Herzegovina. *Climate of the Past* 9(1):27–40. doi.10.5194/cp-9-27-2013
- Poljanšek S, Levanič T (2015) Overview of Dendroclimatological Studies in the Balkan Peninsula. *Agriculture & Forestry* 61(4):285–292. doi.10.17707/AgricultForest.61.4.34
- Poljanšek S, Levanič T, Ballian D, Jalkanen R (2015) Tree Growth and Needle Dynamics of *P. nigra* and *P. sylvestris* and Their Response to Climate and Fire Disturbances. *Trees* 29(3):683–694. doi.10.1007/s00468-014-1146-3
- Popa I, Kern Z (2009) Long–Term Summer Temperature Reconstruction Inferred from Tree-Ring Records from the Eastern Carpathians. *Climate Dynamics* 32:1107–1117. doi.10.1007/s00382-008-0439-x
- Radovanović M (2009) Waterspout near Indjija: The Analysis of the Case from 6th June 2008. *Glasnik Srpskog geografskog društva* 89(4):295–310. doi.10.2298/GSGD0904295R

- Radovanović MM, Milovanović B, Pavlovic MA, Radivojević AR, Stevancevic MT (2013) The Connection Between Solar Wind Charged Particles and Tornadoes: Case Analysis. *Nuclear Technology and Radiation Protection* 28:52–59. doi.10.2298/NTRP1301052R
- Radovanović MM, Vyklyuk Y, Milenković M, Vuković DB, Matsiuk N (2015) Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System Models for Prediction of Forest Fires in the USA on the Basis of Solar Activity. *Thermal Science* 19(5):1649–1661. doi.10.2298/TSCI150210093R
- Radovanović MM, Vyklyuk Y, Stevančević MT, Milenković MĐ, Jakovljević DM, Petrović MD, Malinović Milićević SB, Vuković N, Vujko AD, Yamashkin A, Sydor P, Vuković DB, Škoda M (2019) Forest Fires in Portugal – Case Study, 18 June 2017. *Thermal Science* 23(1):73–86. doi.10.2298/TSCI180803251R
- Seim A, Büntgen U, Fonti P, Haska H, Herzig F, Tegel W, Trouet V, Treydte K (2012) Climate Sensitivity of a Millennium-Long Pine Chronology from Albania. *Climate Research* 51(3):217–228. doi.10.3354/cr01076
- Smith DJ, Lewis D (2007) Dendrochronology. In: Elias SA (ed) *Encyclopedia of Quaternary Science*, pp 459–465. Elsevier
- Speer H J (2010) *Fundamentals of Tree Ring Research*. University of Arizona Press, Tucson, pp 325
- Subotić J, Dukić V, Popov T, Trbić G, Maunaga Z, Petrović D (2020) Relationships Between Climatic Variables and Tree-Ring Width of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) in Kozara National Park (Bosnia and Herzegovina). *SEEFOR – South-East European Forestry* 11(1):17–27. doi.10.15177/seefor.20-05
- Schweingruber FH (1996) *Picea abies* – Jahorina and Vlašić, Bosnia and Hercegovina. National Climatic Data Center, NESDIS, NOAA, US Department of Commerce, Boulder, Colorado
- Schweingruber FH, Fritts HC, Bräker OU, Drew LG, Schär E (1978) The X-Ray Technique as Applied to Dendroclimatology. *Tree-Ring Bulletin* 38:61–91
- Touchan R, Hughes M (2000) The Role of Dendrochronology in Natural Resource Management. In: Ffolliott PF, Baker Jr MB, Edminster CB, Dillon MC, Mora KL (tech cords) *Land Stewardship in the 21st Century: The Contributions of Watershed Management*, Conference Proceedings, Tuscon, Arizona, March 13 – 16, 2000 (RMRS-P-13), pp 277–281. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station
- Fritts HC (1976) *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, pp 582
- Hadživuković S (1991) *Statistički metodi s primenom u poljoprivrednim i biološkim istraživanjima*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Institut za ekonomiku poljoprivrede i sociologiju sela, Novi Sad, str 584
- Webb EG (1986) Solar Phisics and the Origins of Dendrochronology. *Isis* 77(2):291–301

Dendroclimatology: Basic Concepts, Measurement Techniques and Research Possibilities in the Republic of Srpska

Rade Ivanović, Milan Milenković

Summary

Dendrochronology is a new scientific discipline whose methods are used in paleogeographic research in order to gain insight into the state, as well as changes in the environment. Dendrochronology has given rise to dendroclimatology, which is used to study climate trends in the recent period, on the basis of which it is possible to determine the changes that have taken place in the climate complex in the past. Thanks to the ability of trees to form rings in accordance with climatic influences, it is possible to determine whether there is a correlation between meteorological data and data obtained from dendroclimatological analyzes.

Dendroclimatology has become an essential tool for analyzing perennial climate fluctuations and changes. The chapter presents the results of previous research and perspectives of climate reconstruction using dendroclimatological methods in the Republic of Srpska. Although it is still undeveloped in our country, this science is very important for the study of climate in the past, as well as other cause-and-effect changes related to climate oscillations.

The area of the Republic of Srpska is covered by a significant percentage of forests, in which old trees are frequent. This area offers a number of advantages, but also limitations for dendroclimatological research. In the area of the Republic of Srpska, these studies were conducted sporadically until several years ago. More intensive researches in recent years create the basis for a better understanding of recent climate and paleoclimate. Having in mind the above, it can be concluded that the Republic of Srpska has significant potential for dendroclimatological research.

Keywords: Dendroclimatology, dendrochronology, Republic of Srpska, climate reconstruction, measurement techniques

