

## Primerjava dendrokronoloških raziskovanj z ocenjevanjem prirastka na gozdarskih raziskovalnih ploskvah

*Comparison of dendrochronological research with estimation of the increment on the forestry research plots*

David HLADNIK<sup>1,\*</sup>, Tom LEVANIC<sup>2</sup>

### Izvleček:

Izsledke dendrokronološkega raziskovanja na podlagi dreves višjih socialnih položajev v smrekovem debeljaku smo primerjali z ocenjevanjem prirastka na raziskovalnih ploskvah v smrekovih sestojih na Pokljuki. Za primerjavo dendrokronološke analize z izsledki o prirastku na raziskovalnih ploskvah smo uporabili le del podatkov do standardizacije dendrokronoloških krivulj, ker nismo želeli odstraniti starostnega trenda iz časovne vrste opazovanj. Na raziskovalnih ploskvah, ki so bile postavljene pred 60 leti, smo z zaporednimi meritvami premerov dreves ocenjevali debelinske prirastke, lesne zaloge in volumenske prirastke v posameznih obdobjih. Variabilnost povprečnega debelinskega prirastka v najvišjih debelinskih razredih na raziskovalnih ploskvah je bila primerljiva z ocenami za dominantna drevesa, analizirana v dendrokronološki analizi. Podatki iz dendrokronoloških raziskovanj so dobro izhodišče in v veliko oporo pri ocenjevanju dinamike razvoja v gozdnih sestojih ter pri presojanju o spremembah v 5- ali 10-letnih obdobjih zaporednih gozdnih inventur.

**Ključne besede:** dendrokronološka analiza, gozdne inventure, debelinski prirastek, smreka

### Abstract:

We compared the results of dendrochronological research of mature spruce trees from the stand canopy with the assessment of radial increment on the study plots in spruce stands on Pokljuka. In the comparison, we use raw measurement data (age trend was not removed) from dendrochronological analysis of radial growth of spruce trees and compare them with the findings on radial growth on the research plots. On the research plots established 60 years ago, we assessed DBH increments, growing stocks, and volume increments in individual periods using serial tree diameter measurements. Variability in average DBH increment in the highest DBH classes on the research plots was comparable to assessments for dominant trees analyzed in the dendrochronological analysis. The data from the dendrochronological analysis provide a good baseline and important support for assessing developmental dynamics in forest stands and evaluating changes over 5- or 10-year periods of continuous forest inventories.

**Key words:** dendrochronological analysis, forest inventories, DBH increment, spruce

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

V gozdnem prirastoslovju je prirastek gozdnih sestojev v določenem časovnem obdobju osrednje merilo ocenjevanja rastnih procesov v gozdu ter uspešnosti in učinkovitosti gospodarskih ukrepov, ki so na voljo (Assmann, 1970). Heinimann (2010) je kot primer nadzora dinamičnih sistemov izbral rast drevesa in gozdnega sestoja, ki sta temeljni proces v nadzornem sistemu gozdarstva. Pretzsch (2009) je proces rasti ponazoril s povratno zanko: sestojna zgradba določa rastne razmere posameznih dreves v sestoju, rastne razmere določajo rast in rast določa strukturne spremembe dreves in

sestoja. Po zmanjšanju sestojne gostote preostala drevesa lahko do določene mere odgovorijo na dodaten rastni prostor in dostopnost virov s povečano rastjo in tako delno nadomestijo odstranjena drevesa (Pretzsch, 2009).

Pojem rasti uporabljamo za oceno povečanja mase, biomase in suhe snovi, prirastek pa se nanaša na strukturno povečanje višine, premera, temeljnice ali volumna dreves. Pravzaprav oba pojma opisujeta stopnjo, za katero sta se drevo ali sestoj povečala v določenem obdobju (Pretzsch, 2009). V veliki večini strokovnega in raziskovalnega dela pri ocenjevanju volumenskega prirastka ne merimo volumnov dreves, temveč premere

<sup>1</sup> Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija.

<sup>2</sup> Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozdov, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija.

\* dopisni avtor: david.hladnik@bf.uni-lj.si

in/ali višine dreves in na podlagi meritev z modeli napovedujemo volumne (Bowman in sod., 2013, Metsaranta in Lieffers, 2009). Zanesljiva kazalnika volumenskega prirastka sta debelinski in temeljnični prirastek dreves, kar potrjujejo velike korelacije z volumenskim prirastkom, ocenjenim z najbolj natančno metodo določanja rasti drevesa – dendrometrijsko analizo (Metsaranta in Bhatti, 2016). Pri tej metodi posekano drevo razdelimo in analiziramo njegovo rast po enako dolgih sekcijah – absolutno enakih dolžin (npr. 1 m, 2 m ali 4 m) ali relativno enakih dolžin (desetine ali petine višine drevesa). Glede na to, ali smo ali nismo v oceni rasti upoštevali tudi dele dreves ali drevesa, ki so v določenih obdobjih odmrla, govorimo o bruto ali neto rasti. Enako velja tudi za opredelitev bruto in neto donosov iz gozda.

Pretzsch (2009) je pri opisu razlike v pristopih gozdarstva in ekologije opozoril na raziskovalne koncepte, pri katerih v gozdarstvu upoštevamo celotno življenje dreves ali gozdnega sestoja. Zato je sprejemljivo ocenjevati rast in donos lesa v diskretnih časovnih intervalih, običajno v 5- ali 10-letnih obdobjih določamo periodični prirastek. Z nizi opazovanj, včasih tudi daljših od 150 let, ocenjujemo rast, donos in mortaliteto na ravni dreves in sestojev. Tako je omogočeno raziskovanje dolgoročnih odzivov rasti na motnje, 5- ali 10-letni intervali ocenjevanja pa dopuščajo le delno odkrivanje vzročnih povezav med rastjo in na primer krajšimi obdobji suše ali temperaturnih razmer. Zanesljivo ocenjevanje letnih prirastkov omogoča dendrokronologija, ki izhaja iz natančnega datiranja posameznih branik (*cross-dating*) in pri standardizaciji kronologije vzporeja podatke o več drevesih, da bi odkrili manjkajoče, lažne in mikrobranike ter druge anatomske posebnosti, ki lahko povzročijo nezanesljivo določanje koledarskega leta rasti oziroma datiranje branik (Biondi, 2020). Raziskovalci zato opozarjajo na možnosti, ki jih ponujajo dendrokronološka raziskovanja, premalo izkoriščena v sklopu gozdnih inventur (Biondi, 1999, Bowman in sod., 2012, Metsaranta in Lieffers, 2009).

O poteku rasti sklepamo na podlagi meritev, ki jih zbiramo (a) v gozdni inventuri na trajnih vzorčnih ploskvah in (b) z merjenjem širine branik na izvrtkih ali kolutih, ki smo jih izvrtali

oziroma izrezali iz debela drevesa. Z zaporednim merjenjem premerov na trajnih vzorčnih ploskvah ocenjujemo debelinski prirastek v določenih večletnih obdobjih. Nasprotno dendrokronologi standardizirajo nize branik, da bi odstranili variabilnost v rasti posameznih dreves glede na velikost debela, starost kambija, socialni položaj drevesa, občasne poškodbe in druge morebitne dejavnike, ki vplivajo na rast dreves. Ohraniti želijo vzorce in znake trendov, ki prevladujejo v rasti dreves in jih zajeti v enotno kronologijo. Za to je potrebno več, kot le štetje branik. Ob vizualnem ocenjevanju za zanesljivo datiranje uporabljamo numerične metode (Biondi, 2020). Le tako je mogoče ocenjevati razlike v rasti dreves po posameznih letih in jih vzporejati z vplivom okoljskih dejavnikov, ki jih ponazarjajo spremenljivke o padavinah, temperaturah, zračnem tlaku, vodnih tokovih, sušnih obdobjih, osončenosti in datiranjem prejšnjih dogodkov, kot so na primer požari, gradacije žuželk, naravne nesreče (Biondi, 1999; Oven in sod., 2019, Žabota in sod., 2020). V prirastoslovnih raziskovanjih je ob rastiščnih dejavnikih odločilno raziskovanje gozdarskih ukrepov v gozdnih sestojih, zlasti vpliva sestojnih gostot in različnih jakosti redčenj, ki so jih začeli analizirati na raziskovalnih ploskvah nemških eksperimentalnih postaj že v letu 1870 (Pretzsch, 2009). Poldrugo desetletje pred tem je Pressler razvil orodje za pridobivanje izvrtkov iz živih ali odmrlih dreves, njegov prirastni sveder (*Zuwachsbohrer*) pa se je do današnjih dni le malo spremenil (Schweingruber, 2001, cit. Grissino-Meyer, 2003). Opazovanje branik, ki predstavljajo letni debelinski prirastek in so oblikovane od začetka rastne sezone spomladi do konca poletja ali v začetku jeseni, je bilo zanimivo že Leonardu da Vinciju v 15. stoletju. Pripisujejo mu ocenjevanje starosti dreves in sklepanje o vplivu klimatskih dejavnikov na velikost branik (Sperr, 2010, cit. Bondi, 2020). V gozdni inventuri smo na izvrtkih za ocenjevanje debelinskega prirastka pozorni zlasti na mejo med dvema branikama, ki jo poimenujemo letnica. Je nematerialna meja med gostejšim kasnim lesom prejšnjega leta in redkejšim ranim lesom naslednjega leta (Levanič, 2004). Dobro je opazna zaradi zmanjšanja velikosti celic in odebelitve celičnih sten na koncu rastne sezone.

Debelinski prirastek ocenjujemo tudi z zaporednimi meritvami premerov dreves na stalnih vzorčnih ploskvah. Tako pridobimo le podatke o razlikah premerov in sklepamo o debelinskem prirastku na podlagi povečanega premera v 5- ali 10-letnih obdobjih. Neposredno primerjavo z dendrokronološkimi opazovanji ovirajo številni viri morebitnih napak pri merjenju – neenakomerna debelina in površina skorje, nepravilna oblika debla odstopa od krožne oblike, neupoštevanje razlik v priraščanju lesa in skorje (Bowman et al., 2012). Na kakovost zaporednih meritev vplivajo morebitne zamene merilnih naprav (premerke, merski trakovi), nenatančnost pri določitvi prsne višine 130 cm nad tlemi, različni predpisani načini postavljanja merskih naprav ob deblu. Nezanosljive so tudi primerjave v ocenjevanju periodičnih prirastkov. Toda temu se ne moremo izogniti niti s skrbnim vrtnanjem dreves.

Z dendrokronološkimi analizami so pokazali na manjšo natančnost ocenjevanja starosti in debelinskega priraščanja pri meritvah na izvrtkih dreves, ki so jih poimenovali kot standardno metodo v gozdni inventuri. Brez dendrokronološkega ocenjevanja ne moremo odkriti manjkajočih branik, kar povzroči tudi neujemanje časovnih obdobj, ki jih želimo primerjati. V eni od podrobnih dendrokronoloških primerjav s standardnimi metodami (Metsaranta, 2020) je podcenjevanje starosti doseglo do 16 % napako ali v povprečju devet let. Na napako je odločilno vplivala tudi natančnost pri vrtnanju, kajti le pri 39 % izvrtanih dreves so s svedrom zadeli njihovo sredino. V podrobni analizi o različnih načinih vzorčnega izbiranja dreves, ki jih najpogosteje uporabljajo pri dendrokronoloških raziskovanjih, so manjkajoče branike odkrili pri četrtini vzorcev, najpogosteje pri podraslih drevesih z majhnimi premeri (Nehrbass-Ahles in sod., 2014). Med vzorčno izbranimi so prevladovala drevesa jelke *Abies alba*, smreke (*Picea abies*), bukve (*Fagus sylvatica*) in hrasta (*Quercus petraea*).

Z opisanimi ovirami in omejitvami smo ponaazorili, da ocenjevanje prirastka dreves in gozdnih sestojev ostaja prav tak izziv, kot so ga sredi 19. stoletja v nemških deželah postavili »s konceptom tehničnih in organizacijskih vodil za dolgoročno raziskovanje donosov gozda prek širokega spektra raziskovalnih objektov« (Pretzsch, 2009). V Sloveniji

pred 70 leti nismo zmogli ohraniti in vzdrževati podobno zastavljenega dela na raziskovalnih ploskvah (Kotar, 2005, Levanič, 2002, Hladnik in Skvarča, 2009). Na žalost pa v zadnjih desetletjih še vedno podcenjujemo tehnične in organizacijske zahteve, s katerimi bi zagotovili večjo kakovost pri ocenjevanju priraščanja dreves in gozdnih sestojev na podlagi kontrolne vzorčne metode oziroma trajnih vzorčnih ploskev v gozdni inventuri. V prispevku bomo pokazali niz postopkov pri ocenjevanju prirastka in omejitve, ki vplivajo na zanesljivost pridobljenih ocen. Za neposredno primerjavo dendrokronoloških analiz s standardnimi metodami v gozdni inventuri nimamo na voljo podatkov, ki bi izvirali iz enotnih raziskovalnih objektov v Sloveniji, niti nimamo kontinuiranega spremljanja razvoja gozdnih sestojev, ki bi bilo primerljivo z opazovanji v srednjeevropskih državah.

Podobno kot številni drugi avtorji (Biondi, 1999, Bowman in sod., 2013, Metsaranta in Lieffers, 2009, Nehrbass-Ahles in sod., 2014) bomo pokazali možnosti za pridobivanje novih in kakovostnejših ocen o prirastku dreves in gozdnih sestojev ter omejitve pri povezovanju podatkov, pridobljenih iz različnih konceptov in postopkov raziskovalnega dela. Različni pristopi pri zasnovi vzorčnega ocenjevanja v dendrokronologiji le malo vplivajo na morebitno pristranskost (bias) pri ocenjevanju korelacije med standardiziranimi kronologijami in dejavniki na ravni medletnih ali desetletnih opazovanj (Nehrbass-Ahles et al., 2014), pogosto pa onemogočajo uporabo podatkov v gozdni inventuri.

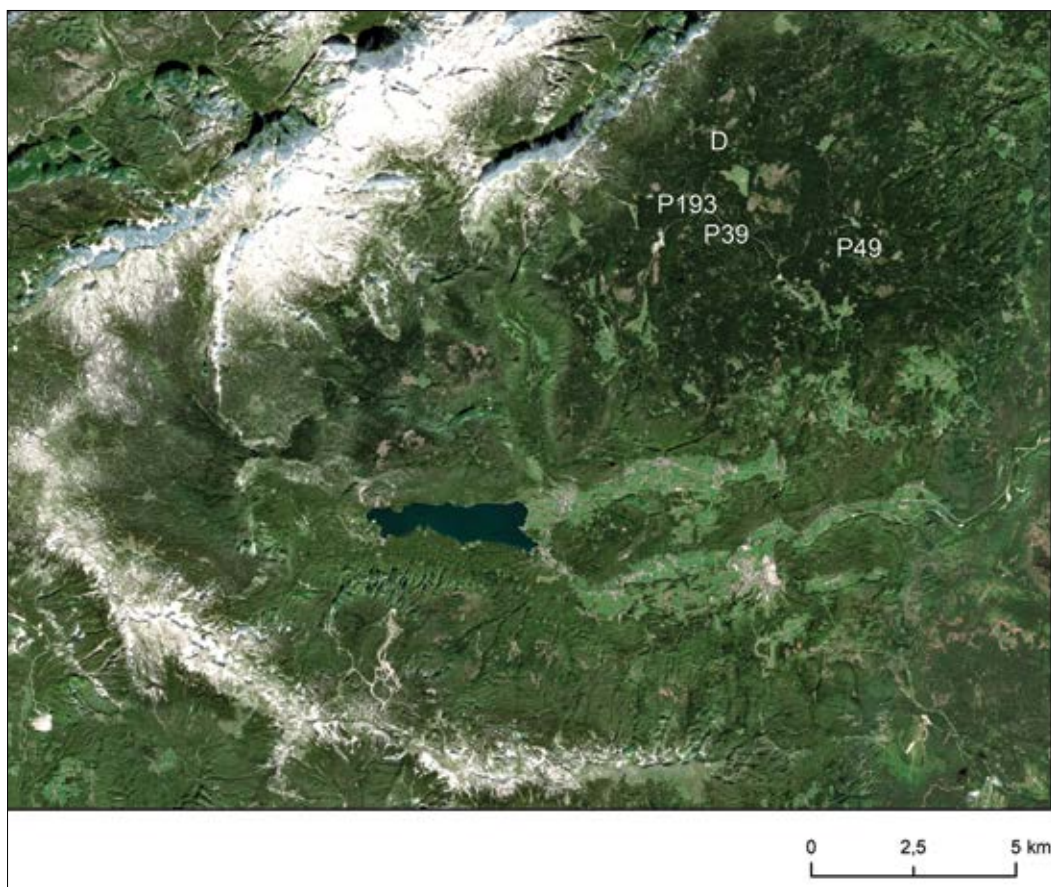
Dendrokronološke analize pokažejo številne ovire pri ocenjevanju rasti dreves, ki jih s standardnimi metodami v gozdni inventuri oziroma zgolj s preštevanjem števila letnic in merjenjem širine branik niti ne zaznamo. Hkrati pa ni mogoče za ocenjevanje priraščanja v gozdni inventuri neposredno privzeti podatkov iz dendrokronoloških raziskovanj, če so bila pri vzorčni izbiri dreves izbrana le dominantna in vitalna drevesa, ki jih najpogosteje zajamejo v postopkih regionalne standardizacije kronologij (Nehrbass-Ahles in sod., 2014). To še posebno velja, če želimo znova uporabiti zbirke podatkov, ki so bile sicer izdelane v prejšnjih raziskovanjih drugačnih vprašanj in problemov, kot jih rešujemo v gozdni inventuri in pri gospodarjenju z gozdovi

Na podlagi dosedanjega raziskovanja in tudi prikaza velike medletne spremenljivosti podnebnih spremenljivk v zadnjih desetletjih (ARSO 2013) je mogoče pričakovati veliko variabilnost v ocenjevanju debelinskega prirastka med posameznimi leti in veliko variabilnost debelinskega prirastka med posameznimi drevesi. V prispevku bo ocenjena zlasti variabilnost pri ocenjevanju debelinskega prirastka smreke in njene razlike v časovnih obdobjih, pomembnih pri ocenjevanju rasti dreves v gospodarskih gozdovih. Predstavili bomo omejitve pri ocenjevanju volumenskega prirastka z različnimi metodami, ki so jih in jih še uporabljamo v gozdni inventuri.

## 2 METODE DELA

### 2 WORKING METHODS

Izsledke dendrokronološkega raziskovanja smo primerjali z ocenjevanjem prirastka na raziskovalnih ploskvah v smrekovih sestojih na Pokljuki. Iz večjega niza raziskovalnih objektov smo za primerjavo izbrali gozdni sestoj, za katerega so bile dendrokronološke analize podrobno opisane (Stopar in sod., 2018) in temu sestoju najbližje raziskovalne ploskve (Slika 1), ki so jih na Pokljuki postavili pred 70 leti (Čokl, 1958, Hladnik in Skvarča, 2009). Na poključki visokogorski planoti od 1.000 m do 1.400 m nadmorske višine prevladujejo združbe predalpskega jelovo-buko-



**Slika 1:** Tri raziskovalne ploskve (P) na Pokljuki, izbrane za primerjavo s sestojem, v katerem so bila izbrana drevesa za dendrokronološko analizo (D). Objekti so označeni na izseku iz satelitskega posnetka Sentinel-2 (ESA, 5. 9. 2020).

*Figure 1:* Three research plots (P) on Pokljuka, selected for the comparison with the stand where the trees for the dendrochronological analysis (D) were selected. The objects are marked on the section from the Sentinel-2 satellite image (ESA, 5. 9. 2020).

vega gozda, subalpskega smrekovega gozda ter planinskega smrekovja (GGN 2017). Po vrstni sestavi je ohranjenih manj kot tretjina gozdov, kajti prevladujejo enomerni sestoje smreke, ki jih pogosto označimo tudi kot enodobne, čeprav so razlike v starosti dreves največkrat večje od 20 let, pa tudi pričakovane pomladitvene dobe so daljše – od 25 do 45 let (GGN 2006, 2017).

Raziskovalne ploskve so bile sicer opuščene po 30 letih opazovanja. V zadnjem desetletju smo del podatkov in dreves na ploskvah rešili pred pozabo (Hladnik in Skvarča, 2009) ter vsaj dve raziskovalni ploskvi še zadnjič izmerili septembra in oktobra 2020. Premere dreves smo merili z merskim trakom na milimeter natančno, naključno izbrana drevesa na ploskvah pa z višinomerom Haglöf Vertex III. Izbrali smo jih s sistematično vzorčno mrežo, postavljeno na tlorisu raziskovalne ploskve (Slika 2).

Lesne zaloge in njene prirastke smo računali na podlagi arhivskih podatkov o merjenju dreves na raziskovalnih ploskvah in podatkov v poročilih o raziskovanju smrekovih sestojev (Čokl, 1958, 1971). Strukturni podatki in sestojne gostote o raziskovalnih ploskvah so bile že predstavljene

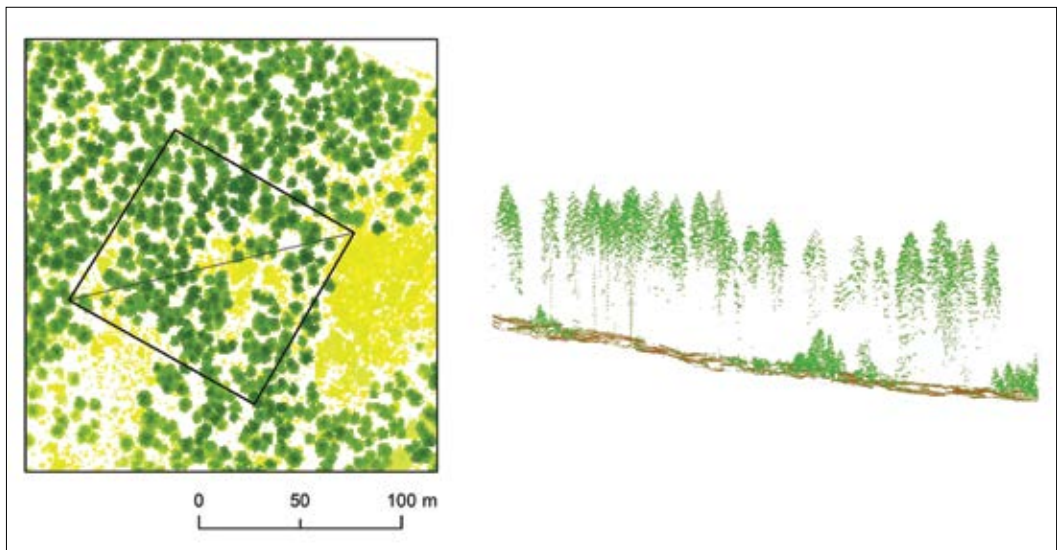
(Hladnik in Skvarča, 2009), zato jih v tem prispevku ne navajamo v celoti, temveč le v povezavi z računanjem volumenskih prirastkov v dveh obdobjih, dodali pa smo izsledke po merjenju dreves septembra in oktobra 2020.

Lesne zaloge in volumenske prirastke smo računali na podlagi Krennovih tarif (Čokl, 1992), poznejših tarif za enodobne sestoje in na podlagi metode tarifno diferencnih odstotkov, izpeljanih iz tarif za sestoje vmesnih oblik (Čokl, 1977). Po klasični kontrolni metodi smo za posamezna obdobja izračunali bruto prirastke lesne zaloge, na primer za obdobje do leta 1982:

$$i_v = (V_{1982} - V_{1970} + V_{posek} + V_{sušice} - V_{vrast}) / n,$$

pri katerem upoštevamo dolžino časovnega obdobja ( $n$ ), lesno zalogo na koncu ( $V_{1982}$ ) in na začetku obdobja ( $V_{1970}$ ), volumne posekanih in vraslih dreves ter sušice.

Če so bile oznake zaporednih števil na drevesih še razpoznavne in je bilo v rokopisih mogoče nedvoumno slediti zaporednemu merjenju dreves do današnjih dni, smo volumenski prirastek izračunali tudi kot razliko v volumnih preživelih



Slika 2: Tloris raziskovalne ploskve št. 39 na Pokljuki, označen na digitalnem modelu krošenj (a), ter ponazoritev sestoja s profilom po diagonali raziskovalne ploskve skozi oblak točk (b) na podlagi podatkov laserskega skeniranja Slovenije (MOP, 2015).

Figure 2: Ground plan of the research plot nr. 39 on Pokljuka, marked on the canopy digital model (a) by a point cloud (b) based on the Slovenia laser scanning data (MOP, 2015).

dreves (Kershaw in sod., 2002, Köhl, 1994). Taka drevesa so bila merjena na začetku obdobja in so preživela do naslednjega merjenja na koncu meritvenega obdobja:

$$i_v = \Sigma (v_{i1982} - v_{i1970}) / n.$$

Na raziskovalnih ploskvah ni mogoče jasno oceniti, kakšen je bil vpliv gospodarjenja na razvoj gozdnih sestojev. Čokl (1958) je po podatkih iz starih gozdnogospodarskih načrtov sklepal, da so v oddelkih, v katerih so bile postavljene raziskovalne ploskve, v preteklosti potekale oplodne sečnje, redčenja, sečnje slučajnih pripadkov. Frekvenčne porazdelitve dreves po debelinskih stopnjah so po 70 letih od prvih meritev ostale primerljive s porazdelitvami, značilnimi za enodobne sestoje (Hladnik in Skvarča, 2009). Po analizi modelnih dreves so skleпали, da sestoji niso nastali s spontano pomladitvijo v enem semenskem letu, temveč z dolgotrajnim, do 40-letnim pomlajevanjem po vsej površini (Čokl, 1958). Po prvih meritvah so pričakovali ocene o večji raznomernosti. Manjšo variabilnost in odstopanja od povprečnih premerov so pripisali tipičnim nizkim redčenjem, pri katerih so bila iz sestojev odstranjena večinoma le tanjša drevesa, v gostem sestojnem sklepu pa se niso mogla razviti posebej debela drevesa.

Priraščanja dreves na raziskovalnih ploskvah ni bilo mogoče primerjati po skladnih desetletnih obdobjih, ker so na ploskvah z mlajšimi sestojnimi razvojnimi stadiji prvič merili septembra 1963. Za prvo primerjavo smo zato izbrali 10-letno obdobje do leta 1982. Zadnje smo naredili v letu 2020 na ploskvah 193 in 93, ploskev 49 pa ne obsega več le prvotnega sestoja, ker se je po začetku pomlajevanja v njeni okolici ob debeljaku že razvil mlajši drogovnjak. Tri raziskovalne ploskve in sestoj, v katerem so bila izbrana drevesa za dendrokronološko analizo, pripadajo gozdnemu rastiščnemu tipu planinskega smrekovja na karbonatni podlagi (Kutnar in sod., 2012). Najvišje, na 1350 m nadmorske višine, leži ploskev 193, ploskev 39 na 1300 m in ploskev 49 na 1200 m nadmorske višine.

Za dendrokronološko analizo je bilo vzorčno izbranih 21 dreves v smrekovem debeljaku na nadmorski višini 1350 m (Slika 1). Izbrana drevesa

višjih socialnih položajev so imela prsni premer vsaj 50 cm in ocenjeno starost najmanj 100 let, brez vidnih zunanjih poškodb in oddaljena od gozdnih cest in vlak, da ne bi zajeli dreves z morebitnimi poškodbami korenin. Zaradi uskladitve kronologij na izvrtkih so maja 2017 s Presslerjevim svedrom notranjega premera 5 mm izvrtali po dva izvrtka na vsaki izbrani smreki. Drevesa so bila izbrana v sestoji, v katerem so ocenili gozdno združbo *Asoperido-Piceetum* – drugotnega smrekovega gozda s svinjsko laknico (Simončič in sod., 2009), nastalega na opuščeni pašnikih na rastišču alpskega bukovega gozda (Zupančič, 1999).

Laboratorijsko delo z izvrtki v dendrokronološkem laboratoriju na Gozdarskem inštitutu Slovenije jedrnato predstavlja zaporedje postopkov (Stopar in sod. 2018):

- sušenje izvrtkov in brušenje do visokega sijaja,
- skeniranje s sistemom ATRICS in merjenje širine branik,
- datiranje branik, oblikovanje kronologij, sinhronizacija in oblikovanje skupne kronologije rastišča,
- standardizacija dendrokronoloških krivulj.

Za primerjavo dendrokronološke analize z izsledki o prirastku na raziskovalnih ploskvah je bil uporabljen le del podatkov do standardizacije dendrokronoloških krivulj, kajti v tem prispevku nismo želeli odstraniti starostnega trenda iz časovne vrste opazovanj. S standardizacijo sicer odstranimo starostni časovni trend, da bi poudarili klimatski signal, analizirali korelacijo med mesečnimi klimatskimi podatki in letnim prirastkom ter ocenjevali ključna obdobja za debelinsko priraščanje smreke. Na tak način še ne pridobimo tudi ocene o natančni starosti analiziranih dreves.

Za natančnejšo določitev starosti analiziranih dreves bi morali uporabiti metode, ki starost drevesa ocenjujejo na koreninskem vratu ali ob zelo počasni začetni rasti smrek celo pod njim (Niklasson, 2002). Takemu določanju starosti so se izognili v prvem elaboratu o raziskovalnih ploskvah, v katerem je Čokl (1958) opozoril, da tudi pri dendrometrijskih analizah dreves niso podali njihove natančne starosti. V sestojih starost dreves sicer pogosto ocenjujemo s štetjem letnic na panjih posekanih dreves in nato upoštevamo

še število let, ki naj bi jih drevo potrebovalo, da je doraslo do višine panja. Že ob postavitvi raziskovalnih ploskev so zaradi dolgih pomladitvenih dob na Pokljuki opozorili na problem ocenjevanja starosti in podali za smreke na ploskvi 39 srednjo vrednost starosti med 131 in 140 leti. Z upoštevanjem te ocene bi danes na ploskvi 39 lahko sklepali o starosti smrek med 197 in 206 leti, na ploskvi 49 med 160 in 170 leti, na ploskvi 193 pa o starosti 116 let (Čokl, 1971).

### 3 REZULTATI

#### 3 RESULTS

Natančno ocenjevanje debelinskega prirastka, ki ga omogoči dendrokronološka analiza, je odstrlo veliko medletno variabilnost priraščanja posameznih dreves in velike razlike med drevesi, čeprav so bila v vzorec izbrana le zdaj vladajoča drevesa (Slika 3). Z datiranjem branik smo za domnevno najstarejšo med 21 izbranimi smrekami določili, da njena jedrna branika v prsni višini izvira iz leta 1867. Za ocenjevanje starosti dreves bi morali upoštevati še čas, ki ga drevo potrebuje, da zraste do prsne višine 130 cm nad tlemi. To bi bilo mogoče oceniti le z dodatno dendrokronološko analizo na koreninskem vratu smrek, kar presega okvire tega prispevka.

O dolgih pomladitvenih dobah zdajšnjega sestoja pred več kot 150 leti je mogoče sklepati tudi na podlagi razlik med drevesi v vzorcu. Pri vsaj polovici smrek v vzorcu smo izvor jedrnih branik lahko ocenili v letu 1875, zadnji smreki pa šele v letu 1894, kar pomeni 27 let razlike. Sklepiti je mogoče, da je sestoj prešel v razvojni stadij mlajšega drogovnjaka v zadnjem desetletju 19. stoletja, kajti povprečni premer analiziranih smrek je v letu 1891 presegel 10 cm. V tem času so bile drevesne krošnje verjetno že strnjene, kajti razlike v debelinskem prirastku so bile manjše kot prej, kar ponazarjajo tudi intervalne ocene pri 95 % zanesljivosti ocenjevanja povprečnega debelinskega prirastka (Slika 3b). Prehod od mlajšega do starejšega drogovnjaka, ki ga računsko ponazarja povečanje povprečnega premera od 10 cm do premerov več kot 20 cm, smo pri drevesih v vzorcu ocenili v 31 letih. Še 34 let je poteklo za prehod do razvojnega stadija mlajših debeljakov

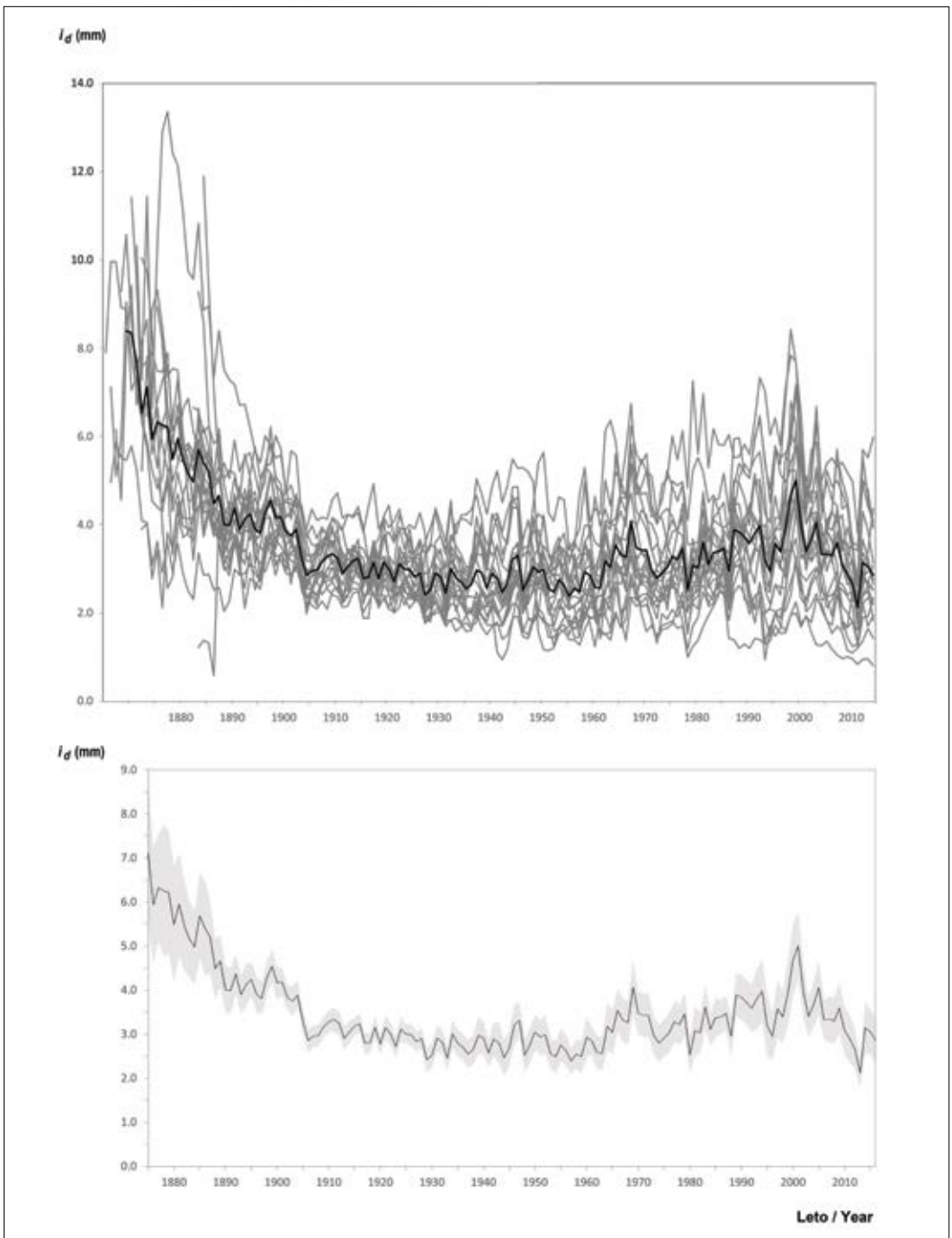
s premerom več kot 30 cm in naslednjih 31 let za prehod do povprečnih premerov več kot 40 cm.

Ob velikih medletnih nihanjih debelinskega priraščanja je neprimerno postavljati ostre računске ločnice v prehodih med razvojnimi stadiji. V petletnem obdobju med letoma 1956 in 1960 lahko sklepamo o prehodu sestoja v razvojni stadij debeljaka. V naslednjih petletnih obdobjih se je debelinski prirastek povečeval, hkrati pa tudi variabilnost v priraščanju izbranih dreves. V petletnem obdobju do leta 1900 smo ocenili povprečni debelinski prirastek 4,14 mm, koeficient variacije pa 19 %. Do leta 1930 je ostal koeficient variacije debelinskega prirastka manj kot 20 %, povprečni letni debelinski prirastek pa je bil med letoma 1925 in 1930 ocenjen na 2,73 mm. Po tem letu so se začele razlike v debelinskem priraščanju med smrekami povečevati in leta 1945 so koeficienti variacije prvič presegle 30 %.

Povečevanja debelinskega prirastka po letu 1960 je v takratnem sestoji mlajšega debeljaka mogoče potrditi tudi z analizo po 10-letnih obdobjih (Slika 4), ki jih pogosteje uporabljamo v gozdnih inventurah in zlasti v gozdnogospodarskem načrtovanju. Petletno in desetletno obdobje do leta 2000 je čas največje variabilnosti v debelinskem prirastku izbranih smrek. Koeficienti variacije so dosegli 38 % v petletnem oziroma 36 % v desetletnem obdobju do leta 2000.

Še večjo variabilnost smo ocenili na raziskovalnih ploskvah, na katerih smo zajeli vzorec iz celotne populacije in ne le dominantnih dreves kot pri dendrokronološki analizi. V enodobnih sestojih je večji premer drevesa znak večjega priraščanja. Take razlike pa smo ocenili na treh raziskovalnih ploskvah (Slika 5), ki jih sicer ni mogoče neposredno primerjati z drevesi iz dendrokronološke analize. Ob začetku merjenja leta 1963 je bil sestoj na ploskvi 193 v razvojnem stadiju mlajšega drogovnjaka. O prehodu v stadij mlajšega debeljaka lahko sklepamo okrog leta 2000. Raziskovalne ploskve so bile pred tem 20 let opuščene in smo po merjenju leta 2004 izračunali povprečni premer 31,2 cm in srednjemeljnični premer 33,0 cm.

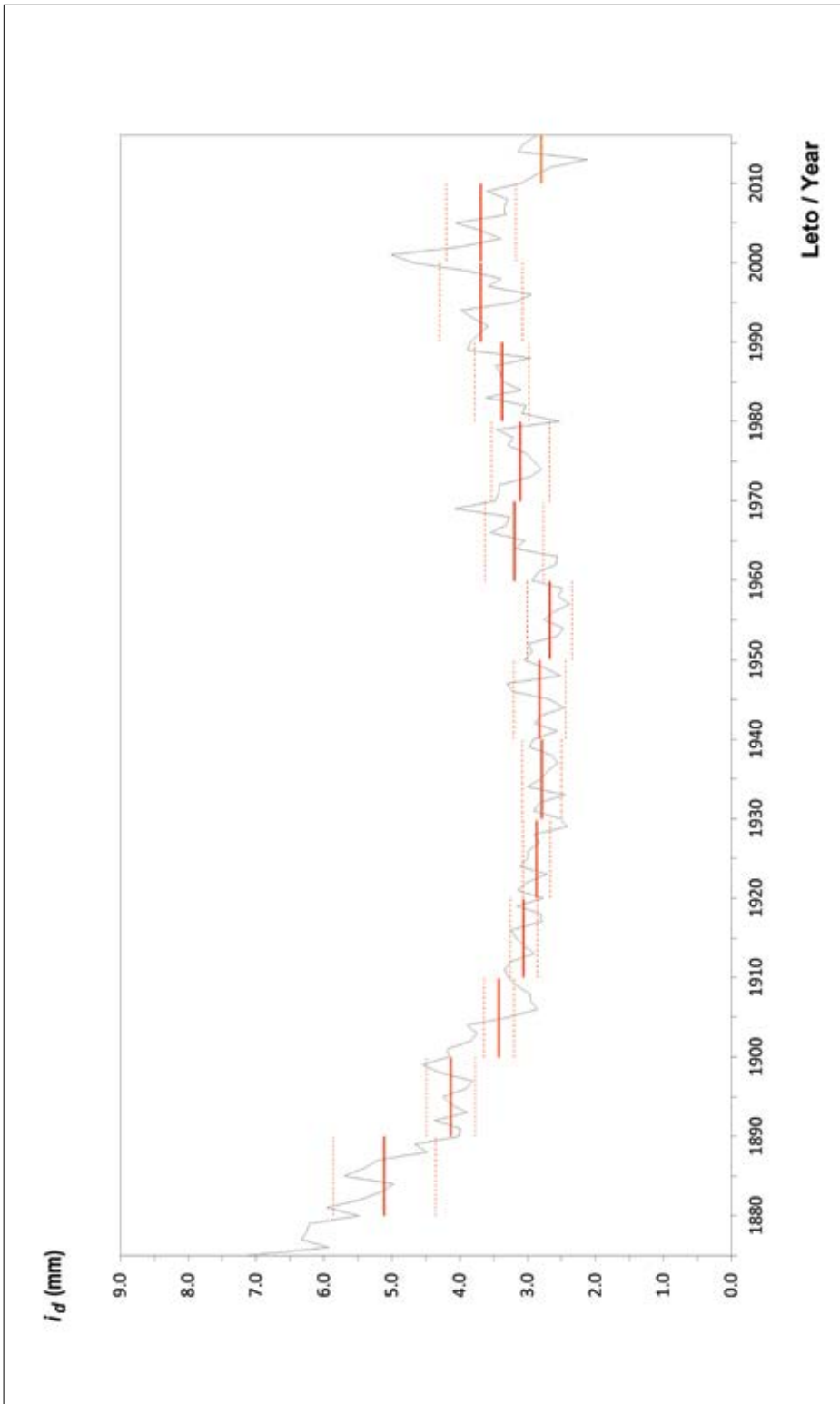
Po merjenju leta 2003 smo na ploskvi 39 izračunali povprečni premer 51,8 cm in srednjemeljnični premer 52,6 cm. Obe ploskvi



Slika 3: Letni debelinski prirastki ( $i_d$ ) v vzorcu smrek za dendrokronološko analizo pred standardizacijo njihovih kronologij (zgoraj) in prikaz povprečnih prirastkov z intervalnimi vrednostmi pri 95 % zanesljivosti ocenjevanja (spodaj)

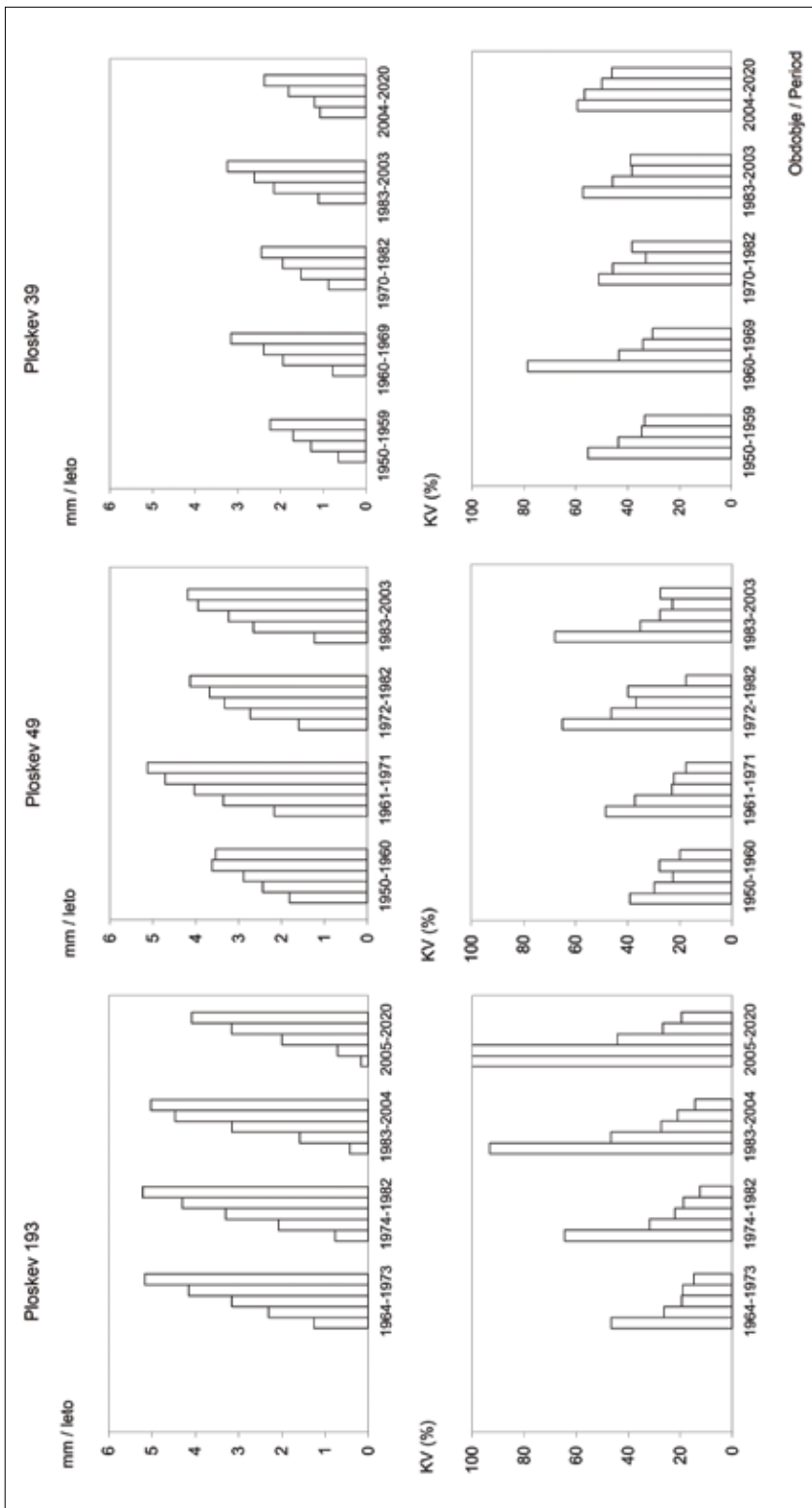
Figure 3: Annual diameter increments ( $i_d$ ) in the sample of spruces for the dendrochronological analysis before the standardization of their chronologies (above) and presentation of the average increments with interval values at 95 % of assessment reliability (below)





Slika 4: Letni debelinski prirastki v vzorcu smrek za dendrokronološko analizo in prikaz ocen po desetletnih obdobjih z intervalnimi vrednostmi pri 95 % zanesljivosti ocenjevanja

Figure 4: Annual diameter increments in the sample of spruces for the dendrochronological analysis and presentation of the assessments after 10-year periods with interval values at 95 % of assessment reliability.



**Slika 5:** Povprečni letni debelinski prirastek smrek na treh raziskovalnih ploskvah na Pokljuki po desetletnih obdobjih od postavitve ploskev. Prikazana so povprečja in koeficienti variacije (KV) po 10 cm debelinskih razredih. Na ploskvi 193 stolpci predstavljajo stopnjevanje po debelinskih razredih 10, 20, 30, 40 in več kot 50 cm za 527 dreves (do leta 2020 za 423 dreves), na ploskvi 49 po debelinskih razredih 20, 30, 40, 50 in več kot 60 cm za 144 dreves, na ploskvi 39 pa po debelinskih razredih 30, 40, 50 in več kot 60 cm za 166 dreves.

**Figure 5:** Average annual diameter increment of the spruces on three research plots on Pokljuka in 10-year periods after the establishment of the plots. Averages and coefficients of variation (KV) by 10 cm diameter classes are presented. On the plot 193, the columns represent gradation by the 10, 20, 30, 40 and over 50 cm diameter classes for 527 trees (to the year 2020 for 423 trees), on the plot 49 by 20, 30, 40, 50 and over 60 cm diameter classes for 144 trees, and on the plot 39 by 30, 40, 50 and over 60 cm diameter classes for 166 trees.

ponazarjata razlike v debelinskem priraščanju smreke od razvojnega stadija mlajših drogovnjakov do najstarejših debeljakov. Koeficienti variabilnosti v najvišjih debelinskih razredih so primerljivi s koeficienti, ki smo jih za dominantna drevesa izračunali po dendrokronološki analizi. V vzorcu celotne populacije dreves se variabilnost debelinskih prirastkov veča od višjih proti nižjim debelinskim razredom, najbolj na raziskovalni ploskvi 193 z mlajšim debeljakom smreke, kjer so še obstala drevesa v najnižjem debelinskem razredu 10 do 19 cm.

Zaradi primerjave z dendrokronološko analizo smo na sliki 5 prikazali povprečne vrednosti debelinskih prirastkov tistih smrek, ki smo jih ocenjevali v celotnem obdobju po postavitvi raziskovalnih ploskev. V preglednici 1 so prikazane skupne vrednosti po posameznih raziskovalnih ploskvah, ker smo želeli opozoriti na pomen

natančnega določanja tarif, ko iz povprečnih debelinskih prirastkov računamo prirastke lesne zaloge.

Na ploskvi 39 je po letu 2003 vraslo devet dreves jerebike, bukve in smreke, ki jih nismo upoštevali pri izračunu volumenskega prirastka. Velik srednetemeljnični premer smrek v letu 2020 na tej ploskvi je presegal okvir, v katerih so bile podane Krennove tarife.

V letu 2020 tudi nismo prikazali primerjave med različnimi metodami za ocenjevanje volumenskega prirastka na ploskvi 49, kajti na delih ploskve so po vetrolomu iz sredine 60 let prejšnjega stoletja in naravnem pomlajevanju začela vraščati mlada drevesa smreke. Veliko oznak zaporednih števil na drevesih ni bilo več razpoznavnih, zato na tej ploskvi ni bilo mogoče izračunati volumenskega prirastka kot razliko v volumnih preživelih dreves.

**Preglednica 1:** Prirastki lesne zaloge na raziskovalnih ploskvah na Pokljuki v letih 1982 in 2020, ocenjeni na podlagi podatkov iz rokopisov delavcev Gozdnega gospodarstva Bled in poročil o kompleksnih raziskovanjih smrekovih sestojev (Čokl, 1958, 1971). Prikazani so tudi parametri (Čokl, 1992), s katerimi določamo tarifne nize za izračun lesnih zalog v enodobnih sestojih (E), lesne zaloge kot izhodišče za oceno prirastkov in volumenski prirastek po metodi tarifno diferencialnih odstotkov, izračunanih iz Krennovih tarif, tarif za enodobne sestoje in sestoje vmesnih oblik (TD V)

**Table 1:** Growing stock increments on the research plots on Pokljuka in the years 1982 and 2020, assessed based on the data from the field manuals of the workers of Gozdno gospodarstvo Bled and from the reports on complex spruce stand studies (Čokl, 1958, 1971). Also, the parameters (Čokl, 1992) with which we determine tariff series for the calculation of growing stocks in even-aged stands (E), growing stock as the starting point for the increment assessment, and volume increment by the method of the tariff differential percent calculated from Krenn tariffs, tariffs for even-aged stands, and intermediate forms stands (TD V) are presented.

Leto 1982									
				Krennove tarife		Tarife E		TD V	
Ploskev	<i>n</i>	<i>d<sub>g</sub></i> (cm)	<i>h</i> (m)	<i>V</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)
193	1190	22,8	20,3	618,8	17,4	639,2	15,0	17,0	
49	373	35,4	26,2	467,4	7,9	469,6	7,1	7,7	
39	306	46,0	37,3	813,6	6,3	777,6	5,9	6,3	

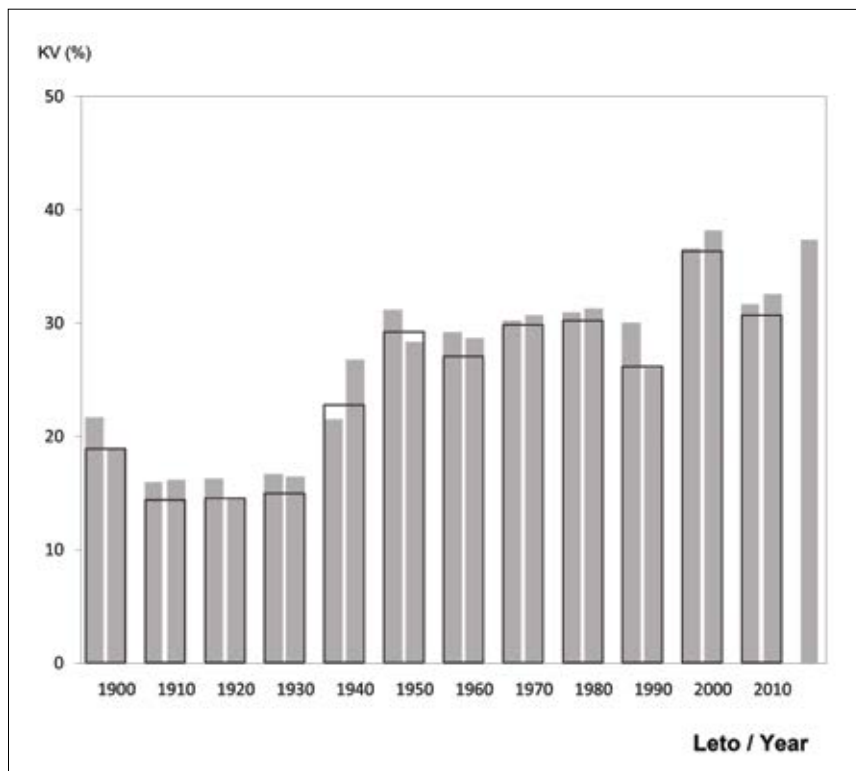
Leto 2020									
				Krennove tarife		Tarife E		TD V	
Ploskev	<i>n</i>	<i>d<sub>g</sub></i> (cm)	<i>h</i> (m)	<i>V</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>i<sub>v</sub></i> (m <sup>3</sup> /ha)
193	423	39,3	31,2	969,2	13,5	917,0	12,4	13,2	
39	208	55,9	39,2		6,1	838,8	6,1	6,3	

#### 4 RAZPRAVA

#### 4 DISCUSSION

Z dendrokronološko analizo smo ocenili velike razlike v debelinskem priraščanju dreves, čeprav so bila izbrana med dominantnimi drevesi, pri katerih na njihovo rast manj vplivajo sosednja drevesa in konkurenčni odnosi med njimi. Za oceno rasti dominantnih dreves so podatki iz dendrokronoloških raziskovanj dobro izhodišče in v veliko oporo pri ocenjevanju dinamike razvoja v gozdnih sestojih. V gozdnih inventurah so namreč pogosto vnaprej določena obdobja, pri gozdnogospodarskem načrtovanju na primer desetletna, v katerih ocenjujemo značilnosti gozdnih sestojev in spremembe v zaporednih časovnih obdobjih. Za podrobnejše raziskovanje razvoja gozdnih sestojev so tudi na Slovenskem že v 50. letih prejšnjega stoletja sprva merili drevesa

na raziskovalnih ploskvah v petletnih obdobjih, pozneje pa je delo zastalo (Čokl, 1971). Na podlagi tako zbranih podatkov bi bilo nezanesljivo ocenjevati, kakšne so razlike v informacijski vsebini, če sestoj spremljamo v petletnih, desetletnih ali celo daljših časovnih obdobjih. Del razlik je za dominantna drevesa mogoče pojasniti s podatki dendrokronološke analize (Slika 4), za delo v gozdni inventuri pa so ocene o debelinskem prirastku dominantnih dreves primerljive z izsledki iz raziskovalnih ploskev. Podrobneje smo možnosti za povezovanje takih izsledkov prikazali na območju Koprivne na Koroškem po 60 letih opazovanja dreves na raziskovalnih ploskvah, ki so bile prepuščene naravnemu razvoju (Golob, 2020). V tem prispevku smo predstavili izsledke, ki so v enomernih sestojih odločilni pri izbiranju dreves za ocenjevanje debelinskega prirastka.



Slika 6: Koefficienti variacije za ocenjevanje povprečnega debelinskega prirastka po petletnih obdobjih (sivo) in desetletnih obdobjih (črna obroba) za drevesa, ki so bila izbrana za dendrokronološko analizo na Pokljuki.

Figure 6: Coefficients of variation for assessing average diameter increment by 5-year periods (gray) and 10-year periods (black trim) for trees selected for dendrochronological analysis on Pokljuka.

Na raziskovalni ploskvah smo ocenili razlike v debelinskem prirastku po 10-centimetrskih debelinskih razredih, ki ob jasnem pričakovanju, da je večja debelina dreves znak njihovega večjega priraščanja, pokažejo tudi veliko variabilnost v priraščanju dreves po posameznih razredih (Slika 5). Med drevesi, ki zaostajajo v rasti, so čedalje večje razlike, ki smo jih ponazorili z naraščajočimi koeficienti variacije. Takih razlik z dominantnimi drevesi iz dendrokronoloških raziskovanj sicer ne moremo ocenjevati, pokažejo pa, da pri presojanju o primernosti petletnih in desetletnih časovnih obdobjih ni bilo razlik, ki bi jih morali upoštevati pri zasnovi gozdne inventure (Slika 6).

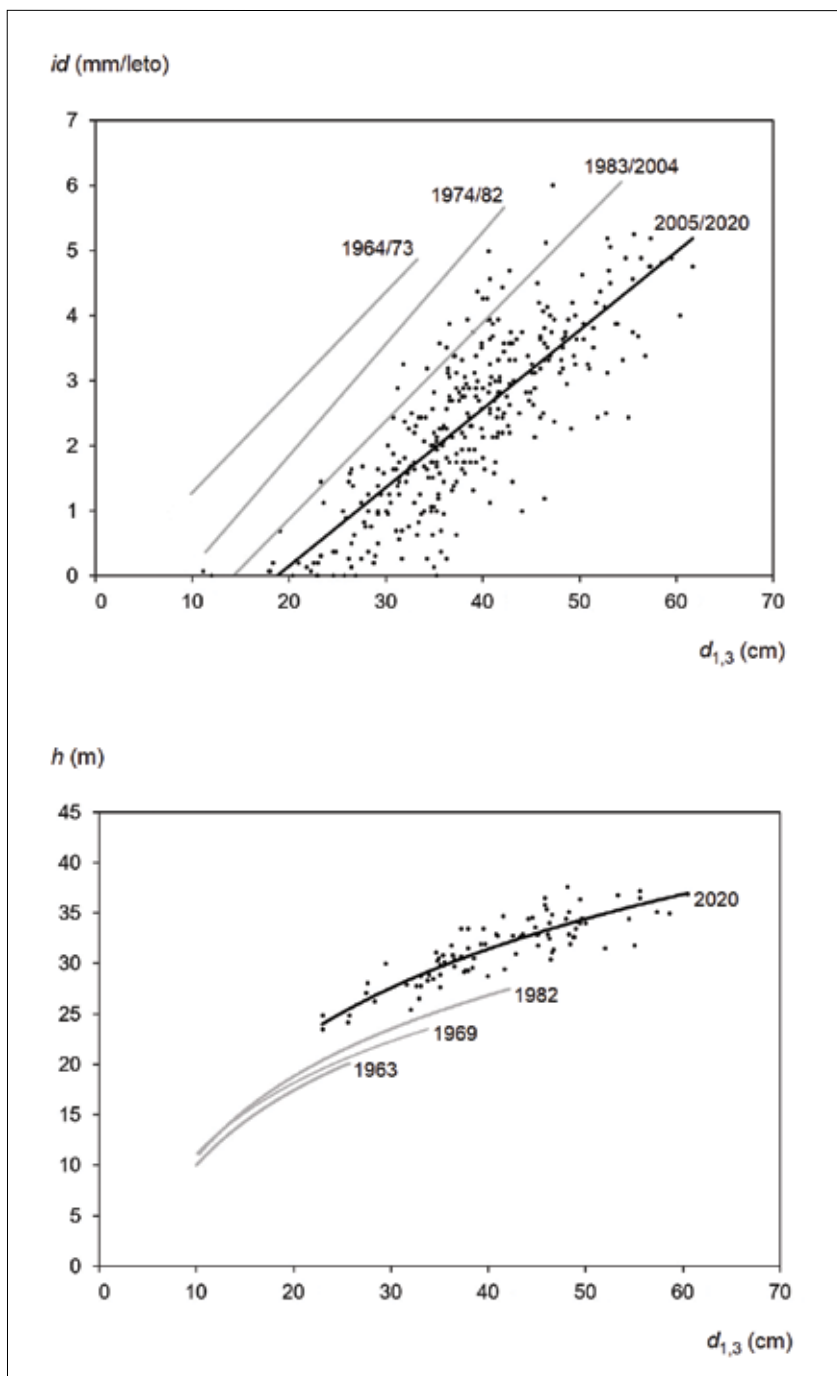
Pri koeficientih variacije do 20 % pridobimo zanesljive ocene o debelinskem prirastku (pri 5 % verjetnosti pomote) že z vzorcem 20 dreves. Na raziskovalnih ploskvah smo v sestoji starejšega debeljaka ocenili koeficiente variacije pri ocenjevanju debelinskega prirastka do 50 %; za ocenjevanje povprečnega prirastka vseh dreves bi bilo potrebnih vsaj 80 vzorčno izbranih dreves. Zaradi velike variabilnosti debelinskega prirastka med zaostajajočimi drevesi v smrekovem debeljaku na ploskvi 193 so bili koeficienti variacije v debelinskih razredih do 20 cm do leta 2020 že večji od 100 % in jih na sliki 5 nismo prikazali zunaj okvira grafikona.

Ocenjevanje debelinskih prirastkov in nato volumenskih po posameznih debelinskih razredih ali celo debelinskih stopnjah je težko zagotoviti s sprejemljivim številom naključno izbranih dreves. Že v času kontrolne metode, ko je bilo ocenjevanje utemeljeno na podlagi polne izmere gozdnih sestojev, so opozorili na pomembno omejitev pri ocenjevanju volumenskega prirastka na podlagi tarif. Čokl (1955, 1956) je opozarjal na prednosti in omejitve pri ocenjevanju volumenskega prirastka s kontrolno metodo, kjer bi pri ponovnih meritvah prebiralnih sestojev uporabljali isti tarifni razred kot pri prvi meritvi. Z uporabo takrat predstavljenih prirejenih tarif bi privarčevali pri merjenju drevesnih višin. Nasprotno pa moramo pri enodobnih sestojih ob ponovni meritvi, na primer ob obnovi gozdnogospodarskih načrtov, znova izmeriti in ocenjevati sestojne višine ter ugotoviti tarifni razred za izračun lesnih

zalog. Za ugotavljanje volumenskega prirastka po kontrolni metodi v enodobnih sestojih je Čokl (1955, 1956) namesto tablic za enodobne sestoje predlagal uporabo Krennovih tarif. Opisal je, da se enodobni sestoji pomikajo iz enih tarifnih razredov v druge in izbrani tarifni razred ustreza le za določen čas. Pomike višinskih krivulj, ki vplivajo na spremembe tarifnih razredov, smo ponazorili na sliki 7, od začetka merjenja dreves na raziskovalni ploskvi pred 60 leti.

Na podlagi ocen volumenskega prirastka v preglednici 1 smo potrdili, da so bila Čoklova (1955, 1956, 1977) navodila o uporabi tarifnih razredov in poznejša predstavitev tarif za sestoje vmesnih oblik dobro utemeljena. Pri uporabi tarifno diferenčnih odstotkov za enodobne sestoje so izračunani volumenski prirastki nižji, ker upoštevajo le tisti del prirastka lesne zaloge, ki izvira iz priraščanja dreves v debelino. Na podlagi analize v enem od prebiralnih sestojev na Lehnu (Pohorje) so ocenili (Čokl 1977), da v volumenskem prirastku jelke 78 % prirastka izvira iz priraščanja v debelino in 22 % iz priraščanja v višino. Na raziskovalnih ploskvah na Pokljuki smo ocenjevali volumenske prirastke v starejših sestojih smreke. Podcenjevanja prirastkov s tarifno diferenčnimi odstotki so manjša, kot bi jih pričakovali v mlajših razvojnih stadijih, ko so višinski prirastki smreke višji od tistih v starejših sestojih.

S starostjo postaja odvisnost med debelinskim prirastkom in premerom dreves v sestojih manj izrazita, z ocenjevanjem linearne odvisnosti v 60-letnem obdobju pa smo ponazorili, kako se spreminja položaj regresijske premice (Slika 7). V preteklosti je bilo v starejših sestojih pričakovati nižje in položnejše regresijske premice (Čokl 1977), vendar dendrokronološke analize smreke na Pokljuki (Sliki 3 in 4) in v izbranih sestojih na Slovenskem (Stopar in sod., 2018) kažejo na previdnost pri prehitrem sklepanju o morebitnih spremembah rasti smreke in je s primerjavo različnih rastišč težko oblikovati enotne zaključke. Klimatski dejavniki niso pojasnili dobro medletne variabilnosti prirastka, zato raziskovalci glede na dendrokronološke analize sklepajo, da na rast smreke bolj vplivajo lokalni, neklimatski dejavniki, na primer vplivi rastišča, biotski dejavniki, vplivi gospodarjenja.



Slika 7: Ocenjevanje odvisnosti med debelinskim prirastkom ( $id$ ) in premerom dreves v obdobjih od leta 1964 do 2020 na raziskovalni ploskvi 193 (zgoraj). Spodaj je prikazano pomikanje višinskih krivulj s starostjo sestoja na raziskovalni ploskvi. Za leto 2020 so prikazane vrednosti posameznih dreves, ki so bile izmerjene.

Figure 7: Assessment of the dependence between the diameter increment ( $id$ ) and tree diameter in the periods from the year 1964 to 2020 on the research plot 193 (above). Below, the moving of the height curves with the stand age on the research plot is presented. For the year 2020, measured values of individual trees are shown.

Opisana izhodišča za delo v gozdni inventuri kažejo, da ne kaže opustiti izkušenj in metodologije iz preteklosti. Neprimerno je le podcenjevati že stara opozorila o uporabi raziskovalnih in strokovnih metod pri ocenjevanju stanja in sprememb v gozdnih sestojih. Nekatere, v preteklosti priznane metode, na primer ocenjevanje prehodnih dob priraščanja v prebiralnih gozdovih, so bile na Slovenskem opuščene. Podmena, da bo drevje nižje debelinske stopnje v prihodnosti priraščalo v debelino tako, kot je priraščalo drevje neposredne višje debelinske stopnje, je bila primerna samo pri pravilnih prebiralnih gozdovih (Čokl, 1955). V takih gozdovih je veljalo sklepanje, da posamezne debelinske stopnje predstavljajo tudi razvojne faze drevja v sestoji in da bodo drevesa večinoma rasla po enakih razvojnih poteh. Takih podmen ob odmikih od idealne prebiralne zgradbe in v spremenjenih rastiščnih razmerah, ki jih ne smemo podcenjevati, ne moremo ohranjati v gozdni inventuri.

## 5 SUMMARY

In forest yield studies, the increment of forest stands in a certain period represents the main measure for assessing growth processes in the forest and the successfulness and efficacy of the available management measures (Assmann, 1970). In the description of the difference in approaches by forestry and ecology, Pretzsch (2009) pointed out the research concepts where the forestry considers the entire life of trees or forest stands. Therefore, it is reasonable to assess the growth and yield of wood in discrete time intervals; usually, we determine periodical increment in 5 or 10-year periods. The research of long-term growth responses to the disturbances is thus enabled and 5- or 10-year intervals and allow only partial detecting of causal connections between the growth and, e.g., shorter periods of drought or temperature conditions. A reliable assessment of annual increments is enabled with the dendrochronological approach which applies the accurate dating of individual annual rings (*cross-dating*) and, in the standardization of the chronology, parallels the data on several trees to detect the missing, false, and micro rings and

other anatomical features that can cause unreliable determination of the exact calendar year of the tree-ring formation and, respectively, dating of the annual rings.

We compared the findings of the dendrochronological research with the assessments of the radial increment on the research plots in spruce stands on Pokljuka. To perform the comparison, we selected a forest stand for which the dendrochronological analyses were described in detail and the nearest permanent research plots (Figure 1) established on Pokljuka 70 years ago, from a major string of research objects. On the Pokljuka high plateau at 1,000 to 1,400 m of altitude, associations of the sub-alpine fir-beech forest, sub-alpine spruce forest, and mountain spruces prevail. 21 trees in mature, even-aged spruce stand at the altitude of 1350 m (Figure 1) were selected as a sample. The selected trees were from the stand canopy with a DBH of at least 50 cm, and estimated age of at least 100 years, they had no visible exterior damage and were located away from forest roads and skidding trails to avoid including trees with potential root damage. On the research plots, we assessed the radial increments at breast height, DBH structure, and growing stock in individual periods. We assessed the volume increment following the classical control method and as a difference in the volumes of the surviving trees. We measured them at the beginning of the period, and they survived until the next measurement at the end of the measuring period.

Using the dendrochronological analysis, we assessed large differences in radial increment of trees (Figures 3 and 4), although the trees were selected among the dominant ones, where the growth should be less affected by the neighboring trees and competition between them. On the research plots, the coefficients of variation for the average diameter increment in the highest diameter classes were comparable to the coefficients calculated following the dendrochronological analysis for the dominant trees. Between the trees in the even-aged stands whose growth is falling behind there are increasingly big differences in the assessed DBH increment (Figure 5). We cannot assess such differences to the dominant trees from the dendrochronological research, however, they

show that judging the appropriateness of the 5-year and 10-year periods there were no differences we should consider in the forest inventory scheme (Figure 6). In forest inventories, there are often periods, determined in advance, in which we assess the characteristics of forest stands and changes in consecutive periods. The described work starting points in the forest inventory show we should not omit experiences and methodology from the past (Figure 7). It is inappropriate to underestimate the old warnings about the use of research and professional methods in assessing the status and changes in forest stands.

## 6 VIRI

## 6 REFERENCES

- ARSO 2013. Podnebna spremenljivost Slovenije. Glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961–2011. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 23 str.
- Assmann E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Studies in the Organic Production, Structure, Increment and Yield of Forest Stands. Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig, Pergamon Press, 520 str.
- Biondi F. 1999. Comparing tree-ring chronologies and repeated timber inventories as forest monitoring tools. Ecological Applications, 9, 1: 216–227.
- Biondi F. 2020. From Dendrochronology to Allometry. Forests, 11, 146, 17 str.
- Bowman D.M.J.S., Brienens R.J.W., Gloor E., Phillips O.L., Prior D.L. 2013. Detecting trends in tree growth: not so simple. Trends in Plant Science, 18, 1: 11–17.
- Čokl M. 1955. H kontroli gospodarjenja v enodobnih gozdovih. Gozdarski vestnik, 13, 1: 1–14.
- Čokl M. 1956. Inventarizacija kmečkih gozdov po novih enotnih tarifah. Gozdarski vestnik, 14, 1: 1–12.
- Čokl M. 1958. Kompleksna raziskovanja smrekovih sestojev na Pokljuki. Ljubljana, IGLG, 106 s.
- Čokl M. 1971. Raziskovalne ploskve v Blejskem gozdnogospodarskem območju. Ljubljana, IGLG, 49 s.
- Čokl M. 1977. Merjenje sestojev in njihovega potenciala. Ljubljana, IGLG, 292 str.
- Čokl M. 1992. Gozdarski priročnik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 342 str.
- GGN 2006. Gozdnogospodarski načrt za GGE Pokljuka 2006–2015. Bled, ZGS, OE Bled.
- GGN 2017. Gozdnogospodarski načrt za GGE Pokljuka 2016–2025. Bled, ZGS, OE Bled.
- Golob J. 2020. Priraščanje navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) in evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.) na nekdanjih novinah v Koprivni. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, BF, 84 str.
- Grissino-Meyer H.D. 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. Tree-ring research, 59, 2: 63–79.
- Heinimann H.R. 2010. A concept in adaptive ecosystem management - An engineering perspective. Forest Ecology and Management, 259: 848–856.
- Hladnik D., Skvarča A. 2009. Gozdarske raziskovalne ploskve in stalne vzorčne ploskve na območjih Natura 2000 na Slovenskem. Gozdarski vestnik 67, 1: 3–52.
- Kershaw J.A., Ducey M.J., Beers, T.W., Husch B. 2017. Forest Mensuration. Chichester, Hoboken, John Wiley & Sons, 630 str.
- Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, ZGDS/ZGS, 500 str.
- Köhl M. 1994. Statistisches Design für das zweite Schweizerische Landesforstinventar: Ein Folgeinventurkonzept unter Verwendung von Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 141 str.
- Kutnar L., Veselič Ž., Dakskobler I., Robič D. 2012. Tipologija gozdnih rastišč Slovenije na podlagi ekoloških in vegetacijskih razmer za potrebe usmerjanja razvoja gozdov. Gozdarski vestnik, 70, 4: 195–214.
- Levanič T. 2002. Osnove za oblikovanje trajne mreže raziskovalnih ploskev za področje gozdarstva: zaključno poročilo Posebne naloge št. 2311-01-000314. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 10 str.
- Levanič T. 2004. Ugotavljanje starosti dreves. V: Brus R. (ur.). Staro in debelo drevje v gozdu. Zbornik referatov XXII. gozdarskih študijskih dni, 25.–26. marec Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 19–31.
- Metsaranta J.M., Lieffers V.J. 2009. Using dendrochronology to obtain annual data for modelling stand development: a supplement to permanent sample plots. Forestry, 82,2: 163–173.
- Metsaranta J.M., Bhatti J.S. 2016. Evaluation of Whole Tree Growth Increment Derived from Tree-Ring Series for Use in Assessments of Changes in Forest Productivity across Various Spatial Scales. Forests, 7, 303, 11 str.
- Metsaranta J.M. 2020. Dendrochronological procedures improve the precision and accuracy of tree and stand age estimates in the western Canadian boreal forest. Forest Ecology and Management 457, 117657: 1–10.



- MOP 2016. eVode LIDAR. [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso)
- Nehrbass-Ahles C., Babst F., Klesse S., Nötzli M., Bouriaud O., Neukom R., Dobbertin M., Frank D. 2014. The influence of sampling design on tree-ring-based quantification of forest growth. *Global Change Biology* 20: 2867–2885.
- Niklasson M. 2002. A comparison of three age determination methods for suppressed Norway spruce: implications for age structure analysis. *Forest Ecology and Management*, 161: 279–288.
- Oven D., Levanič T., Jež J., Kobal M. 2019. Reconstruction of landslide activity using dendrogeomorphological analysis in the Karavanke mountains in NW Slovenia. *Forests*, 11, article 1009, 19 str.
- Pretzsch H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 664 str.
- Simončič P., Skudnik M., Ogris N., Levanič T., Čater M., Stojanova D., Kutnar L., Rupel M., Žlindra D., Brišnik T., Ferlan M., Verlič A., Vilhar U., Kovač M., Jurc D. 2009. Poročilo o projektni nalogi FutMon LIFE07ENV/D/000218, mejnik 2. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 69 str.
- Stopar S., Jevšenak J., Kobler A., Levanič T. 2018. Dendrokronološka analiza debelinskega priraščanja smreke (*Picea Abies* (L.) Karst.) na območju njene naravne in umetne razširjenosti v Sloveniji. *Acta Silvae et Ligni*, 117: 35–46.
- Zupančič M. 1999. Smrekovi gozdovi Slovenije. Dela IV razreda, 36. Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti: 222 str.
- Žabota B., Trappmann D., Levanič T., Kobal M. 2020. Reconstruction of rockfall activity through dendrogeomorphology and a scar-counting approach: a study in a beech forest stand in the Trenta valley (Slovenian Alps). *Acta Silvae et Ligni*, 121: 19–32.