

Mjerenje starosti drvene građe iz crkve sv. Donata u Zadru metodom radioaktivnog ugljika

Prilikom restauriranja crkve sv. Donata u Zadru otkriveno je u podu matroneja pedesetak starih drvenih greda,¹ koje su učvršćivale konstrukciju. Većina greda je grubo tesana, a 7 od njih je ukrašeno rovašenim ornamentima. Budući da crkva sv. Donata nije do sada precizno datirana,² stručnjaci Zavoda za zaštitu spomenika kulture u Zadru poslali su nam na analizu uzorke drveta triju neukrašenih greda. Laboratorij za datiranje pri Institutu »Ruđer Bošković« u Zagrebu već niz godina mjeri starost arheoloških uzoraka organskog porijekla (drveni ugljen, drvo, kosti i slično). Dosad je datirano stotinjak različitih uzoraka koji su od značenja za arheologiju, paleontologiju, antropologiju i hidrologiju.^{3,4} Između ostalog dobiveni su dragocjeni podaci o starosti artefakata ili drugih predmeta (drvena građa, ugljen iz ognjišta i sl.) iz nalazišta Šandalja (oko 19.000 godina prije n. e.), Lepenski vir (oko 5.000 godina prije n. e.), Stobi (II do IV st. n. e.) i mnogih drugih nalazišta. Pored datiranja arheoloških uzoraka starijeg razdoblja, gdje je metoda radioaktivnog ugljika često jedini i presudni izvor egzaktnih podataka, u nizu slučajeva moguće je primijeniti ¹⁴C-analizu i za novije razdoblje, naročito u slučajevima nepodudarnosti datiranja dobivenih ostalim metodama. Greška za razdoblje unatrag 1000 godina iznosi u pravilu oko ±50 godina, ali se može smanjiti preciznijim i dugotrajnim mjerenjima na više uzoraka iz istog razdoblja. Primjerice, mi smo izvršili datiranje niza srednjovjekovnih uzoraka od kojih neke navodimo: mrtvački kovčeg iz Bribira (929 g.), potonulo brodovlje kod Nina (1040, 1148, 1173), temelji kapucinskog samostana na Gradecu u Zagrebu (1120 g.).

Određivanje starosti organskog materijala mjerenjem omjera ugljikovih izotopa ¹³C i ¹⁴C u uzorku primjenjuje se za razdoblje unatrag 40 do 50 tisuća godina. Premda je postupak vrlo složen,⁵ stotinjak laboratorija u svijetu radi danas rutinske analize, koje se objavljuju u časopisu Radiocarbon. Usporedbom podataka dobivenih ovom metodom i preciznim brojanjem godova kod uzoraka drveća (*Sequoia gigantea* i *Pinus aristata*) dobivena je korelacija između »¹⁴C-starosti« i stvarne kalendarske starosti.^{6,7,8} Slaganje je vrlo dobro, ali su uočena ma-

¹ I. Petricioli: *Grede s preromaničkim ukrasom iz crkve Sv. Donata u Zadru*, Peristil 14/15, str. 47–54, 1971/1972.

² I. Petricioli, *Donat, Sv.*: Enciklopedija likovnih umjetnosti, Sv. 2 str. 73/75, Izdanje Leksikografskog zavoda FNRJ, Zagreb, 1962.

³ D. Srdoč, B. Breyer and A. Sliepčević, 1971, Ruđer Bošković Institute radiocarbon measurements I: *Radiocarbon*, v. 13, p. 135–140.

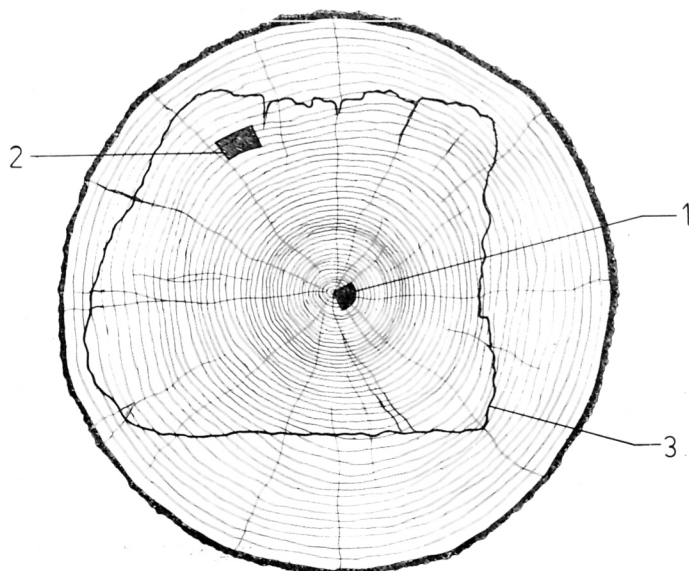
⁴ D. Srdoč, A. Sliepčević, J. Planinić, B. Obelić and B. Breyer Ruđer Bošković Institute radiocarbon measurements II: *Radiocarbon*, Vol. 15, No. 2, 1973, P. 435–441.

⁵ D. Srdoč, A. Sliepčević, B. Breyer: *Datiranje arheoloških nalaza biološkog porijekla metodom radioaktivnog ugljika ¹⁴C*, »Rad« JAZU, knjiga 349, str. 109–157, 1971.

⁶ P. E. Damon, A. Long and E. I. Wallick: *Dendrochronologic calibration of the Carbon-14 time scale*. Vol. I, Preprint of the Proc. 8th Inter. Conf. Radiocarbon Dat., Lower Hutt City, Wellington, New Zealand, 18–25 October 1972. pp. A28–A43.

⁷ H. N. Michael, E. K. Ralph: *Correction factors applied to Egyptian radiocarbon dates from the era before Christ*. Proc. of the Twelfth Nobel Symp. Uppsala, Sweden, August 11–15. 1969, pp. 109–120.

⁸ H. N. Michael, E. K. Ralph: *Discussion of radiocarbon dates obtained from precisely dated sequoia and bristlecone pine samples*. Vol. I, Preprint of the Proc. 8th Inter. Conf. Radiocarbon Dat., Lower Hutt City, Wellington, New Zealand, 18–25 October 1972., pp. A11–A27.



1 Rekonstrukcija prvobitnog oblika drvenog balvana iz kojeg je izrađena greda nađena u podu matroneja crkve sv. Donata u Zadru.
1 i 2 — mjesta odakle su izvađeni uzorci drva za datiranje metodom radioaktivnog ugljika. 3 — obris presjeka grede u sadašnjem obliku, ucrtan u crtež balvana na osnovi tōka godova. Razmak između dva koncentrična kruga odgovara debljini od tri goda.

nja sistematska odstupanja, koja se uzimaju u obzir u obliku korekcija pri izračunavanju stvarne starosti.

troničkim sustavom za registriranje impulsa i odbacivanje smetnji. Cijeli postupak podrobno je opisan u navedenom radu (5).

Mjerenje starosti

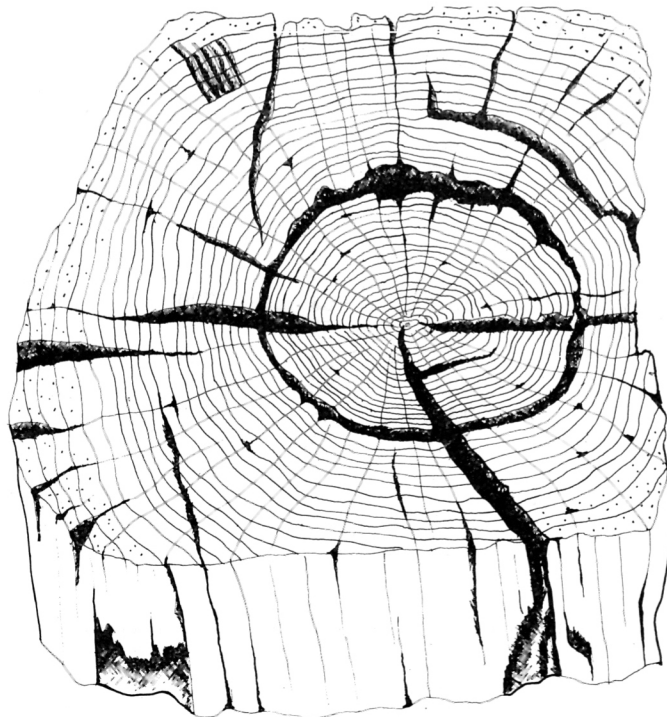
Iz dobivenih uzoraka drvenih greda Sv. Donata izdvojeni su dijelovi koji su u prosjeku pokazivali relativno zdravo drvo, nenačeto truljenjem. Treba znati da proces truljenja dovodi do promjene omjera $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$ zbog unašanja svježeg ugljika djelovanjem mikroorganizama. Uzorci drva poslani su na analizu Katedri za anatomiju drva Sumarskog fakulteta u Zagrebu. Utvrđeno je da je greda istesana od hrastovine (*Quercus*), a starost debla u doba sječe procijenjena je na 145 ± 10 g. Na temelju dobivenog mišljenja rekonstruiran je prvobitni izgled balvana iz kojeg je istesana greda (sl. 1). Pri tome je pretpostavljeno da se pri obradi drva odstrani oko 20 ± 10 godina bjelike s korom. Uzorci za analizu uzeti su iz jezgre balvana (0—10 godina) i s periferije (godovi 90—100) kao što je shematski prikazano na crtežu (sl. 1). Sl. 2 prikazuje crtež sadašnjeg izgleda grede iz koje su uzimani uzorci.

Svaki uzorak je kemijski obrađivan radi otklanjanja mogućih primjesa bilo anorganskog porijekla (kalcit iz vode ili ljuštura organizama, pijesak) bilo organskog porijekla, ali iz drugog razdoblja (trulež, plijesan, mikroorganizmi). Nakon mehaničke obrade koja se sastoji od usitnjavanja drva na iverje veličine 3—4 cm, uzorak se kuha 5 sati u 4% otopini HCl, ispire i kuha u destiliranoj vodi do neutralnosti te pirolizira tj. destilira u struji dušika. Posljednjim postupkom dobiva se gotovo čisti ugljik koji se spaljuje u struji kisika. Sakupljeni CO_2 čisti se i nakon toga provede u metan katalitičkim postupkom. Tako dobiveni metan mjeri se 48 sati u proporcionalnom brojaču koji je vezan sa složenim elek-

Rezultati mjerenja

Obrada izmjerenih podataka uključuje niz parametara i korekcija zatim dobivanje srednje vrijednosti i izračunavanje pogreške mjerenja. Pri izračunavanju konačnog rezultata valja uzeti u obzir ove faktore: tlak i temperaturu plina (CH_4) u brojaču, atmosferski tlak, broj otkucaja suvremenog uzorka, broj otkucaja smetnji i broj otkucaja uzorka koji mjerimo. Rezultati mjerenja obrađuju se zbog opsežnosti s pomoću elektroničkog računskog stroja. Tabela I prikazuje statističku obradu podataka na računskom stroju UNIVAC 1106. Mjerena su tri uzorka u više navrata radi povećanja točnosti rezultata. Tabela sadržava izmjerenu starost uzorka sa standardnom devijacijom mjerenja i srednju vrijednost svih mjerenja s pogreškom.

Kako je krajnji podatak koji nas zanima datum obaranja drva to su rezultati mjerenja korigirani za broj godina. Što je uzorak bliže jezgri to je stariji za broj godina jer je utvrđeno da samo vanjski dio sudjeluje u izmjeni tvari. Statistički najpouzdaniji rezultat je srednja vrijednost svih mjerenja i ta je data u zadnjem retku zajedno s pogreškom koja je znatno manja od pogreške svakog pojedinačnog mjerenja. Iz tabele I izlazi da najpouzdanija » ^{14}C -starost« iznosi 1248 ± 24 godine računavši od 1950. godine, tj. od datuma mjerenja standarda (NBS Oxalic Acid). Posljednja korekcija rezultata dobivenih mjerenjem metodom ^{14}C vrši se na osnovi korelacije između ^{14}C i kalendarskog vremena.^{6, 7, 8} S obzirom na relativno mali broj mjerenja korelacija u periodu koji nas zanima, greška našeg mjerenja se ne-



2 Crtež sadašnjeg izgleda grede iz koje su izvađeni uzorci za datiranje

što povećava i iznosi oko ± 25 godina. Prema dosada najpotpunijem pregledu korelacije » ^{14}C «: kalendarske godine,⁹ zatim uzevši u obzir najnovija mjerenja poluvremena raspada radionuklida ^{14}C ($T/2 = 5730 \pm 40$ godina) koja objavljuje časopis Radiocarbon izlazi da je godina obaranja drva

710 g. n. e. ± 25 god.

K o m e n t a r

Opisanom metodom može se na egzaktn način ustanoviti starost organskog materijala. Premda je drvo vrlo zahvalan materijal za datiranje, ostaje neizvjesnost u pogledu točnog broja godina jer se obično traži godina nastanka određenog artefakta ili kao u našem slučaju, godina ugradnje u zdanje koje se datira. Opisana metoda daje podatke o momentu prestanka izmjene tvari u organskom materijalu tj. vrijeme obaranja stabla. Preostaje neizvjesnost o razdoblju koje je proteklo od tog momenta pa do korištenja materijala — u našem slučaju do ugradnje greda u zdanje. Ovaj period može se procijeniti na osnovi poznavanja običaja tog vremena. Građevno drvo suši se koju godinu, međutim ne možemo isključiti mogućnost korištenja drvene građe na dru-

gom mjestu, na što upravo ukazuje oblik greda,¹ no i u tom slučaju može se ocijeniti razdoblje u kojem se građa može još smatrati upotrebljivom za ponovnu ugradnju.

Kudikamo povoljniji slučaj za datiranje bio bi organski materijal u obliku slame primiješane žbuci ili ostaci ugljena od pečenja vapna. U prvom slučaju radi se o jednogodišnjim biljkama i vjerojatnost da materijal nije stariji od godinu-dvije od trenutka zidanja vrlo je velika. Nešto je veća neizvjesnost za ugljen od vapna, ali obzirom na način pečenja vapna, kojim se načinom i danas u tim krajevima služe, moglo bi se pretpostaviti da starost drva koje se uzima pri pečenju vapna u primorskim krajevima ne prelazi 20—30 godina. Žbuka također sadržava ugljik koji se vezao u vapnu u nizu godina nakon gradnje i pruža mogućnost za datiranje. Međutim, zbog prisutnosti velike količine anorganskog ugljika u obliku kalcijevog karbonata iz pijeska, prema našoj procjeni greška mjerenja bila bi tolika da bi rezultat bio neupotrebljiv.

Rezultat dobiven metodom ^{14}C značajan je po tome što postavlja donju starosnu granicu za onu fazu gradnje sv. Donata pri kojoj je iskorištena datirana greda. Pronalaženjem još podesnijih uzoraka organskog materijala moguće bi bilo u suradnji sa stručnjacima iz drugih područja znanosti još preciznije datirati pojedine faze gradnje ovog monumentalnog spomenika naše kulture.

⁹ E. K. Ralph, H. N. Michael and M. C. Han: *Radiocarbon dates and reality*. MASCA Newsletter, Vol. 9, No. 1, pp. 1—20, August 1973.

TABELA I

Oznaka uzorka ¹	» ¹⁴ C-starost« uzorka	Standardna devijacija mjerenja	Godina obaranja drveta	Standardna devijacija godine obaranja drveta
Z-178/I	1286	70	719	70
Z-178	1385	68	720	68
Z-177	1476	55	614	55
Z-178	1417	56	688	57
Z-177	1295	70	795	70
Z-177	1395	55	695	55
Z-178/I	1319	65	686	65
Srednja vrijednost ¹⁴ C datuma obaranja drva:			702	±23,4 god. n. e.

Oznaka je u skladu s međunarodnim sustavom; vidi *Radio-carbon* Vol. 15 No. 2, 1973, P. 435.

Summary

RADIOCARBON DATING OF WOODEN BEAMS FROM ST. DONAT CHURCH IN ZADAR

Samples of oak wood from beams found in the floor of St. Donat Church¹ in Zadar, Croatia were dated by using the radiocarbon method described in details in ref. (5). Only well-preserved beams with 110 to 120 tree rings which could be easily counted were drilled out, each sample containing 10 to 20 tree rings as indicated in Fig. 1. Samples submitted 1970 by Ksenija Radulić, Zavod za zaštitu spomenika kulture, Zadar.

Samples of wood were boiled in 4% HCl, thoroughly washed and dried prior to pyrolysis. Charcoal is then burned in stream of oxygen; CO₂ thus obtained is collected in liquid nitrogen traps.

CO₂ is converted in CH₄ by catalytic hydrogenation. Methane is counted 48 hrs in the proportional counter shielded by an anticoincidence counter and several tons of lead. Data are printed out on a strip printer and subsequently processed by UNIVAC 1106 computer. Corrections are applied for ambient temperature, barometric pressure, and methans pressure. Computer is also programmed to convert ¹⁴C age into real age according to the correlation given in ref (9).

Based of the mean value estimated by weighted means of the 3 samples, trees were in cut A. D. 710 ± 25 . It was assumed that 20 ± 10 tree rings of sapwood were cut away during shaping of beams. This would be earliest date that beams could be used for construction of the gallery floor. However, the possibility exists that wood was stored for some years or that it was used in another building and built into St. Donat church afterwards.