

Referenčne kronologije za dendrokronološko datiranje v Sloveniji - stanje 1997

Katarina ČUFAR in Tom LEVANIČ

Izvleček

Predstavljene so slovenske referenčne kronologije za potrebe datiranja, ki so bile sestavljene do konca leta 1997. Najdaljši in najbolj pokriti sta regionalni kronologiji jelke in macesna, zato so tudi možnosti za datiranje teh dveh vrst v Sloveniji trenutno največje. Obstoječe hrastove in smrekove kronologije bo treba izboljšati in podaljšati. Borove in jesenove kronologije so pomembne predvsem za primerjave.

UVOD

Sistematične dendrokronološke raziskave za potrebe datiranja v Sloveniji so se pričele s triletnim projektom MZT Uvajanje dendrokronologije v Sloveniji v letu 1993, nadaljujejo pa se v tekočem projektu Dendrokronološke raziskave v Sloveniji. V uvodnem delu so bili cilji projekta opremiti in usposobiti laboratorij za dendrokronološke raziskave lesa dreves ter zgodovinskega in arheološkega lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete. Sprva ni bilo na razpolago nobene referenčne kronologije in ni bilo znano, ali bi za datiranje v Sloveniji potrebovali eno ali več kronologij najpomembnejših lesnih vrst ter ali si pri delu lahko pomagamo s kronologijami sosednjih dežel. Na razpolago tudi ni bilo podatkov o primerljivosti kronologij različnih lesnih vrst (prim. Čufar et al. 1995; Levanič et al. 1995b).

Da bi odgovorili na našeta vprašanja, smo najprej sestavili več kronologij najpomembnejših drevesnih vrst iz različnih rastišč v Sloveniji. Nekatere od njih smo že podaljšali v preteklost in jih lahko uporabljamo za datiranje.

Abstract

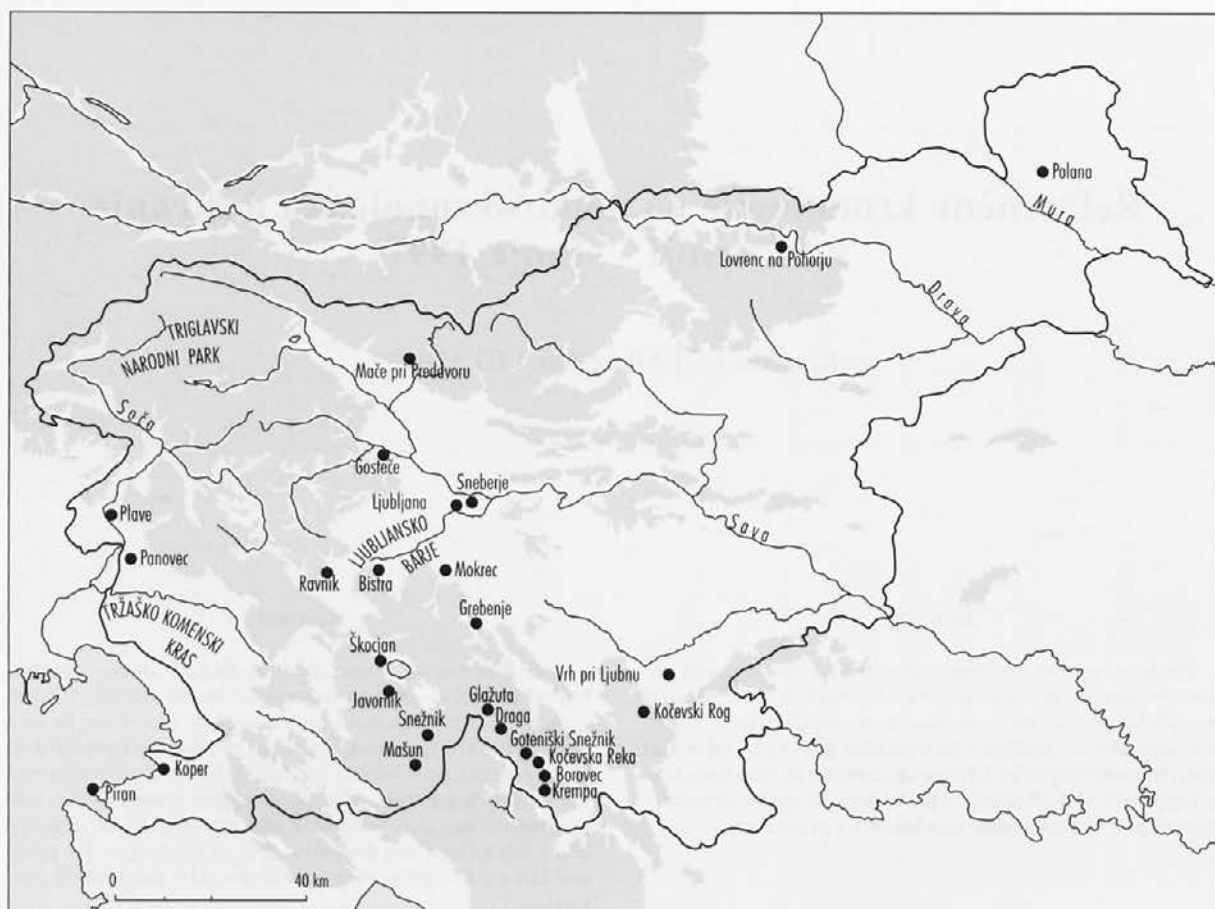
The Slovene reference chronologies for dendrochronological dating which were assembled by the end of 1997 are presented. The regional chronologies of the silver fir and larch trees are the most extensive and best accounted for. Thus also the possibilities for dating these species of wood are currently greatest. The chronologies assembled for oak and spruce are also presented and possibilities to improve and extend them are discussed. The chronologies for pines and ash are of significance for comparative purposes in particular.

V pričujočem prispevku predstavljamo kronologije, sestavljene do konca leta 1997, trenutne možnosti za dendrokronološko datiranje v Sloveniji in predlog bodočih raziskav. Na koncu podajamo napotke za arheologe, ki bi želeli v svoje delo vključiti dendrokronološke analize.

Pričujoče delo predstavlja tudi pregled dosegljive objavljen literature ter doktorskih, magistrskih in diplomskih del na temo dendrokronologije v Sloveniji. Dendrokronološki laboratorij na Oddelku za lesarstvo je vključen tudi v evropski katalog kronologij (Hillam 1997) in v mednarodno banko podatkov pri NOAA, Boulder, Colorado, ZDA.

KRONOLOGIJE

Raziskovalno delo smo osredotočili na lesne vrste, ki so najpogostejše v konstrukcijah iz preteklih obdobj in so primerne za dendrokronologijo. To so jelovina, macesnovina, smrekovina in hrastovina. V količarskih naseljih Ljubljanskega barja je poleg hrastovine pomembna jeseno-



Karta 1: Lokacije vzorčnih ploskev in objektov v Sloveniji.

Map 1: The location of sampling areas and investigated buildings in Slovenia.

vina (Culiberg, Šercelj 1991; Čufar et al. 1996) in po najnovejših raziskavah tudi jelovina in bukovina. V nadaljevanju predstavljamo raziskave posameznih lesnih vrst na različnih lokacijah v Sloveniji, kjer smo sestavili referenčne kronologije (Karta 1).

Jelka (*Abies alba* Mill.)

Les jelke je pri nas dendrokronološko najbolje raziskan. Kronologije dreves smo sestavili za več kot deset tipičnih rastišč v Dinarski fitogeografski regiji ter na Pohorju (Levanič, Čufar 1995a;

Kraj	Objekt	Šifra kronologije	Časovni razpon kronologije*
Location	Object	Chronology name	Time span of the chronology
Lovrenc na Pohorju	kmečke hiše, farm houses	POH-HIS	1713-1887
Piran	župna cerkev sv. Jurija, parish church of St. George	SV-JUR	1799-1878
Grebenje	kozolec, hayloft	GRE-907	1641-1752
Piran	Minoritski samostan, Minorite monastery	PIR-801	1584-1726
Koper	Palača Bassegio, Bassegio palace	BAS-901-ABI	1532-1638
Planina	Župna cerkev, parish church	PLA-900	1505-1564
Piran	Minoritski samostan, Minorite monastery	MIN-911	1121-1307
Piran	Minoritski samostan, Minorite monastery	MIN-903	817- 863

*letnica na desni ustreza letu vgraditve lesa, če je bila ohranjena zadnja branika pod skorjo

Tab. 1: Jelove kronologije objektov za podaljšanje kronologije dreves.

Table 1: Silver fir chronologies of buildings.

1995b in 1995c; Kumprej 1995; Šivic 1995; Henigman 1996; Levanič 1996; Levanič, Čufar 1997a; Stopajnik 1997). Z analizo dreves smo dobili regionalno slovensko kronologijo, dolgo nad 300 let.

Ponekod je bila jelovina v preteklih obdobjih največkrat uporabljen les za konstrukcije, zato smo kronologije dreves podaljšali s kronologijami objektov, prikazanimi v tabeli 1. Les smo večinoma odvzeli iz ostrejših ali stropnih konstrukcij.

Iz kronologij dreves in objektov smo sestavili enotno slovensko regionalno jelovo kronologijo, ki je dolga 492 let in pokriva obdobje med leti 1505 in 1996 (sl. 1). Pri datiranju dela, ki ni sklenjen s slovensko kronologijo, sta nam pomagala Spurk in Friedrich z nadregionalno jelovo kronologijo laboratorija Hohenheim po stanju leta 1993.

Predstavljena slovenska kronologija omogoča datiranje jelovine iz obdobja od leta 1530 do 1996 praktično za celotno Slovenijo. Uspešno datiranje pričakujemo, kadar je na razpolago več vzorcev iz iste časovne faze in kadar vzorci vsebujejo veliko, tj. nad 100 branik.

Raziskave za podaljšanje in izboljšavo kronologije se nadaljujejo. Za izboljšanje kronologije bi bilo treba sistematično zbirati les iz 12., 13., 14. in 15. stoletja in iz časa pred 9. stoletjem.

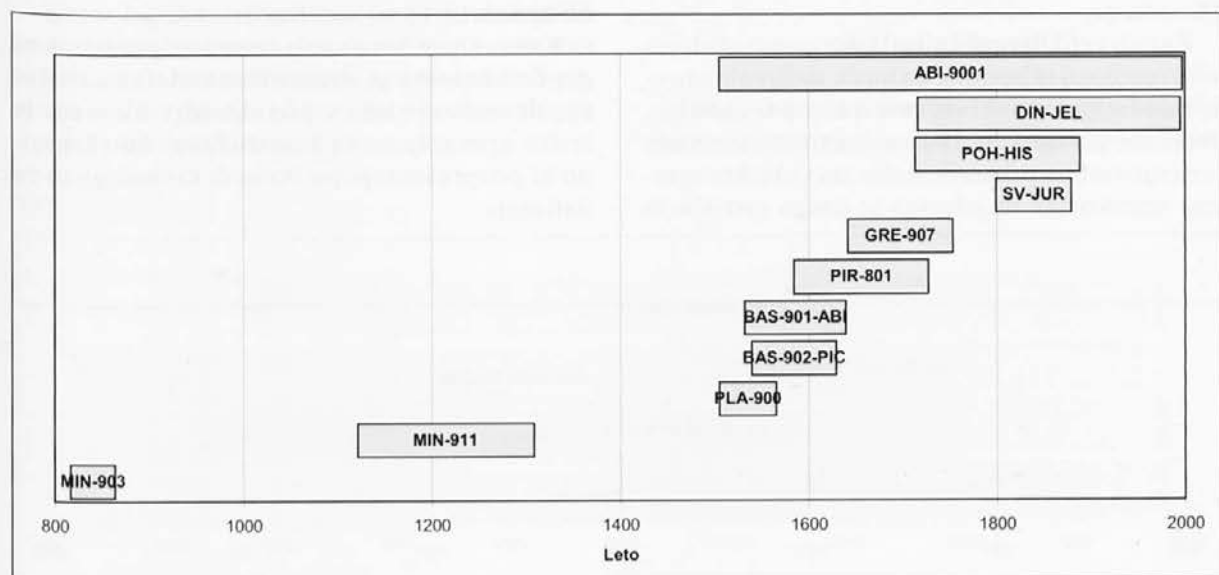
Macesen (*Larix decidua* Mill.)

Macesnov les so v Sloveniji v preteklosti uporabljali bolj lokalno, predvsem v bližini naravnih

rastišč v Alpah in uvoženega v Primorju. V primorskih mestih so ga pogosto uvažali, ker je bil les cenjen zaradi visoke gostote, trdote, trdnosti, dekorativnosti ter visoke naravne trajnosti. Drevesa pogosto zelo počasi priraščajo, zato imajo vgrajeni elementi povprečnih dimenzij lahko več sto izjemno ozkih branik. Pri analizah širin branik je zato potrebna brezhibna priprava lesa in izjemno natančno merjenje.

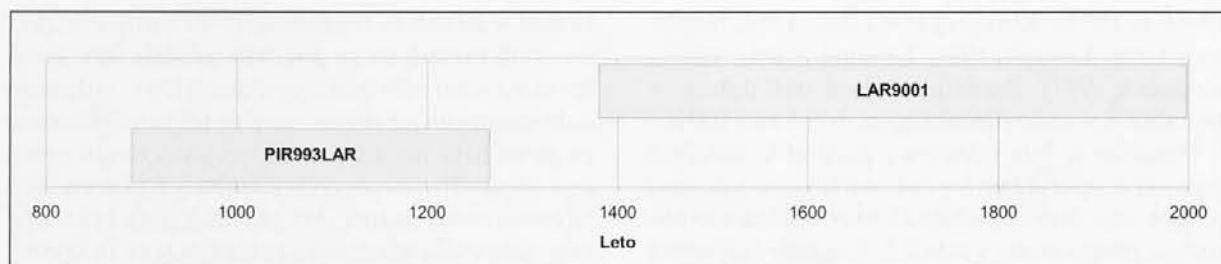
Za sestavo slovenske macesnove kronologije smo raziskali drevesa in stare objekte z območja Triglavskega narodnega parka, les iz ostrejša cerkve svetega Jurija iz Pirana in gotske palače iz Kopra (Levanič et al. 1997 in neobjavljeni rezultati). Na sliki 2 je prikazan razpon slovenske macesnove kronologije. Ta ni sklenjena in pokriva obdobje od leta 1380 do 1997 in od leta 890 do 1264. Del, ki ni priključen slovenski kronologiji, smo datirali s kronologijo iz severovzhodnih italijanskih Alp (Bebber 1990) in korigirali ob pomoči dr. Nicolussija z avstrijsko tirolsko macesnovo kronologijo laboratorija iz Innsbrucka. Da bi dobili sklenjeno 1100 letno kronologijo, bi morali premostiti vrzel med leti 1264 in 1380.

V Sloveniji lahko pričakujemo uspešno datiranje macesnovine za celotno obdobje, ki ga pokriva slovenska macesnova kronologija, ob predpostavki, da v Sloveniji macesen uspeva predvsem v Alpah. Datiranje je verjetnejše, kadar je na razpolago več vzorcev iz istega obdobja oz. faze gradnje objekta in kadar vzorci vsebujejo veliko, tj. vsaj 100 branik.



Sl. 1: Časovni razpon slovenske regionalne jelove kronologije (ABI-9001), kronologije dreves (DIN-JEL) in objektov (glej tab. 1).

Fig. 1: The time span of the Slovene regional silver fir chronology (ABI-9001) composed of chronologies of trees (DIN-JEL) and buildings (see Table 1).



Sl. 2: Časovni razpon macesnove kronologije. LAR9001 predstavlja kronologijo dreves in objektov iz Triglavskega narodnega parka ter cerkve sv. Jurija v Piranu. PIR993LAR predstavlja kronologijo starejše faze cerkve sv. Jurija v Piranu.

Fig. 2: The time span of the Slovene larch chronology: LAR9001 - the chronology of trees and buildings from the Alps and from the church of St. George in Piran, PIR993LAR - the chronology of the church of St. George in Piran.

Smreka (*Picea abies* Karst.)

Smreka je drevesna vrsta s široko ekološko amplitudo. Ker lahko raste na zelo različnih rastiščih je tudi njen rastni vzorec celo na malo oddaljenih rastiščih lahko zelo različen (Ferlin 1991 in neobjavljeni rezultati). V preteklosti smreka ni bila tako razširjena kot danes, zato smo se odločili, da bomo najprej raziskali les dreves iz naravnih smrekovih rastišč v Kočevski regiji, v Borovcu, na Goteniškem Snežniku in v Dragi (sl. 3). Najdaljša je kronologija iz Borovca, ki je dolga 271 let.

Smrekovo kronologijo iz palače Bassegio v Kopru smo datirali z jelovo kronologijo iz istega rastišča in obdobja (sl. 1, BAS-PIC). V arhivu imamo več še nedatiranih kronologij objektov, kot sta npr. poslikana stropa iz cerkva v Mačah pri Predvoru iz 17. stoletja in iz Gosteč pri Škofji Loki iz 16. stoletja.

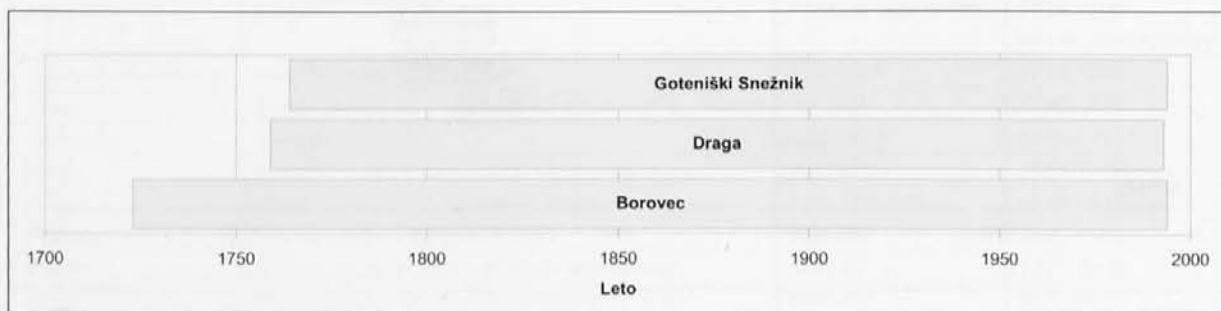
Zaradi velikih razlik v rastnih vzorcih obstoječih kronologij sklepamo, da bo za datiranje smrekovine treba sestaviti več referenčnih kronologij. Trenutno je uspešno datiranje smrekovine malo verjetno razen v primerih, kadar sta v objektu vgrajeni smrekovina in jelovina iz istega rastišča in

obdobja. Raziskave smrekovine se nadaljujejo. Pri nadaljnji pripravi smrekovih kronologij nam bo jo v veliko pomoč številne lokalne jelove kronologije.

Bori (*Pinus* sp.)

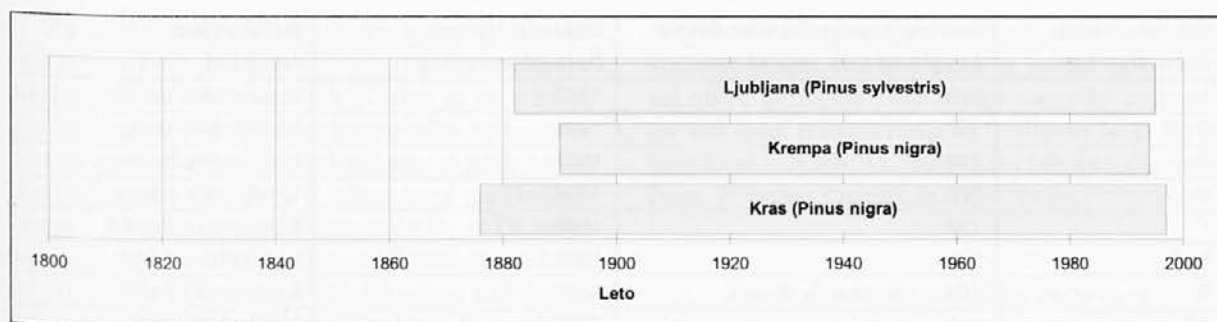
V Sloveniji razpolagamo z eno kronologijo rdečega bora (*Pinus silvestris* L.) in z dvema kronologijama črnega bora (*Pinus nigra* Arn.) (sl. 4). Prva temelji na zaporedjih širin branik dreves iz štirih rastišč v okolici Ljubljane (Jurkovič 1996 in neobjavljeni rezultati). Ena kronologija črnega bora temelji na zaporedjih širin branik dreves iz naravnih rastišč na Krempi v Kočevski regiji, druga pa iz petih ploskev na Divaško-Komenskem Krasu (Srebotnjak 1997 in neobjavljeni rezultati). Na Krasu so drevesa nasadili v akcijah pogozdovanja ob koncu 19. in na začetku 20. stoletja.

Kronologije borov so pomembne predvsem za dendroekološke in dendroklimatološke raziskave. Borovina je bila v preteklosti v Sloveniji le redko uporabljena za konstrukcije, zato trenutno ni povpraševanja po borovih kronologijah za datiranje.



Sl. 3: Časovni razpon lokalnih kronologij smrekovih dreves iz treh rastišč v Kočevski regiji.

Fig. 3: The time span of three local chronologies of spruce trees from the Kočevje region. The labels in the bars represent the names of the sites.



Sl. 4: Časovni razpon lokalnih kronologij rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) in črnega bora (*Pinus nigra* Arn.) iz treh območij.
Fig. 4: The time span of the local chronologies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and black pine (*Pinus nigra* Arn.) from three locations in Slovenia. The labels in the bars represent the names of the sites and tree species.

Hrasti (*Quercus* sp.)

Rod hrastov je v Sloveniji zastopan z več vrstami, vendar sta gospodarsko najpomembnejši dob (*Q. robur* L.) in graden (*Q. petraea* Liebl.). Z običajnimi lesnoanatomskimi orodji obeh vrst ni mogoče zanesljivo razlikovati. Raziskave v letu 1997 (Pavlič 1997 in neobjavljeni rezultati) so potrdile ugotovitve navedene v literaturi, da lahko v dendrokronologiji obravnavamo obe vrsti hrasta skupaj (npr. Schweingruber 1992). Raziskali smo hrastova drevesa iz Posočja (Plave), Panovca, s Krasa, z Ljubljanskega barja z okolico, Vrha pri Ljubnu in iz Polane v Prekmurju. Vzorci širin branik na naštetih območjih so zelo različni. Sestavili smo tri kronologije, ločeno za zahodno, osrednjo in vzhodno Slovenijo (sl. 5) (Levanič 1993; Pavlič 1997; Strasberger 1997 in neobjavljeni rezultati).

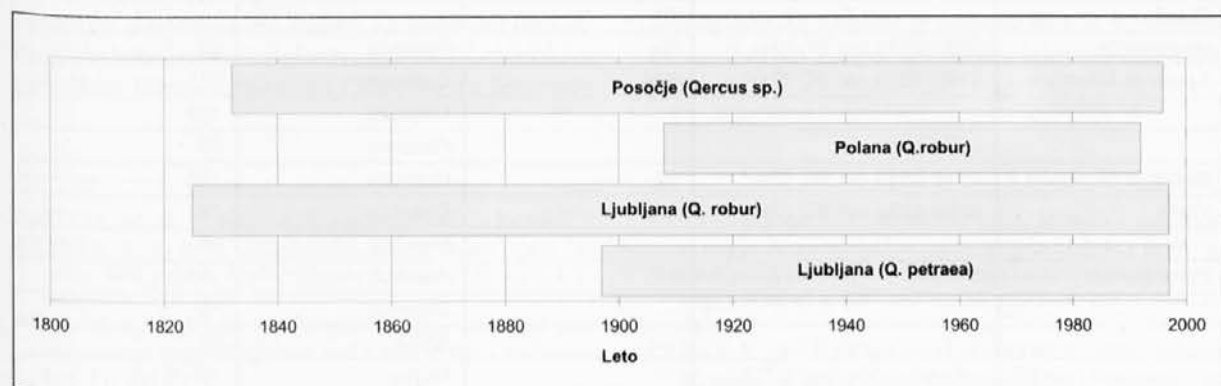
Kronologije temeljijo na lesu živih vladajočih in sovladajočih dreves. Kljub velikim premerom in višinam raziskanih dreves, njihova starost pogosto ni dosegla niti 100 let, zato so kronologije dolge le 84 do 172 let.

Zaradi v splošnem majhnega števila branik in velikih razlik v rastnih vzorcih je datiranje hrastovine pri nas trenutno zelo vprašljivo. V laboratoriju razpolagamo z več kronologijami zgodovinskega lesa, ki jih še nismo uspeli datirati.

Ker je hrastovina najpomembnejši arheološki les, bo v prihodnjih letih težišče raziskav usmerjeno v sestavo in podaljšanje ene ali več slovenskih hrastovih kronologij. Šele nadaljnje raziskave bodo pokazale, ali bomo v Sloveniji potrebovali eno ali več hrastovih kronologij za datiranje. Ker je dober arheološki les redek, bo uspeh dela odvisen predvsem od uspešnosti sodelovanja dendrokronološkega laboratorija z Oddelka za lesarstvo z arheologi, restavratorji, zgodovinarji in drugimi, ki razpolagajo z lesom iz preteklih obdobj. Poseben pomen ima subfosilna hrastovina in hrastovina z Ljubljanskega barja.

Subfosilni hrasti

Dolge evropske hrastove kronologije temeljijo v veliki meri tudi na subfosilni hrastovini (prim.



Sl. 5: Hrast (*Quercus* sp.): časovni razpon lokalnih kronologij dreves.

Fig. 5: Oak (*Quercus* sp.): the time span of the local chronologies of trees. The labels in the bars represent the names of the sites and tree species.

Številka debla	Dolžina zaporedja širin branik	Datum odvzema	Nahajališče
Stem Number	Length of tree ring series	Date of sampling	Location
1	195	1995	Ljubljansko barje
2	162	1995	Ljubljansko barje
3	143	1997	Ljubljansko barje
6	278	1996	Ljubljansko barje
7	138	1996	Ljubljansko barje
8	30	1996	Ljubljansko barje
9	109	1996	Ljubljansko barje
10	101	1996	Ljubljansko barje
13	118	1997	Ljubljansko barje
14	216	1997	Ljubljansko barje
15	50	1997	Sneberje ob Savi
16	30	1997	Sneberje ob Savi
17	35	1997	Sneberje ob Savi
19	143	1997	Ljubljansko barje

Tab. 2: Pregled raziskav subfosilnih debel.

Table 2: Investigations of subfossil stems.

Becker 1993; Baillie 1995; Leuschner 1992). Subfosilen les se ohrani v deblih, ki ležijo pod vodo v rekah ali močvirjih. Les ni mineraliziran, njegova struktura pa je tudi po več sto ali celo več tisoč letih dokaj dobro ohranjena. Poročajo, da je na Ljubljanskem barju, v strugi Ljubljanice ter v porečju Drave in Mure veliko subfosilnih debel. Sami smo raziskali 14 subfosilnih hrastovih debel (tab. 2) iz Ljubljanskega barja, dobljenih zaporedij širin branik pa doslej še nismo uspeli datirati. Iz tabele je razvidno, da so nekatera debela vsebovala zelo veliko branik. Za podaljšanje hrastovih kronologij v preteklost na podlagi subfosilnega lesa bi potrebovali več sto debel.

Les iz koliščarskih naselij na Ljubljanskem barju

Velušček (1997) je pripravil pregled kolišč na Ljubljanskem barju in izbral kolišča za prva vzorčenja lesa. Doslej je bil dendrokronološko raziskan les iz šestih kolišč: Založnica, Parte, Spodnje mostišče 1 in 2, Hočevarica in Parte-Iščica (Čufar et al. 1997a; 1997b; 1998; Šivic 1997 in neobjavljene raziskave). Le na kolišču Založnica les zaradi premajhnega števila branik ni bil primeren za dendrokronologijo. V tabeli 3 je prikazan pregled kronologij iz kolišč. Prevladujejo hrastove in jesenove kronologije.

Kolišče	Radiokarbonsko datiranje	Št. raziskanih vzorcev	Lesna vrsta za kronologijo	Dolžina kronologije (leta)
Pile dwelling	¹⁴ C dating	No. of investigated samples	Wood species for chronology	Length of chronology (years)
Založnica		31		
Hočevarica	3692-3386 cal BC (2s)	85	<i>Fraxinus</i>	63
Spodnje Mostišče 1	3740-3530 cal BC (2s)*	628	<i>Quercus</i>	91
			<i>Quercus</i>	159
			<i>Fraxinus</i>	95
Spodnje Mostišče 2	3740-3530 cal BC (2s)*	52	<i>Quercus</i>	116
Parte	2580-2332 cal BC (2s)	242	<i>Quercus</i>	76
			<i>Fraxinus</i>	92
Parte-Iščica	*	571	<i>Fraxinus</i>	137
			<i>Quercus</i>	78
			<i>Abies</i>	69
			<i>Fagus</i>	75

* Dodatne analize so v teku / Additional analyses continue

Tab. 3: Pregled plavajočih kronologij kolišč z Ljubljanskega barja.

Table 3: The floating chronologies from the pile-dwellings in the Ljubljana Moor.

Za Spodnje mostišče 1 in 2 nam je uspelo združiti sestavljene kronologije in relativno datirati gradbene aktivnosti na obeh koliščih (Čufar et al. 1997b; Čufar et al. 1998). Dendrokronološko dokumentirane vzorce večine kronologij smo poslali na radiokarbonsko datiranje v laboratorij na Heidelberg Akademie der Wissenschaften. Dosedanje radiokarbonske analize dr. Kromerja (Čufar et al. 1997b in osebna komunikacija) kažejo, da po dodatnih radiokarbonskih analizah, ki so v teku, na Spodnjem mostišču 1 in 2 lahko pričakujemo dokaj ozek interval absolutnega datiranja.

Ker je bil v raziskave vedno vključen le manjši delež lesa s kolišč, bi bilo smiselno razširiti raziskave na preučeni koliščih in vključiti nova.

Raziskave na arheološkem lesu (Čufar et al. 1998) in na lesu dreves z Ljubljanskega barja (Pavlič 1997) kažejo, da je jesenove kronologije mogoče datirati s hrastovimi kronologijami iz istega območja. Po najnovejših spoznanjih laboratorija iz Hemmenhofna (Billamboz, osebna komunikacija) imata velik dendrokronološki potencial še jelka in bukev. Obe vrsti smo doslej v omembe vrednih količinah našli le na kolišču Parte Išica.

Datiranje kronologij zahteva dolgotrajno sistematično delo. Glede na veliko število datiranih predzgodovinskih kronologij s celotnega območja Alp (npr. Billamboz 1996; Martinelli 1996) lahko upamo, da bomo tudi na Ljubljanskem barju uspešni, vendar le če se bo neprekinjeno nadaljevalo sistematično delo.

NAPOTKI ARHEOLOGOM ZA UPORABO DENDROKRONOLOŠKIH METOD

Dosedanji rezultati in predstavljene kronologije kažejo, da lahko tudi v Sloveniji les uspešno dendrokronološko datiramo. Predstavljene kronologije izboljšujemo in podaljšujemo, zato postajajo možnosti datiranja vse boljše. Za uspešno nadaljnje delo bo odločilno sodelovanje med dendrokronološkim laboratorijem na Oddelku za lesarstvo

in tistimi, ki razpolagajo z arheološkim in zgodovinskim lesom. Sodelovanje se začne na terenu, saj mora dendrokronolog dati napotke za pravi len odvzem, shranjevanje in transport lesa. Ko so raziskave v dendrokronološkem laboratoriju končane, je nujna skupna interpretacija rezultatov.

Potek dendrokronološke raziskave

1. Ocena primernosti lesa za dendrokronološke analize na terenu.
2. Pravilen odvzem lesa, upoštevanje količino in orientiranost vzorcev.
3. Pravilno shranjevanje in transport lesa.
4. Priprava lesa za dendrokronološke analize v laboratoriju.
5. Mikroskopska determinacija lesne vrste.
6. Meritve in analize v dendrokronološkem laboratoriju.
7. Obdelava podatkov - vizualne primerjave, statistične analize, sinhroniziranje - in datiranje.
8. Interpretacija rezultatov.

Posameznih vzorcev lesa praviloma ni mogoče datirati. Za uspešno datiranje je potrebno čim večje število branik v vzorcu in čim večje število odvzetih vzorcev iz iste časovne faze.

Zahvale

Raziskave je financiralo Ministrstvo za znanost in tehnologijo republike Slovenije, finančno pa so jih podprli tudi Restavratorski center republike Slovenije, Inštitut za arheologijo ZRC SAZU in Oddelek za arheologijo Filozofske fakultete.

Kronologije in pomoč pri datiranju so nam ponudili Michael Friedrich in Marco Spurk iz Hohenheima ter Kurt Nicolussi iz Innsbrucka. Radiokarbonske analize je opravil Bernd Kromer iz Heidelberga. Za pomoč se jim iskreno zahvaljujemo.

BAILLIE, M. G. L. 1995, *A slice through time*. - London.
 BEBBER, A. E. 1990, Una cronologia del larice (*Larix decidua* Mill.) delle Alpi orientali italiane. - *Dendrochronologia* 8, 119-140.
 BECKER B., 1993, An 11,000-year German oak and pine chronology for radiocarbon and Calibration. - *Radiocarbon* 35, 201-213.
 BILLAMBOZ, A. 1996, Tree rings and Pile-dwellings in southern Germany: following in the footsteps of Bruno Huber. - V: *Tree rings, environment and humanity*, Radiocarbon, 471-483.

CULIBERG, M. in A. ŠERCELJ 1991, Razlike v rezultatih raziskav makroskopskih rastlinskih ostankov s kolišč na Ljubljanskem barju in pelodnih analiz - dokaz človekovega vpliva na gozd. - *Por. razisk. pal. neol. eneol. Slov.* 19, 249-256.
 ČUFAR, K., T. LEVANIČ in M. ZUPANČIČ 1995, Slovenija, regija za dendrokronološke raziskave (Slovenia, a region for dendrochronological investigations). - *Les* 47/5, 133-136.
 ČUFAR, K., T. LEVANIČ in A. VELUŠČEK 1996, Identification of wood and dendrochronological investigations

- in three prehistoric pile dwellings from the Ljubljana moor. - *IAWA Journal* 17/3, 240.
- ČUFAR, K., T. LEVANIČ in A. VELUŠČEK 1997a, Dendrokronološke raziskave na kolišču Založnica in Parte. - *Arh. vest.* 48, 15-26.
- ČUFAR, K., T. LEVANIČ, A. VELUŠČEK in B. KROMER 1997b, First chronologies of the eneolithic pile dwellings from the Ljubljana moor, Slovenia. - *Dendrochronologia* 15, v tisku (in print).
- ČUFAR, K., T. LEVANIČ in A. VELUŠČEK 1998, Dendrokronološke raziskave na koliščih Spodnje mostišče 1 in 2 ter Hočevarica. - *Arh. vest.* 49, 75-92.
- FERLIN, F. 1991, Nekateri značilnosti pojava umiranja smreke in njenega prirastnega odzivanja na imisijske strese. - *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 37, 125-156.
- HENIGMAN, L. 1996, Dendrokronološke raziskave lesa iz objektov v Ribniški dolini (Dendrochronological investigations of wood from objects in Ribnica valley). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- HILLAM, J. 1997, The European catalogue of tree-ring chronologies. - *Dendrochronologia* 15, v tisku (in print).
- JURKOVIČ, M. 1996, Dendroklimatološke raziskave borovij v okolici Ljubljane. (Dendroclimatological analysis of growth of Scots pine in surroundings of Ljubljana). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- KUMPREJ, I. 1995, Dendrokronološka analiza rasti jelk v območju Mašuna. (Dendrochronological analyses of growth of silver firs from Mašun). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- LEUSCHNER, H. H. 1992, Subfossil trees. - *Lundqua* 34, 182-190.
- LEVANIČ, T. 1993, Vpliv melioracij na debelinsko rast in prirastek črne jelše, ozkolistnega jesena in doba v Prekmurju. - *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 42, 7-65.
- LEVANIČ, T. 1996, Dendrokronološka in dendroekološka analiza propadajočih vladajočih in sovladajočih jelk (*Abies alba* Mill.) v dinarski fitogeografski regiji (Dendrochronological and dendroecological study of dominant and co-dominant declining silver firs (*Abies alba* Mill.) in Dinaric phytogeographic region). - Doktorska disertacija, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- LEVANIČ, T. in K. ČUFAR 1995a, Primerjava standardnih kronologij jelke (*Abies alba* Mill.) v dinarski fitogeografski regiji Slovenije. (Comparison of standard chronologies of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Dinaric phytogeographical region of Slovenia). - *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 46, 131-144.
- LEVANIČ, T., K. ČUFAR in M. ZUPANČIČ 1995b, Kronologije letnih prirastkov jelke in smreke v Sloveniji. (Silver fir and spruce tree-ring chronologies in Slovenia). - *Les* 47/9, 259-261.
- LEVANIČ, T. in K. ČUFAR 1995c, Three local silver fir (*Abies alba* Mill.) chronologies from the Dinaric phytogeographic region of Slovenia. - *Dendrochronologia* 13, 127-134.
- LEVANIČ, T. in K. ČUFAR 1997a, Construction of Slovene Dinaric silver fir (*Abies alba* Mill.) regional chronology. - *Dendrochronologia* 15, v tisku (in print).
- LEVANIČ, T., K. ČUFAR, J. HUDOLIN in B. BENKO-MÄCHTIG 1997b, Dendrokronološka analiza strešne konstrukcije župne cerkve sv. Jurija v Piranu. - *Annales* 9, v tisku (in print).
- MARTINELLI, N. 1996, Datazioni dendrochronologiche per l'età del bronzo dell'area Alpina. - *Acta Archaeologica* 67, 315-326.
- PAVLIČ, T. 1997, Analiza rasti doba (*Quercus robur* L.), gradna (*Quercus petraea* Liebl.) in velikega jesena (*Fraxinus excelsior* L.) na Ljubljanskem barju. (Growth analysis of common oak (*Quercus robur* L.), durmast oak (*Quercus petraea* Liebl.), and ash (*Fraxinus excelsior* L.) from Ljubljana moor). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1992, Baum und Holz in der Dendrochronologie. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. - Birmensdorf.
- SREBOTNJAK, K. 1997, Dendroekološka analiza črnega bora (*Pinus nigra* Arnold) na Divaško Komenskem Krasu. (Dendroecological analysis of black pine (*Pinus nigra* Arnold) in Divača Komen Karst). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- STOPAJNIK, M. 1997, 284 let dolga jelova kronologija iz območja Pohorja. (284 years long silver fir chronology for Pohorje region). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- STRASBERGER, A. 1997, Uvodne dendrokronološke raziskave hrasta v Sloveniji (Preliminary dendrochronological investigations of oak in Slovenia). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- ŠIVIC, A. 1997, Dendrokronološke raziskave lesa iz predzgodovinskih kolišč na Ljubljanskem barju (Dendrochronological investigations of wood from prehistoric pile-dwellings in Ljubljana moor). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- ŠIVIC, M. 1995, Dendrokronološke analize drevja in objekta z območja Ravnika. (Dendrochronological analyses of growth of trees and a building from Ravnik). - Diplomski naloga, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).
- VELUŠČEK, A. 1997, Metodologija nasebinskih raziskovanj na barjanskih tleh. - Magistrski naloga, II. del, Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana (neob., unpubl.).

Reference Chronologies for Dendrochronological Dating in Slovenia - Their State of Development in 1997

Summary

INTRODUCTION

Systematic dendrochronological investigations for dating in Slovenia commenced in 1993 with a three-year project: Establishing Dendrochronology in Slovenia. Studies continue with the current project Dendrochronological Investigations in Slovenia. During the establishment of a new dendrochronological laboratory, no reference chronologies yet existed. Knowledge concerning the possibilities of identifying Slovene chronologies with those from neighboring countries was lacking nor was there any information concerning the possibilities of cross-dating the chronologies of different species (cf. Čufar et al. 1995; Levanič et al. 1995b).

The first chronologies were assembled based on wood from living trees from different species and sites throughout Slovenia. Investigations of historic buildings and archaeological timber enabled us to extend them and to use them for dating. This made it possible to include the dendrochronological laboratory at the Department of Wood Science in the European Catalogue of Tree-Ring Chronologies (Hillam 1997) and the International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) at Boulder, Colorado, USA.

We present the chronologies constructed by the end of 1997, the current possibilities for dendrochronological dating of wood from different species and periods, and we propose potential future investigations that could extend the chronologies and improve the prospects for dating archaeological wood. We also provide guidance for archaeologists who intend to employ dendrochronologic analyses. The article also includes a review of the literature and theses concerning dendrochronology in Slovenia.

THE CHRONOLOGIES

The most frequent and important species nowadays and in the past - fir, larch, spruce and oak - were selected to construct the first chronologies (cf. Culiberg, Šercelj 1991; Čufar et al. 1996).

Silver fir (*Abies alba* Mill.)

The silver fir is the most frequently investigated species in Slovenia. The chronologies are based on analyses of trees from more than ten typical forest stands in the Dinaric phytogeographical region and Pohorje (Levanič, Čufar 1995a; 1995b and 1995c; Kumprej 1995; Šivic 1995; Henigman 1996; Levanič 1996; Levanič, Čufar 1997a; Stopajnik 1997). They cover the period between 1710-1996. However this period could further be extended due to the use of historic buildings presented in table 1.

Based on these results, it was then possible to construct a single Slovene regional silver fir chronology. It is 492 years long and covers the period between 1505-1996. The two chronologies, which are not adjoined to the Slovene reference (Tab. 1, Fig. 1), were dated with the help of the silver fir chronology from the Hohenheim Laboratory, stance in 1993 (courtesy of Spurk and Friedrich).

Currently, it seems conceivable that we can date silver fir wood from the period between 1530-1996 from any site in Slovenia. Successful dating can be anticipated in the event that several specimens of wood from the same phase of building

are available and also, we feel, in the event that they possess more than 100 tree-rings.

Investigations to extend and improve the chronology continue. Systematic collection of the wood from between the 12th and 15th centuries, as well as that from the 9th century or even older, would provide the means for improving the current chronology.

Larch (*Larix decidua* Mill.)

The wood of the larch tree is only regularly used in some locations in Slovenia - usually locally that is, in the vicinity of its natural forest stands in the Alps and along the coast. It was often imported to the coast because of its highly valued attributes such as its high density, hardness, mechanical properties, decorative appearance, and high natural durability. The trees often grow slowly so it is possible to find trees containing hundreds of extremely narrow tree rings.

Based on analyses of trees and buildings from the Triglav National Park in the Alps and buildings from the coast, we have assembled a Slovene larch chronology. It covers the periods between 1380-1997 and 890-1264 (Levanič et al. 1997 and unpublished results). The older part of the chronology was dated with the help of the Italian larch chronology from the NE Alps (Bebber 1990) and corrected with the help of the larch chronology from Tyrol - Austria (courtesy Nicolussi).

To construct a continuous 1100 year long chronology, the existing gap would need to be bridged with systematically collected timbers from the 13th and 14th centuries. Timbers from the 9th century or older are also desired.

Spruce (*Picea abies* Karst.)

Spruce is a species which can grow under greatly variable ecological conditions. Due to this, the growth patterns of trees from different but not necessarily distant sites can vary considerably (Ferlin 1991 and unpublished results). Today, spruce is very frequent in Slovenia, yet it often grows in unnatural sites. In the past it did not spread as much as now.

Our investigations of the spruce tree initiated with older trees from their natural sites in the Kočevje region. Three local chronologies pertaining to Goteniški Snežnik, Draga and Borovec were constructed. The latter covered the longest period between 1724-1994.

We also constructed some chronologies from historic buildings. The one from the Bassegio Palace in Koper was dated with the silver fir chronology from the same region and period. The archives store more yet undated chronologies of structures, such as the two spruce chronologies of painted ceilings in the churches Mače near Preddvor (17th century) and Gostče near Škofja Loka (16th century).

Due to the great variability in tree-ring patterns, numerous reference chronologies will be required to date spruce trees. Currently, dating is only possible in the event that historic buildings contain spruce and fir wood of contemporaneous trees. Systematic investigations shall continue, while a large number of local fir chronologies would certainly aid in our preparations of the spruce chronology.

Pines (*Pinus* sp.)

One chronology of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and two of the black pine (*Pinus nigra* Arn.) are at our disposal in Slovenia. That of the Scots pine is based on a tree-ring series from four locations in the vicinity of Ljubljana (Jurkovič 1996 and unpublished results). One chronology of the black pine contains a tree-ring series from the natural stand Krempa in the Kočevje region. The other was obtained from five locations in the Divača Komen Karst (Srebotnjak 1997 and unpublished results). These trees were planted in the Karst region towards the end of the 19th and the beginning of the 20th centuries.

Pine chronologies are of particular importance for dendroecologic and dendroclimatologic analyses. Only occasionally were pines used for buildings in Slovenia, consequently there is currently no demand for their chronologies for dating.

Oaks (*Quercus* sp.)

The genus *Quercus* is represented by several species in Slovenia. Among them the most important are the durmast oak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) and the common European oak (*Q. robur* L.). The wood of these species cannot be differentiated by standard wood-anatomical procedures. The most recent investigations (Pavlič 1997 and unpublished results) confirmed the generally accepted opinion that both oaks can be treated as one species in dendrochronology (c.f. Schweingruber 1992).

Three oak chronologies have been established (Fig. 3) for the western (Posočje - Plave), central (Ljubljana), and eastern (Polana - Prekmurje) parts of Slovenia (Levanič 1993; Pavlič 1997; Strasberger 1997 and unpublished results). They are based on wood from dominant and co-dominant trees. Despite their large diameters and heights, the age of trees rarely exceeds 100 years and the chronologies are only 84 to 172 years long.

Due to the generally small number of tree-rings and the great variation in tree-ring patterns, dating oak chronologies is currently very problematic. The laboratory has constructed several floating chronologies of wood from historical objects but they cannot be dated yet.

Due to the great importance of oak in archaeology, we intend to focus our future investigations on the establishment and extension of oak chronologies. The success of further investigations will greatly depend upon co-operation with archaeologists and others who collect wood from the past.

Subfossil oaks

Subfossil wood has played an important role in the assembly of extended European oak chronologies (c.f. Becker 1993; Baillie 1995; Leuschner 1992). It is not petrified and usually preserves over hundreds or thousands of years in rivers or bogs. It has been reported that subfossil stems can often be found in the Ljubljana Moor and in the Ljubljanica, Drava, and Mura rivers. We carried out investigations of 14 subfossil stems (Tab. 2), mostly from the Ljubljana Moor. However their tree-ring series have not yet been dated. Hundreds of subfossil stems would need to be collected in order to establish a long oak chronology.

Wood from the pile-dwellings in the Ljubljana Moor

Velušček (1997) prepared a map of all known pile-dwellings in the Ljubljana Moor and selected the dwellings to be

included in dendrochronological investigations. Until recently, timbers from only six pile-dwellings have been investigated: Založnica, Parte, Spodnje mostišče 1 in 2, Hočevarica and Parte-Iščica (Čufar et al. 1997a; 1997b; 1998; Šivic 1997 and unpublished results). Table 3 lists the established chronologies. Those of oak and ash predominated from among them. Založnica was the only site where the timber was not appropriate for dating.

We were able to join the chronologies and then to relatively date the building activities at the Spodnje mostišče 1 and 2 pile-dwellings (Čufar et al. 1997; Čufar et al. 1998). The dendrochronological samples documented from most chronologies were sent to the Heidelberg Academy of Sciences to be radiocarbon dated. The analyses of Dr. Kromer (Čufar et al. 1997b and personal communication) indicate that we may expect a relatively narrow age range for the joined chronology of Spodnje mostišče 1 and 2.

As only a small proportion of wood from each pile-dwelling was sampled, these investigations should be extended.

Analyses of archaeological (Čufar et al. 1998) and modern wood (Pavlič 1997 and unpublished results) indicate that it might be possible to cross-date oak and ash from the same site. Beech and silver fir, which also have a dating potential (Billamboz, personal communication), have been found in considerable amounts only at the Parte Iščica site.

SUGGESTIONS TO ARCHAEOLOGISTS FOR THE APPLICATION OF DENDROCHRONOLOGY

Co-operation between an archaeologist and a dendrochronologist must start in the field, so as to ensure that the correct sampling, storing, and transportation of wood is applied. Following investigations in the laboratory, interdisciplinary co-operation will be necessary for the interpretation of the results.

The suggested procedure for dendrochronological analyses

1. Inspection of wood in the field to estimate its suitability for analyses.
2. Adequate sampling regarding the quantity and orientation of the wood.
3. Adequate storing and transportation of wood.
4. Preparation of the wood for tree-ring analyses.
5. Wood identification.
6. Measurements of tree-ring widths, controls, and analyses of data.
7. Visual comparisons, statistical analyses, cross-dating, and dating.
8. Interpretation of the results.

Generally, individual and small samples cannot be dated. Usually a set of samples from the same time span, containing as many tree rings as possible, is needed to complete the analyses.

Acknowledgements

Our work was funded by the Ministry of Science and Technology of the Republic of Slovenia and by the Restoration Center of the Republic of Slovenia, the Scientific Research Center of the Slovene Academy of Sciences and Arts and the Faculty of Philosophy and Arts, the Department of Archaeology, Ljubljana, Slovenia.

We are thankful to Marco Spurk and Michael Friedrich from Hohenheim and Kurt Nicolussi from Innsbruck for their

help with the reference chronologies, as well as to Bernd Kromer from Heidelberg for radiocarbon dating.

Dr. Katarina Čufar
Oddelek za lesarstvo
Biotehniške fakultete
Večna pot 2
SI-1000 Ljubljana

Dr. Tom Levanič
Oddelek za lesarstvo
Biotehniške fakultete
Večna pot 2
SI-1000 Ljubljana