



## DENDROKRONOLOGIJA IN ABSOLUTNO DATIRANJE KOLIŠČ NA LJUBLJANSKEM BARJU

### DENDROCHRONOLOGY AND ABSOLUTE DATING OF PILE-DWELLINGS IN LJUBLJANSKO BARJE

Katarina Čufar<sup>1\*</sup>, Maks Merela<sup>1</sup>, Luka Krže<sup>1</sup>, Anton Velušček<sup>2</sup>

UDK 630\*561.24:904

Pregledni znanstveni članek / Review scientific article

Prispelo / Received: 20. 6. 2021

Sprejeto / Accepted: 29. 6. 2022

#### Izvleček / Abstract

**Izvleček:** Na 16 koliščih na Ljubljanskem barju v Sloveniji je bilo med leti 1995 in 2021 z arheološkimi izkopavanji zbranih več kot 8.800 vzorcev z vodo napojenega arheološkega lesa. Večina vzorcev je bilo odvzetih iz pilotov, zabitih v zemljo, na katerih so bila zgrajena bivališča. Približno 20 % vzorcev je bilo iz lesa hrasta (*Quercus* sp.) in jesena (*Fraxinus* sp.), z več kot 45 branikami, ki jih je bilo mogoče vključiti v dendrokronološke analize in sestaviti kronologije širin branik za večino najdišč. Datiranje z uporabo dendrokronologije, radiokarbonskega datiranja in metode wiggle matching ter telekonekcije z nemško-švicarsko referenčno kronologijo so omogočili na leto natančno absolutno datiranje hrasta v časovnem okviru 3771–3330 pr. Kr. (kronologija BAR-3330), medtem ko so bili natančni radiokarbonski datumi pridobljeni za kronologije, ki pokrivajo obdobji 3285–3109 ± 14 kal. pr. Kr. (SG-VO) in 2659–2417 ± 18 kal. pr. Kr. (ZA-QUSP1). Potencial kronologij jesena, zlasti tistih iz 3. tisočletja pr. Kr., kjer ta vrsta prevladuje, še ni bil v celoti izkoriščen.

**Ključne besede:** koliščarske naselbine, Ljubljansko barje, neolitik, eneolitik, arheološki les, dendrokronologija, C14 wiggle-matching, absolutno datiranje

**Abstract:** Between 1995 and 2021, archaeological excavations at 16 sites in Ljubljansko barje, Slovenia, collected more than 8,800 samples of waterlogged archaeological wood, mostly from piles driven into the ground on which dwellings were built. About 20% of the samples were from oak (*Quercus* sp.) and ash (*Fraxinus* sp.) trees with more than 45 tree-rings, which could be included in the dendrochronological analyses, and tree-ring chronologies could be established for most sites. Dating by dendrochronology, radiocarbon dating, and wiggle matching, as well as teleconnection with the German-Swiss reference chronology, allowed absolute dating of oak in the time frame 3771–3330 BC (BAR-3330 chronology), while precise 14C dates were obtained for chronologies covering the periods 3285–3109 ± 14 cal BC (SG-VO) and 2659–2417 ± 18 cal BC (ZA-QUSP1). The potential of the ash wood chronologies, especially those of the 3rd millennium BC, when this wood species was predominant, has not yet been fully exploited.

**Keywords:** pile dwellings, Ljubljansko barje, Neolithic, Eneolithic, archaeological wood, dendrochronology, radiocarbon wiggle-matching, absolute dating

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Ljubljansko barje je edino območje z ohranjenimi arheološkimi ostanki prazgodovinskih koliščarskih bivališč, odkritih v Sloveniji. Predstavlja plitvo mokrišče v bazenu tektonskega izvora s površino

163 kvadratnih kilometrov, ki je občasno lahko poplavljen zaradi taljenja snega ali obilnih padavin. Od poznega pleistocena do zgodnjega poznega holocena je območje prekrivalo plitvo jezero.

Prva kolišča je leta 1875 odkril Karl Deschmann v bližini vasi Studenec, zdaj Ig (Leghissa, 2021). Po

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

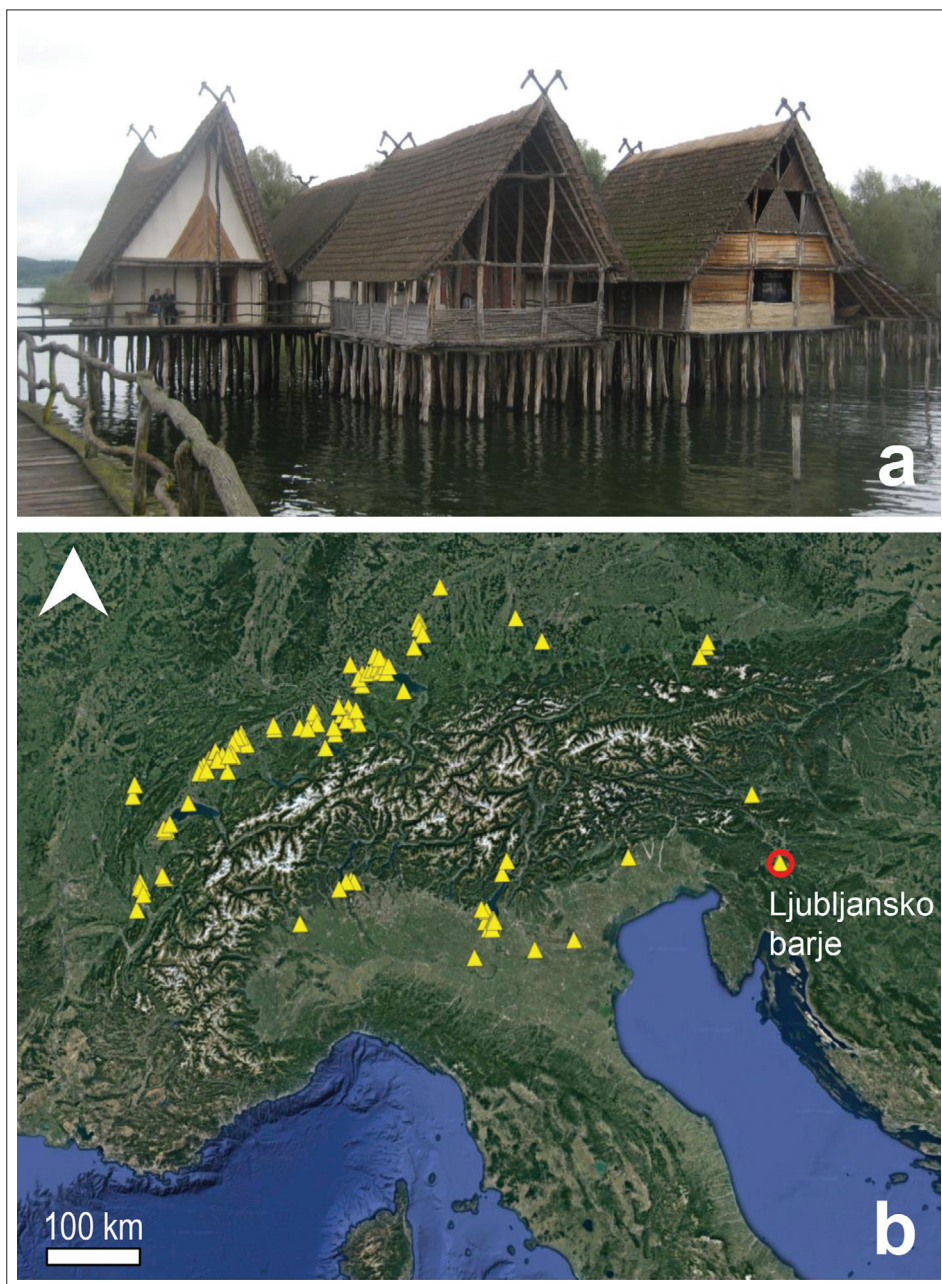
\* e-pošta: [katarina.cufar@bf.uni-lj.si](mailto:katarina.cufar@bf.uni-lj.si); telefon: 01-320-3645

<sup>2</sup> Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Inštitut za arheologijo, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, SLO

odkritju in pionirskih izkopavanjih v letih 1875–1877 je bilo izvedenih več raziskovalnih akcij, npr. 1907–1908 (W. Schmid), 1953–1989 (J. Korošec, T. Bregant) in več akcij po letu 1992 (Velušček, 2019). Leta 2011 je Unesco pomen dveh različnih skupin kolišč iz okolice Iga prepoznal z vpisom na seznam svetovne dediščine (slika 1b) (Unesco, 2022).

Inštitut za arheologijo Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (IA ZRC SAZU) je koordiniral serijo raziskav, ki so se začele leta 1995 in še vedno potekajo.

V tej kampanji so bile uvedene sodobne metode vzorčenja, ki so jih razvili pri raziskavah koliščarskih naselbin na območju Alp. Tu imajo poseben pomen raziskave arheološkega lesa in uvajanje dendrokronologije, ki jo je bilo v Sloveniji potrebno vpeljati za raziskave v arheologiji (npr. Čufar et al., 1999). Interdisciplinarne raziskave so vključevale tudi razvoj palinologije, arheobotanike in arheozoologije ter sodelovanje z drugimi področji, kot so arheometrija, tekstilno inženirstvo, metalurgija, geologija in medicina (npr. Velušček 2004a, 2009).



Slika 1. Koliščarske naselbine: (a) replika kolišča iz 2. tisočletja pr. Kr. v koliščarskem muzeju Unteruhldingen ob Bodenskem jezeru v Nemčiji in (b) lokacije 111 prazgodovinskih koliščarskih najdišč v Alpah iz obdobja od leta 5000 do 500 pr. Kr. na Unescovem seznamu svetovne dediščine. Ljubljansko barje ima najbolj jugovzhodno lego. Zemljevid: Nina Škrk, Google Earth, 2020.

Figure 1. Lake dwellings: (a) replica of a 2nd millennium BC pile dwelling at the Pile Dwelling Museum in Unteruhldingen on Lake Constance in Germany and (b) 111 prehistoric pile dwellings in the Alps dating from 5,000 to 500 BC that are on the World Heritage List UNESCO. Ljubljansko barje has the most southeastern location. Map: Nina Škrk, Google Earth, 2020.



Slika 2. Terensko delo in zbiranje arheološkega materiala na koliščarskih naselbinah na Ljubljanskem barju: (a) sonda, (b) drenažni jarek, (3) dno reke z vidnimi ostanki lesenih pilotov.

Figure 2. Archaeological field work on pile-dwelling settlements to collect archaeological material and wood in Ljubljansko barje: (a) excavation probe, (b) drainage ditch, (3) riverbed with visible remains of wooden piles.

Dendrokronološke raziskave, brez katerih si danes ne moremo zamišljati sodobnih arheoloških raziskav lesa v vlažnih okoljih, so opravili na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF) (npr. Čufar & Velušček, 2012; Čufar et al., 2013; Velušček & Čufar, 2014). Od ustanovitve dendrokronološkega laboratorija leta 1993 so se za ta namen posvetili sestavljanju referenčnih kronologij in proučevanju dendrokronološkega potenciala hrasta in drugih lesnih vrst v Sloveniji (npr. Čufar & Levanič, 1999; Čufar et al., 2008a), ter tudi temeljnimi raziskavam na področju dendroekologije hrasta južno od Alp (npr. Čufar et al., 2014), dendroklimatologije (npr. Čufar et al., 2008b) ter lastnosti in možnosti konserviranja z vodo napojenega arheološkega lesa (npr. Čufar et al., 2002; Čufar et al., 2008c; Balzano et al., 2022), kar je vse prispevalo k celoviti obravnavi lesa in uporabi dendrokronologije v arheologiji.

Po 27 letih dendrokronoloških raziskav na koliščih Ljubljanskega barja je bilo doseženih nekaj pomembnih uspehov, ki še niso bili sistematično predstavljeni domači javnosti. Ob velikem raziskovalnem potencialu tega materiala ostaja tudi več odprtih izzivov. Vse to predstavljamo v tem prispevku.

## 2 MATERIAL IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 ARHEOLOŠKE RAZISKAVE

##### 2.1 ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

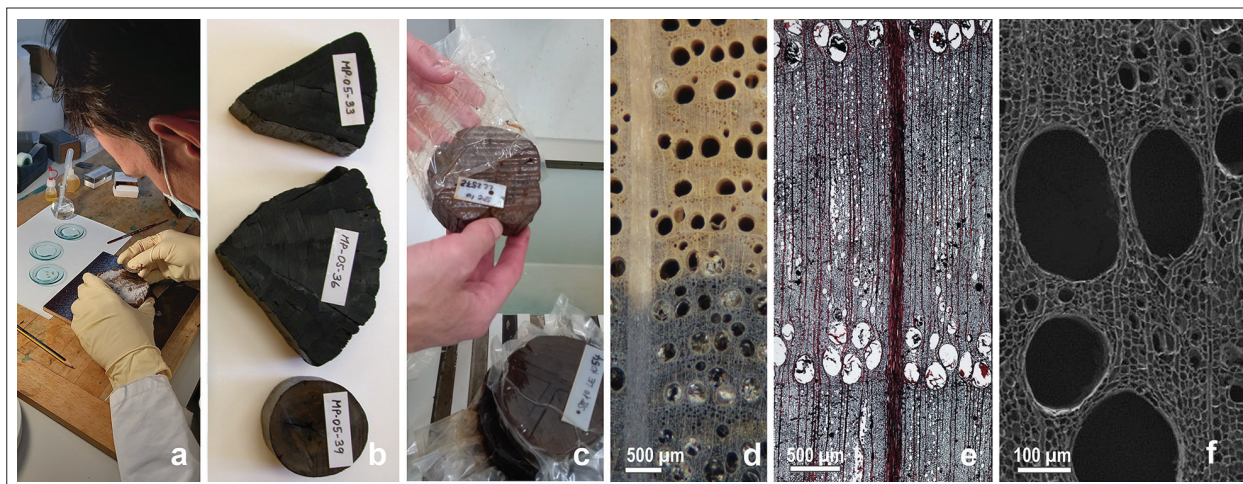
Med leti 1995 in 2021 je bilo na 16 koliščih na Ljubljanskem barju opravljenih 29 izkopavanj in terenskih pregledov, kjer so pridobili les in druge arheološke najdbe (preglednica 1). Vse raziskave, razen na koliščih Črnelnik, Špica in Veliki Otavnik Ib, je vodil Inštitut za arheologijo ZRC SAZU. Na zbranem arheološkem materialu so bile opravljene sistematične interdisciplinarne raziskave (npr. Velušček, 2004a, 2006, 2009, 2020).

Da bi za dendrokronološke analize pridobili zadostno količino lesa, je zbiranje ostankov lesa in drugih najdb potekalo na predhodno izkopanih območjih, v rečnih strugah, drenažnih jarkih in z manjšimi izkopavanji ali vkopi na različnih lokacijah (slika 2). Območje nekaterih kolišč so izkopavali v več etapah (preglednica 1).

#### 2.2 ANALIZE LESA–IDENTIFIKACIJA, DENDROKRONOLOGIJA, RADIOKARBONSKO DATIRANJE

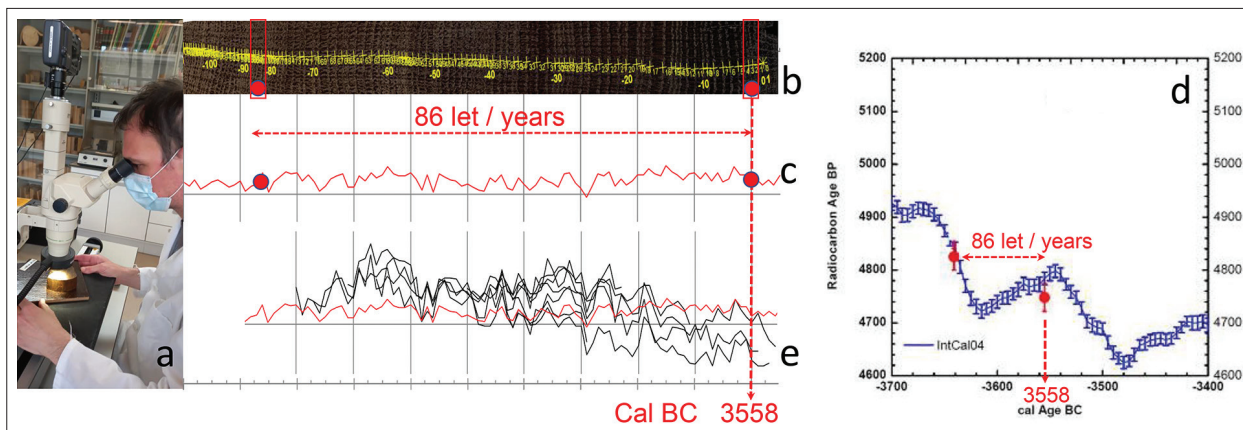
##### 2.2 WOOD ANALYSES–IDENTIFICATION, DENDROCHRONOLOGY, RADIOCARBON DATING

Med leti 1995 in 2021 je bilo zbranih 8829 vzorcev z vodo napojenega arheološkega lesa, večinoma iz pilotov kolišč (preglednica 1). Na Oddelku za lesarstvo smo les obdelali, tako da smo pripravili približno 10 cm debele odrezke s prečnim prerezom. Tako pripravljene vzorce smo globoko zamr-



Slika 3. Delo z arheološkim lesom s koliščarskih naselbin: (a) obdelava površine globoko zamrznjenega vzorca – izdelava preparata za identifikacijo lesa, (b) vzorci pilotov iz celih in cepljenih debel z obdelanimi prečnimi prerezi, (c) priprava arheološkega lesa za skladiščenje v napojenem stanju in vakuumu v zavarjenih polietilenskih vrečkah. Prečni prerez lesa hrasta (*Quercus* sp.) pod: (d) stereo lupo, (e) svetlobnim mikroskopom in (f) elektronskim vrstičnim mikroskopom. (Foto: Andraž Benedik a-e, Angela Balzano f).

Figure 3. Working with archaeological wood from pile-dwelling sites: (a) surface smoothing of a frozen sample – slide preparation for wood identification, (b) pile samples of whole and split logs with smoothed cross-sections, (c) preparation of archaeological wood for storage in water-saturated state under vacuum in polyethylene bags. Cross-section of oak wood (*Quercus* sp.) under (d) stereomicroscope, (e) light microscope, and (f) scanning electron microscope (photos: Andraž Benedik a-e, Angela Balzano f).



Slika 4. Postopek datiranja: (a) merjenje širin branik, les je na merilni mizici pod stereo lupo, (b) oznake širin branik na posnetku lesa, (c) zaporedje širin branik enega kosa lesa z označenimi mesti odvzema dveh vzorcev za radiokarbonsko in wiggle-matching analizo – razlika v starosti je 86 let, (d) kalibriranje radiokarbonskih datumov z metodo wiggle matching in rezultat datacije mlajše branike, (e) zaporedje "c" (rdeča črta) in zapredja širin branik drugih vzorcev iz kolišča (črne črte) v sinhronem položaju, vsi vzorci so datirani.

Figure 4. Dating process: (a) measurement of tree-ring widths of wood on a measuring table under a stereomicroscope, (b) tree-ring widths on the image, (c) recording of the tree-ring series of a sample with the sampling points marked for radiocarbon and wiggle matching analysis – the age difference between two samples is 86 years, (d) the calibration of radiocarbon dates by the wiggle matching method and the result of dating of the last ring, (e) the series of 'c' (red curve) and other samples from the site (black lines) in cross-dated position – all of them are dated.

znili pri temperaturi  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  in nato na zamrznjenih vzorcih zgladili prečno površino za pregled pod stereo mikroskopom in makroskopsko identifikacijo lesa (slika 3a, b, c, d). V kolikor makroskopska identifikacija lesa ni bila mogoča, smo pripravili tanke preparate za mikroskopsko identifikacijo lesa (slika 3e) in jih identificirali ob uporabi standardnih ključev za identifikacijo lesa (npr. Schoch et al., 2004; Čufar, 2006; Čufar & Merela, 2014).

Na vseh vzorcih lesa smo najprej prešteli branine in izmerili oz. ocenili premer debla. Dendrokronološko merjenje širin branik smo opravili na vzorcih hrasta, jesena, bukve in jelke, ki so imeli 45 ali več branik. Sledilo je sinhroniziranje zaporedij širin branik posameznih vzorcev in združevanje v kronologije za posamezno lesno vrsto in koliščarsko naselbino.

Za vsako kronologijo smo iz enega ali več reprezentativnih vzorcev odvzeli les za radiokarbonsko datiranje (Čufar & Kromer, 2004). Ob naraščanju števila radiokarbonskih datumov in dendrokronološki določitvi razlike v številu branik oz. let med radiokarbonsko datiranimi vzorci je bila možna uporaba metode wiggle-matching in bolj natančna umestitev kronologij v čas, v najboljšem primeru  $\pm 10$  let (Čufar et al., 2010).

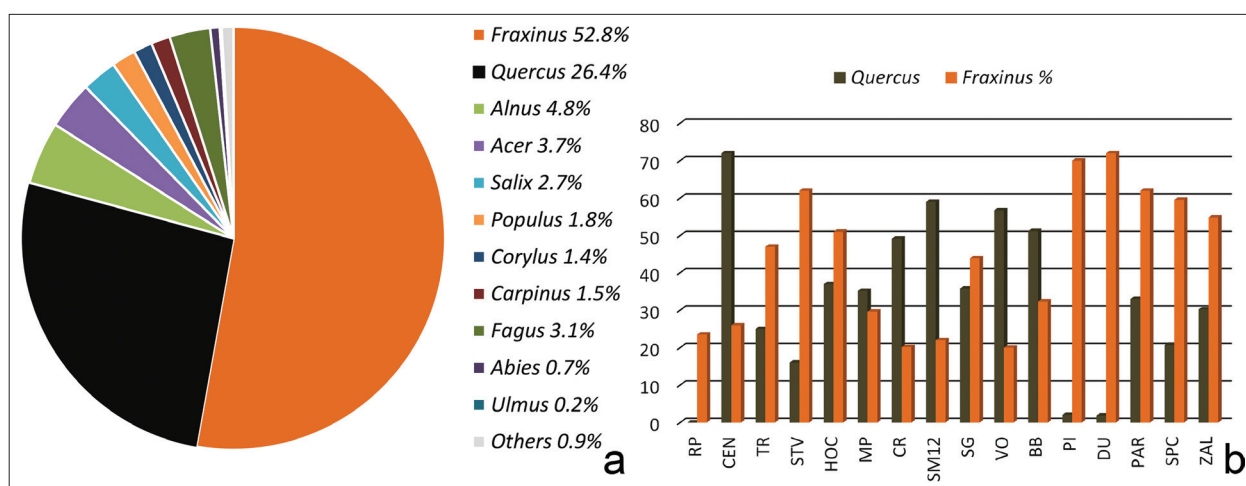
Absolutno dendrokronološko datiranje nam je po 20 letih raziskav uspelo z dendrokronološko telekonekcijo z nemško-švicarsko referenčno kronologijo; tako smo na leto natančno datirali več kronologij iz sredine 4. tisočletja pr. Kr. (Čufar et al., 2015).

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

#### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Med 8829 vzorci arheološkega lesa so bile identificirane vrste lesa veliki jesen (*Fraxinus excelsior*), hrast (*Quercus robur* in *Quercus petraea*), črna jelša (*Alnus glutinosa*), javor (*Acer* sp.), vrba (*Salix* sp.), topol (*Populus* sp.), leska (*Corylus avellana*), beli gaber (*Carpinus betulus*), bukev (*Fagus sylvatica*), jelka (*Abies alba*), brest (*Ulmus* sp.) in posamezni predstavniki drugih vrst (slika 5a) (prim. Čufar & Velušček, 2012).

Nabor in odstotni deleži uporabljenih lesnih vrst so se med kolišči zelo razlikovali (preglednica 1, slika 5b). Jesen je skupno predstavljal dobro polovico vzorcev, hrast dobro četrtino. Hrasta je najmanj na koliščih Resnikov prekop (0 %), Parte-Iščica (2 %) in Dušanovo (2 %), na ostalih koliščih je bil delež hrasta 16–72 %. Odstotni deleži jesena so znašali 20–72 % in so bili največji tam, kjer je bilo hrasta



Slika 5. Izbor lesa na koliščarskih naselbinah: (a) deleži lesnih vrst (rodov), raziskanih med leti 1995-2021 in (b) variiranje deležev vzorcev hrasta (*Quercus*) in jesena (*Fraxinus*) na koliščarskih naselbinah (za pomen kratic in obdobja kolišč glejte preglednico 1).

Figure 5. Selection of wood in the pile-dwelling settlements: (a) proportions of wood species (genera) analysed between 1995-2021 and (b) variation in the proportions of oak (*Quercus*) and ash (*Fraxinus*) samples from the oldest to the youngest pile dwelling (for the meaning of the abbreviations and the time of the dwellings, see Table 1).

*Preglednica 1. Koliščarske naselbine na Ljubljanskem barju: leta izkopavanj, število zbranih vzorcev lesa, odstotni delež vzorcev hrasta (Quercus) in jesena (Fraxinus) ter končni datumi kronologij posameznih kolišč, datiranih s pomočjo dendrokronologije (Dendro), radiokarbonskih analiz (14C) ali metode wiggle-matching (Wiggle).*

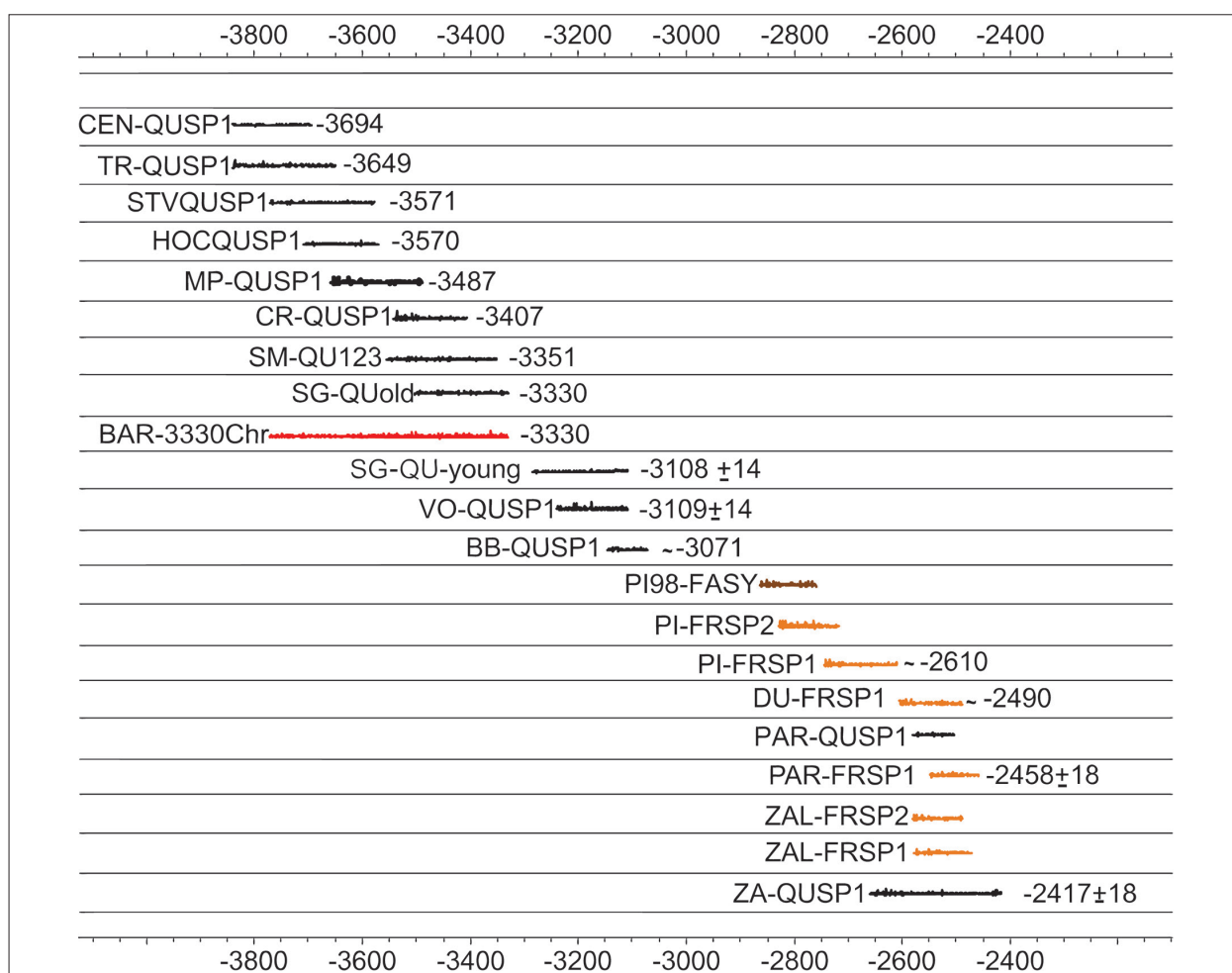
*Table 1. Pile-dwelling settlements in Ljubljansko barje, with years of excavation, number of wood samples collected, percentages of oak (Quercus) and ash (Fraxinus), and end dates of the tree-ring chronologies based on dendrochronology (Dendro), radiocarbon (14C) or radiocarbon wiggle-matching (Wiggle).*

Št. / No.	Kolišče / Site	Koda / Code	Leta izkopavanj / Years of excavations	Število vzorcev / No. of Wood Samples	Quercus % / Quercus %	Fraxinus % / Fraxinus %	Zadnji datum pr.Kr. / End Date BC	Metoda / Dating Method
1	Resnikov prekop	RP	2002	34	0	24	~4600	14C
2	Črnelnik	CEN	2014	39	72	26	3694	Dendro
3	Trebež	TR	2017	83	25	47	3649	Dendro
4	Strojanova voda	STV, SV	2012	351	16	62	3578	Dendro
5	Hočevarica	HOC, HO	1995, 1998	361	37	51	3570	Dendro
6	Maharski prekop	MP	2005	234	35	30	3487	Dendro
7	Črešnja pri Bistri	CR	2003	124	49	20	3407	Dendro
8	Spodnje mostišče	SM1+2	1996, 1997	690	59	22	3351	Dendro
9	Stare gmajne	SG	2002, 2004, 2006, 2007, 2021	984	36	44	3109±14	Wiggle
10	Veliki Otavnik lb	VO	2006	30	57	20	3108±14	Wiggle
11	Blatna Brezovica	BB	2003	170	51	32	~3071	14C
12	Parte-lščica	PI	1997, 1998	1265	2	70	~2610	14C
13	Dušanovo (in Črn graben)	DU, CG	2010, 2013, 2017	305	2	72	~2490	14C
14	Parte	PAR	1996	242	33	62	2458±18	Wiggle
15	Špica	SPC	2009, 2010	2452	21	60	~2450	
16	Založnica	ZAL, ZA	1995, 1999, 2001, 2009	1465	30	55	2417±18	Wiggle

malo. Na vseh koliščih so uporabljali predvsem les listavcev, ki na Ljubljanskem barju in v okoliškem hribovju uspevajo tudi danes. Od iglavcev so občasno uporabili samo jelko in v redkih posebnih primerih tiso (na sliki 5a med ostalimi vrstami), ki smo ju tako kot bukev in brest našli samo na posameznih koliščih (Čufar & Velušček, 2012). Izbor lesnih vrst je bil praviloma odvisen od lege kolišča, če se je to nahajalo bližje jezeru oz. poplavni ravnici ali bližje kraškemu pobočjem na jugu Ljubljanskega barja (Tolar et al., 2011). Na izbor je vplivala tudi razpoložljivost lesa, ki so ga, če je bilo mogoče, posekali v bližini kolišč. Največ dreves za pilote je imelo premer 7–10 cm (Čufar et al., 1999; Out et al., 2020). Če je

bil premer dreves večji od 14 cm, so debela po dolgem razcepili na 4 ali več delov (slika 3b), tako da so pridobljene pilote lahko zabili v zemljo oz. jezersko dno. Čeprav številni viri poročajo, da so prebivalci kolišč zaradi velikih potreb po lesu gospodarili z gozdovi (npr. Bleicher & Staub, 2022), tega do sedaj za Ljubljansko barje še nismo mogli dokazati, kar kaže tudi raziskava, v katero je bila vključena naselbina Stare gmajne (Out et al., 2020).

Le manjši delež (približno 20 %) vzorcev hrasta in jesena je imel 45 ali več branik, kar je bil naš kriterij, da smo jih vključili v dendrokronološke raziskave. V prvi fazi raziskav smo se osredotočili predvsem na hrast, ki je najpogostejši in najpomembnejši les



Slika 6. Časovni razponi glavnih kronologij hrasta (QUSP), jesena (FRSP) in bukve (PI98- FAG) ter končni datumi koliščarskih naselbin (polna imena v preglednici 1). Kronologije, ki se končajo z letom 3330 pr. Kr. ali prej, so datirane z dendrokronološko telekonekcijo in so vključene v kronologijo BAR-3330 (3840-3330 pr. Kr.). Kronologije SG-QU-young, VO-QUSP1 in ZAL-QUSP1 temeljijo na radiokarbonskem datiranju, podprtim z metodo wiggle matching. Za ostale kronologije so končni datumi manj natančni in so večinoma ocenjeni na podlagi enega samega radiokarbonskega datuma.

Figure 6. Time spans of the main chronologies of oak (QUSP), ash (FRSP), and beech (PI98- FAG) and end dates of pile dwellings (see Table 1 for complete names). Chronologies dated to 3330 BC or earlier are dated by dendrochronology (teleconnection) and are included in the chronology BAR-3330 (time span 3840-3330 BC). Chronologies SG-QU-young, VO-QUSP1, and ZAL-QUSP1 are dated by 14C and wiggle matching. For the others, end dates are estimated primarily on the basis of a single radiocarbon date.

v evropski arheologiji in za katerega obstaja mreža dolgih referenčnih kronologij (npr., Baillie, 1995; Haneca et al., 2009; Tegel et al., 2022), ki v nekaterih primerih izkazujejo podobnost (telekonekcijo), tudi če izvirajo iz oddaljenih regij (npr., Čufar & Martinelli, 2004; Čufar et al., 2008a, 2014; Kolář et al., 2012; Wazny et al., 2014).

Za skupino kolišč iz sredine 4. tisočletja pr. Kr. (Strojanova voda, Hočevarica, Maharski prekop, Črešnja pri Bistri, Spodnje mostišče in starejši del najdišča Stare gmajne) smo sestavili hrastove kronologije, ki so se delno medsebojno prekrivale, tako da smo jih lahko združili v 442-let dolgo kronologijo BAR-3330 (slika 6). To kronologijo smo najprej datirali s pomočjo metode wiggle-matching

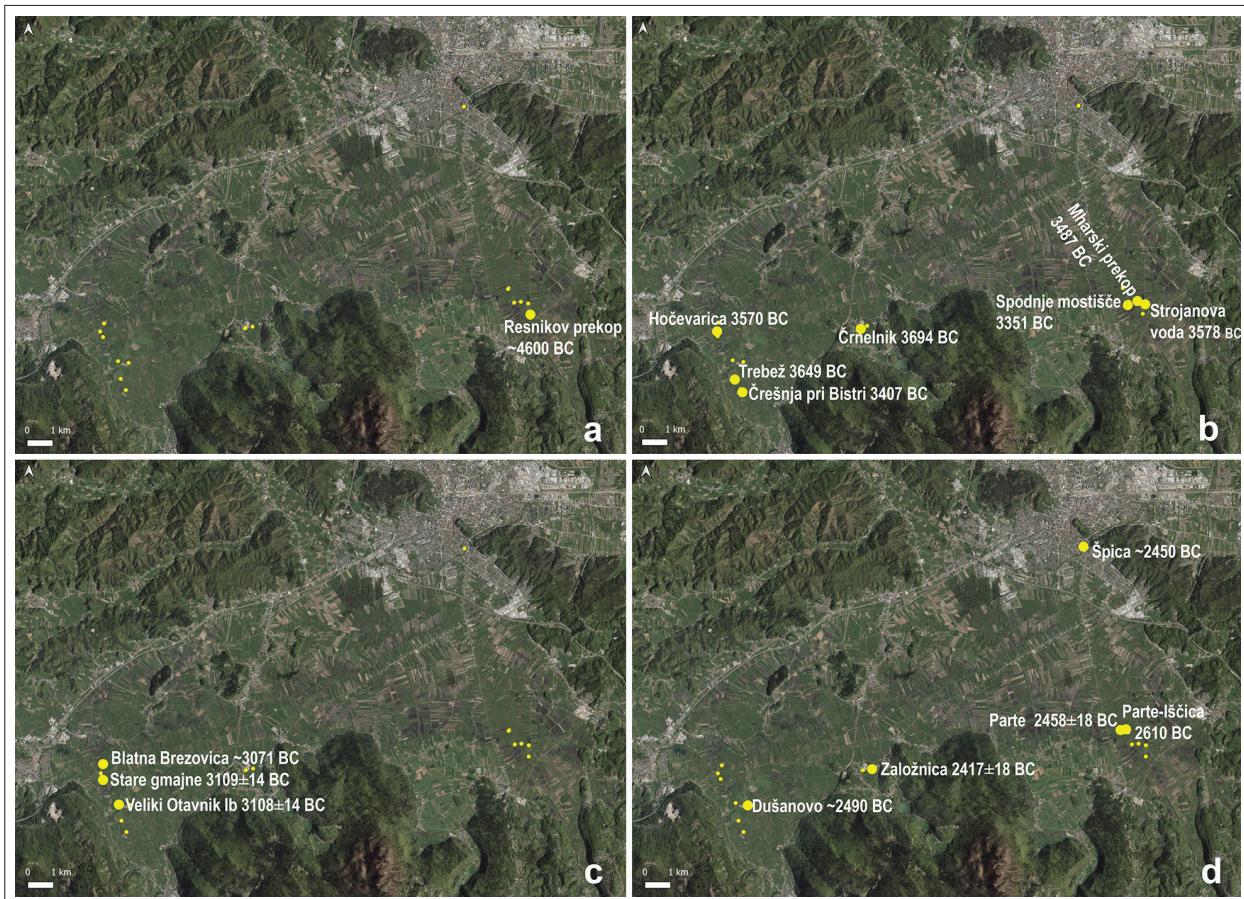
z natančnostjo  $\pm 10$  let (zadnje leto  $3332 \pm 10$  kal. pr. Kr.) (Čufar et al., 2010), v letih za tem, pa je sledilo dendrokronološko datiranje s pomočjo telekonekcije z nemško-švicarsko kronologijo, tako da smo BAR-3330 določili časovni razpon 3771-3330 pr. Kr. (Čufar et al., 2015). Kronologija je v času objave temeljila na 106 sinhroniziranih serijah širin branik lesa iz šestih kolišč, po tem smo raziskali še kolišči Črnelnik in Trebež ter kronologijo podaljšali na 511 let (razpon 3840 – 3330 pr. Kr.) (slika 6).

V tem prispevku (preglednica 1, sliki 6 in 7) za kolišča vedno navajamo zadnji datum kronologije, ki običajno sovпада z zaključkom poseka dreves in s tem gradbenih aktivnosti na kolišču, ki smo jih lahko ugotovili s pomočjo raziskanega lesa. Barje je bilo v različnih obdobjih različno intenzivno po-

seljeno. V grobem lahko obstoj kolišč delimo v štiri časovne skupine (slika 7).

Kronologije s končnimi datumi, mlajšimi od 3330 pr. Kr., so bile datirane samo z radiokarbonskim ujemanjem (wiggle-matching), njihovo dendrokronološko datiranje še ni bilo uspešno. Takšni sta kronologiji Stare gmajne (mlajši del) in Veliki Otavnik Ib–njuna skupna kronologija SG-VO pokriva obdobje  $3285-3108 \pm 14$  kal. pr. Kr.

Za koliščarske naselbine iz 3. tisočletja pr. Kr. na Ljubljanskem barju smo sestavili predvsem jesenove (FRSP) kronologije (preglednica 1, slika 6), saj je bil hrast v tem času redko uporabljen. Edina daljša in dobro pokrita hrastova kronologija za obdobje  $2659-2417 \pm 18$  kal. pr. Kr. je ZALO-QUSP1 iz Založnice.



Slika 7. Ljubljansko barje in mesta raziskanih koliščarskih naselbin: (a) iz 5. tisočletja, (b) iz sredine 4. tisočletja, (c) iz konca 4. tisočletja ter (d) iz 3. tisočletja pr. Kr. Zemljevidi: Nina Škrk, GURS (2021).

Figure 7. Map of Ljubljansko barje and the locations of the investigated pile dwellings: (a) from the 5th, (b) from the middle of the 4th, (c) from the end of the 4th, and (d) from the 3rd millennium BC. Maps: Nina Škrk, GURS (2021).



Ob začetku raziskav je bilo datiranje jesenovih kronologij malo verjetno, danes pa bi sodobne radiokarbonske metode omogočile njihovo datiranje (Capano et al., 2020), vendar ta možnost še ni bila izkoriščena. Dendrokronološko datiranje jesenovih kronologij s hrastovimi referencami s severa Alp ni verjetno, obstaja pa možnost njihovega datiranja s pomočjo hrastovih kronologij iz istega območja (heterokonekcija). Jesenove kronologije so večinoma kratke (slika 6), njihovo variiranje širin branik pa odraža odziv na lokalne razmere in motnje, kot je obvejevanje dreves za prehrano živali. Datacije vseh jesenovih kronologij na Ljubljanskem barju bi zato morali izboljšati. To bi pripomoglo k boljšemu poznavanju poselitev kolišč Dušanovo, Parte in Založnica, ki označujejo konec bakrene dobe na Ljubljanskem barju (Velušček & Čufar, 2003; Velušček et al., 2011). Med mlajša kolišča uvrščamo tudi kolišče Špica, kjer smo pridobili kar 2452 vzorcev, a doslej nismo mogli sestaviti kakovostnih kronologij in podati prepričljivega datiranja lesa.

Prikazani končni datumi kronologij označujejo zadnji (datirani) posek na posameznem kolišču oz. najdišču (preglednica 1, sliki 6 in 7), sicer smo na podlagi datumov sečnje posameznih dreves na večini kolišč lahko določili eno ali več gradbenih faz. Na gradbene dejavnosti in popravila bivališč je bilo mogoče sklepati na podlagi velikega števila dreves, posekanih v istem letu ali v ozkem obdobju nekaj let. Nekatere koliščarske naselbine so bile poseljene več desetletij, medtem ko so druge delovale le 20 let ali manj (npr. Velušček, 2005).

Raziskana koliščarska naselja se (z izjemo najdišča Špica) nahajajo na južnem delu Ljubljanskega barja in tvorijo dve skupini, ki sta med seboj oddaljeni 10-15 km (slika 7). Skoraj v vseh preučevanih obdobjih smo lahko zaznali sočasne gradbene dejavnosti na več koliščih, na primer Strojanova voda–Hočevarica, Spodnje mostišče–Stare gmajne (starejši del) in Parte – Založnica–Dušanovo. V naselbinah, kjer je bila sočasnost dokazana z dendrokronologijo, to potrjujejo tudi skoraj identične arheološke najdbe, kot je na primer keramika, orodje in orožje.

V obdobju, 4600 do 2400 pr. Kr., ko so se na Ljubljanskem barju pojavljale koliščarske naselbine, je bila poselitev večkrat prekinjena. Prekinitve smo zabeležili med približno 4600 in 3700 pr. Kr., med 3300 in 3150 pr. Kr., ter po letu 3100 pr. Kr. Razlogov

za to še ne znamo v celoti pojasniti, verjetno so bile prekinitve poselitve posledica gospodarskih in podnebnih dejavnikov (Velušček, 2004b).

Dendrokronološke ugotovitve se dopolnjujejo z ugotovitvami o materialni kulturi, kjer je bilo na podlagi keramike mogoče razmejiti več kulturnih horizontov oziroma poselitvenih obdobj.

## 4 ZAKLJUČKI

### 4 CONCLUSIONS

Arheološka izkopavanja in raziskave lesa iz koliščarskih naselbin so omogočila datiranje kolišč. Na leto natančno smo lahko ugotovili gradbene dejavnosti (posek lesa) in ocenili trajanje naselitev. Umestitev v čas je omogočila vpogled o domnevnem stanju okolja in gozdnih virov. Izbor in raba lesa nam povesta veliko tudi o življenju, razmišljanju in tehničnem znanju koliščarjev in njihovi rabi okolja (Tolar et al., 2011; Out et al., 2020). Izbera, obdelava in raba lesa so pokazali, da so imeli koliščarji bogato znanje o lesnih vrstah in lastnostih lesa. Znali so na najboljši možni način izbrati, obdelati in uporabiti les iz neposredne okolice naselij ali iz bolj oddaljenih gozdov (Tolar et al., 2011). V drugi polovici 4. tisočletja pr. Kr. so si koliščarji znali izdelati voz, katerega ohranjeni leseni ostanki z najdišča Stare gmajne predstavljajo najstarejše znano kolo z osjo na svetu, ki je mojstrovina prazgodovinske obrti (Velušček et al., 2009). Poleg znanja o lesu so za to potrebovali tudi znanje o materialih, saj so si iz razpoložljivih virov (kamen, les, roženina, baker) morali sami izdelati orodje in ga vzdrževati.

Raziskave lesa so bile le manjši, a bistveni del multidisciplinarnih raziskav, ki so omogočile rekonstruirati celostno sliko človekovega življenja, okolja in povezav z drugimi najdišči. V zadnjih 27 letih raziskav smo preučevali najdišča iz različnih obdobj in z različnimi kulturnimi ozadji. Analize peloda in makrobotaničnih ostankov so pokazale, da so bili najzgodnejši prebivalci kolišč lovci, ribiči in nabiralci, tudi poljedelci in kmetje, ki so vzrejali domače živali (npr. Andrič et al. 2008; Tolar et al. 2011; Toškan et al. 2020).

Obdobje koliščarskih naselbin je povezano z začetki lokalne metalurgije, ki so jo naše raziskave postavile v prvo polovico 4. tisočletja pr. Kr., uporabo arzenovega bakra v 4. tisočletje, antimonovega bakra v začetek 3. tisočletja pr. Kr. (Trampuž-Orel

& Heath, 2008). Raziskovanje pasjega koproilita je omogočilo tudi vpogled v vlogo človekovega prvega živalskega spremljevalca v skupnosti (Tolar et al., 2021; Velušček et al., 2020).

Za prikaz oziroma razumevanje prazgodovinskega vsakdanjega življenja na Ljubljanskem barju je bila pomembna tudi rekonstrukcija tlorisa hiš v koliščarski naselbini Parte-Iščica, ki je potrdila, da je na koliščih stalo več manjših hiš s pretežno usmeritvijo od JZ proti JV (Velušček et al., 2000).

Tematika raziskav arheološkega lesa je objavljena tudi v video posnetkih, filmih in intervjujih, dostopnih na spletu. Predstavljeno je, kako je arheološki les občutljiv, če ga izpostavimo zraku (Drying characteristics, 2014a, b), širša tematika najstarejšega kolesa (Skrivnost barjanskega kolesa, 2015) in druga vprašanja v zvezi z lesom koliščarskih naselbin (Podobe znanja 2016, 2021; Vrhunci slovenske znanosti, 2020).

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

Ljubljansko barje is the only area with preserved archaeological remains of prehistoric pile-dwellings that has been discovered in Slovenia. In 2011, two groups of pile dwellings from the surroundings of the village of Ig were inscribed to the list of "Prehistoric Pile Dwellings around the Alps" on the UNESCO World Heritage List (Figure 1).

We present some results of wood research from the excavations held between 1995 and 2021 and coordinated by the Institute of Archaeology, Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Science and Arts (IA ZRC SAZU). In this campaign particular attention was paid to the collection of archaeological wood and the introduction of dendrochronology, which had to be newly developed in this area (Figures 2, 3, 4). The interdisciplinary approach also included the development of palynology, archaeobotany and archaeozoology, and collaboration with numerous partners from other fields such as archaeometry, textile engineering, etc. (e.g., Velušček 2004a, 2009).

We performed 29 field studies on 16 sites of prehistoric pile dwellings (Table 1). At each of the sites we collected samples of all woody elements, and then conducted wood analysis. The most common species were ash (*Fraxinus excelsior*), oak

(*Quercus robur* and *Quercus petraea*), alder (*Alnus glutinosa*), maple (*Acer* sp.), willow (*Salix* sp.), poplar (*Populus* sp.), hazel (*Corylus avellana*), hornbeam (*Carpinus betulus*), beech (*Fagus sylvatica*), silver fir (*Abies alba*), and elm (*Ulmus* sp.) (Figure 5a, b).

Samples of oak, ash, and beech that contained more than 45 tree-rings were selected for dendrochronological analyses (Čufar & Velušček, 2012; Čufar et al., 2013; Velušček & Čufar, 2014). For each sample and site, the tree-ring series were cross-dated and assembled into floating chronologies (Figure 4, 6). For their dating, we collected representative samples for radiocarbon and wiggle-matching analyses (e.g. Čufar et al., 2010), and to teleconnect them with the existing references of the remote sites.

Oak (*Quercus* sp.) chronologies from the 4th millennium BC could be assembled to form a 442-year long chronology BAR-3330; its time span of 3771-3330 BC was defined with dendrochronological teleconnection (Čufar et al., 2015). The chronology was later extended and is currently 511 years long (time span 3840 – 3330 BC). Other chronologies with end dates younger than 3330 BC were dated using radiocarbon wiggle matching. These are Stare gmajne young and Veliki Otavnik Ib – their combined chronology SG-VO spans the period 3285-3108 ± 14 cal BC.

In the pile dwellings of the 3rd millennium BC in Ljubljansko barje, ash chronologies predominated. Their dating is currently mainly based on one radiocarbon date with lower accuracy and their dendrochronological dating is not very likely. While there exists a possibility to precisely date them by using modern radiocarbon methods supported by dendrochronology, this has not yet been fully attempted. The only longer and well replicated oak chronology of the 3rd millennium BC is the one from Založnica, ZAL-QUSP1, which spans the period 2659-2417 ± 18 cal BC.

The sites of Založnica with Parte and Dušanovo mark the end of the Copper Age at Ljubljansko barje (Velušček & Čufar, 2003; Velušček et al., 2011).

The presented end dates of the chronologies denote the last (dated) felling activity on the sites (Table 1, Figures 6, 7). Based on the felling dates of trees, we were also able to determine construction phases at the dwellings. Building activities or

repairs could be inferred from a large number of trees felled in the same year or within a narrow period of a few years. Some pile-dwelling settlements were occupied for several decades or even longer, while others existed only 20 years or less (Velušček, 2005).

The pile-dwellings from the Ljubljansko barje that were studied using dendrochronology existed in a time frame between ca. 4600 and 2400 BC. During this long period, the occupation of the Ljubljansko barje basin also showed several interruptions, the exact reasons for which remain unknown.

The dendrochronological findings complement each other with the findings on material culture, which helped to propose several cultural horizons delineated on the basis of the pottery.

The introduction of dendrochronology helped to define the time of existence of these cultures, which was a significant achievement for Slovenian prehistoric archaeology. It is now possible to compare absolute dates with all kinds of archaeological finds.

Dendrochronology also helped to obtain reliable dates for specific finds, like the oldest preserved wooden wheel with axle in the world, from the Stare gmajne site, aged around 5,150 years (Velušček et al., 2009).

The use of dendrochronology in the study of pile dwellings in Slovenia provides us with a number of new opportunities to think about various topics, such as prehistoric woodland management, which has been studied by analysing the age and diameter of roundwood from the pile-dwelling site of Stare gmajne (Out et al., 2020). Among other things, this work points to new possible future directions in the study of Ljubljansko barje as an archive of natural and anthropogenic history and human-environment interactions.

## ZAHVALA

### ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskave je financirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, programa P4-0015 in P6-0064. Zahvaljujemo se sodelavkam in sodelavcem ter študentom in študentkam Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani ter Inštituta za arheologijo ZRC SAZU za izjemno pomoč na terenu, v laboratorijih in v vseh

fazah raziskav. Zahvaljujemo se Andražu Benediku in Angeli Balzano za fotografije ter Nini Škrk, ki je pripravila zemljevide. Vsem lepa hvala!

## VIRI

### REFERENCES

- Andrič, M., Kroflič, B., Toman, M. J., Ogrinc, N., Dolenc, T., Dobnikar, M., & Čermelj, B. (2008). Late Quaternary vegetation and hydrological change at Ljubljansko barje (Slovenia). *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 150-165(1/2), 150-165.
- Baillie, M. G. L. (1995). *A Slice through Time*. B.T. Batsford Ltd., London.
- Balzano, A., Merela, M., & Čufar, K. (2022). Scanning electron microscopy protocol for studying anatomy of highly degraded waterlogged archaeological wood. *Forests* 13, 161. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13020161>
- Bleicher, N., & Staub, P. (2022). A question of method and place? A critical reappraisal of the methods of dendroarchaeology, anthracology, archaeobotany and roundwood analysis on the question when systematic woodland management began in Europe. *Quaternary International*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.05.006>
- Capano, M., Martinelli, N., Baioni, M., Tuna, T., Bernabei, M., & Bard, E. (2020). Is the dating of short tree-ring series still a challenge? New evidence from the pile dwelling of Lucone di Polpenazze (northern Italy). *Journal of Archaeological Science*, 121, 105190.
- Čufar, K., & Levanič, T. (1999). Tree-ring investigations in oak and ash from different sites in Slovenia. *Phyton (Horn)* 39 (3), 113-116.
- Čufar, K., Levanič, T., & Velušček, A. (1999). Dendrokronološke raziskave na kolišču Parte-Iščica, Ljubljansko barje, Slovenija = Dendrochronological investigations in the pile dwelling Parte-Iščica, Ljubljana moor, Slovenia. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 58, 165-188.
- Čufar, K., Tišler, V., & Gorišek, Ž. (2002). Arheološki les-njegove lastnosti in raziskovalni potencial = Archaeological wood-its properties and research potential. *Arheološki vestnik* 53, 69-76.
- Čufar, K., & Kromer, B. (2004). Radiokarbonsko datiranje kronologij širin branik s Hočevarice = Radiocarbon dating of tree-ring chronologies from Hočevarica. In: A. Velušček, ed., *Hočevarica, an Eneolithic Pile Dwelling in the Ljubljansko Barje*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 8. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU and Založba ZRC, 281-285, DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545055>
- Čufar, K., & Martinelli, N. (2004). Teleconnection of chronologies from Hočevarica and Palù di Livenza, Italy. In: A. Velušček, ed., *Hočevarica, an Eneolithic Pile Dwelling in the Ljubljansko Barje*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 8. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU and Založba ZRC, 286-289, DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545055>

- Čufar, K. (2006). Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 185.
- Čufar, K., De Luis, M., Zupančič, M., & Eckstein, D. (2008a). A 548-year long tree-ring chronology of oak (*Quercus* sp.) for SE Slovenia and its significance as dating tool and climate archive. *Tree-Ring Research*, 64(1), 3-15.
- Čufar, K., De Luis, M., Eckstein, D., & Kajfež-Bogataj, L. (2008b). Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree-ring series. *International Journal of Biometeorology*, 52, 607-615.
- Čufar, K., Gričar, J., Zupančič, M., Koch, G., & Schmitt, U. (2008c). Wood anatomy, cell-wall structure and topochemistry of waterlogged archaeological wood aged 5,200 and 4,500 years. *IAWA Journal*, 29(1), 55-68.
- Čufar, K., Kromer, B., Tolar, T., & Velušček, A. (2010). Dating of 4th millennium BC pile-dwellings on Ljubljansko barje, Slovenia. *Journal of Archaeological Science*, 37, 2031-2039.
- Čufar, K., & Velušček, A. (2012). Les s koliščarskih naselbin na Ljubljanskem barju in njegov raziskovalni potencial. *Les* 64 (3-4), 49-56.
- Čufar, K., Velušček, A., & Kromer, B. (2013). Two decades of dendrochronology in the pile dwellings of the Ljubljansko barje, Slovenia. In: Bleicher, N., Schlichtherle, H., Gassmann, P., Martinelli, N (Eds.), *Dendro -Chronologie -Typologie -Ökologie*, Festschrift für Andre Billamboz zum 65. Geburtstag. Beier und Beran Verlag, Langenweilbach, 35-40. URL: <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=68590&lang=eng&prip=rul:10847065:r2>
- Čufar, K., & Merela, M. (2014). Anatomija lesa – navodila za vaje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 98.
- Čufar, K., Grabner, M., Morgos, A., Martinez Del Castillo, E., Merela, M., & De Luis, M. (2014). Common climatic signals affecting oak tree-ring growth in SE Central Europe. *Trees*, 28, 1267-1277.
- Čufar, K., Tegel, W., Merela, M., Kromer, B., & Velušček, A. (2015). Eneolithic pile dwellings south of the Alps precisely dated with tree-ring chronologies from the north. *Dendrochronologia*, 35, 91-98.
- Drying Characteristics of Archaeological Waterlogged Wood – Oak, Sok, B. (2014a). URL: [https://www.youtube.com/watch?v=5O3Vbt\\_UiEk](https://www.youtube.com/watch?v=5O3Vbt_UiEk) (20.5.2022)
- Drying Characteristics of Archaeological Waterlogged Wood – Ash, Pirc, G. (2014b). URL: <https://www.youtube.com/watch?v=d-Q2WzgoxdQ> (20.5.2022)
- Google earth [Google Satellite Imagery] (2020). Slovenia, URL: <http://www.earth.google.com> (6.6.2022)
- GURS: Orthophoto DOF050 (2021). Free Access Database, available at URL: [http://www.gu.gov.si/en/services/free\\_access\\_database/](http://www.gu.gov.si/en/services/free_access_database/) (6.6.2022)
- Haneca, K., Čufar, K., & Beekman, H. (2009). Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science* 36(1), 1-11.
- Kolář, T., Kyncl, T., & Rybníček, M. (2012). Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia*, 30(3), 243-248.
- Leghissa, E. (2021). Deschmann's pile-dwelling sites near Ig and the cultural-chronological attribution of the Late Copper Age Ljubljana culture = Kulturna in časovna umestitev poznobakrenodobne ljubljanske kulture na Dežmanovih koliščih pri Igu. *Arheološki vestnik*, 72, 37-52.
- Out, W. A., Baittinger, C., Čufar, K., López-Bultó, O., Hänninen, K., & Vermeeren, C. (2020). Identification of woodland management by analysis of roundwood age and diameter: Neolithic case studies. *Forest Ecology and Forest Management*, 467, 118136.
- Podobe znanja (2016). Čufar, K. (intervjuvanec) (2016). Podobe znanja – prof. dr. Katarina Čufar, lesarstvo. Ljubljana: ARS-3. program Radia Slovenija. Podobe znanja. URL: <http://ars.rtv slo.si/2016/03/podobe-znanja-prof-dr-katarina-cufar-lesarstvo/> (20.5.2022)
- Podobe znanja (2021). Slaček, N. (oseba, ki intervjuva), Čufar, K. (intervjuvanec). „Marsikaj od tega, kar o lastnostih lesa učimo študente na fakulteti, so koliščarji poznali iz izkušenj“: Kako se določa starost lesenih izdelkov iz oddaljenih obdobj, nam je pojasnila prejemnica Zoisovega priznanja prof. dr. Katarina Čufar. Ljubljana: Radiotelevizija Slovenija javni zavod, 2021. 1 spletni vir (1 zvočna datoteka (33 min, 22 sek)). URL: <https://ars.rtv slo.si/2021/01/katarina-cufar/> (20.5.2022)
- Schoch, W., Schweingruber, F. H., & Kienast, F. (2004). Wood anatomy of Central European species. Online version: [www.woodanatomy.ch](http://www.woodanatomy.ch)
- Skrivnost barjanskega kolesa (2015) Čelar, M. (scenarist, režiser). Ljubljana: Radiotelevizija Slovenija javni zavod. 1 spletni vir (1 videodatoteka (85 min, 19 sek)), č-b in barve, zvok. Dokumentarni filmi in oddaje, Izobraževalni program. URL: <https://4d.rtv slo.si/arhiv/dokumentarni-filmi-in-oddaje-izobrazevalni-program/174684852> (20.5.2022)
- Tegel, W., Muigg, B., Skiadaresis, G., Vanmoerkerke, J., & Seim, A. (2022). Dendroarchaeology in Europe. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2022.823622>
- Tolar, T., Galik, A., Le Bailly, M., Dufour, B., Caf, N., Toškan, B., Bužan, E., Zver, L., Janžekovič, F., & Velušček, A. (2021). Multi-proxy analysis of waterlogged preserved Late Neolithic canine excrements. *Vegetation history and archaeobotany*, 30(3), 107-118.
- Tolar, T., Jacomet, S., Velušček, A., & Čufar, K. (2011). Plant economy on a Late Neolithic lake dwelling site in Slovenia at the time of the Alpine Iceman. *Vegetation History and Archaeobotany*, 20, pp. 207-222.
- Toškan, B., Achino, K. F., & Velušček, A. (2020). Faunal remains mirroring social and functional differentiation?: the Copper Age pile-dwelling Site of Maharski prekop (Ljubljansko barje, Slovenia). *Quaternary international*, 539, 62-77.
- Trampuž-Orel, N., & Heath, D. (2008). Copper finds from the Ljubljansko barje (Ljubljana Moor): a contribution to the study of pre-historic metallurgy. *Arheološki vestnik*, 59, 17-29.

- Unesco, prehistoric pile dwellings around the Alps (2022). URL: <https://whc.unesco.org/en/list/1363/> (20.5.2022)
- Velušček, A., Čufar, K., & Levanič, T. (2000). Parte-lščica, archaeological and dendrochronological investigations. *Arheološki vestnik*, 51, 83-107.
- Velušček, A., & Čufar, K. (2003). Založnica near Kamnik pod Krimom on the Ljubljansko barje (Ljubljana Moor): a settlement of the Somogyvár-Vinkovci Culture. *Arheološki vestnik*, 54, 123-158.
- Velušček, A. (ur.). (2004a). Hočevarica: eneolitsko kolišče na Ljubljanskem barju = Hočevarica: an eneolithic pile dwelling in the Ljubljansko barje. (Opera Instituti archaeologici Sloveniae, 8). Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC: 328
- Velušček, A. (2004b). Past and present lake-dwelling studies in Slovenia: Ljubljansko barje (the Ljubljana Marsh). In: F. Menotti, ed., *Living on the lake in prehistoric Europe: 150 years of lake-dwelling research*. London and New York: Routledge, 69-82.
- Velušček, A. (2005). The Kras plateau in southwestern Slovenia and the Ljubljansko barje in the Neo-Eneolithic period: a comparative study. In: A. Mihevc, ed., *Kras: water and life in a rocky landscape*. Ljubljana: Založba ZRC, 199-219.
- Velušček, A. (ur.). (2006). Resnikov prekop: najstarejša koliščarska naselbina na Ljubljanskem barju, (Opera Instituti archaeologici Sloveniae, 10). Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC: 154.
- Velušček, A. (ur.). (2009). Koliščarska naselbina Stare gmajne in njen čas: Ljubljansko barje v 2. polovici 4. tisočletja pr. Kr., (Opera Instituti archaeologici Sloveniae, 16). Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC: 330.
- Velušček, A., Čufar, K., & Zupančič, M. (2009). Prehistoric wooden wheel with an axle from the pile-dwelling Stare gmajne at the Ljubljansko barje. In: A. Velušček, ed., *Stare gmajne pile-dwelling settlement and its era*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 16. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU and Založba ZRC, 197-222.
- Velušček, A., Toškan, B., & Čufar, K. (2011). The decline of pile-dwellings at Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik*, 62, 51-82.
- Velušček, A., & Čufar, K. (2014). Pile-dwellings at Ljubljansko barje. In: S. Tecco-Hvala, ed., *Studia Praehistorica in Honorem Janez Dular*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 30. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU and Založba ZRC, 39-64.
- Velušček, A. (2019). Kolišča na Ljubljanskem barju in UNESCO. V: Djurić, B. (ur.), Teržan, B. (ur.). *Arheološka dediščina Slovenije od osamosvojitve: varovanje in prezentacija: posvet ob evropskem letu kulturne dediščine 2018*, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, I. razred in Slovensko arheološko društvo, 22. november 2018, Ljubljana, Razprave, 38, 69-91.
- Velušček, A. (ur.). (2020). *Arheologija Ljubljanskega barja v mlajši prazgodovini*. SLO: časi, kraji, ljudje, posebna št. Dežela kolišč, 105.
- Wazny, T., Lorentzen, B., Köse, N., Akkemik, Ü., Boltryk, Y., Güner, T., Kyncl, J., Kyncl, T., Nechita, C., Sagaydak, S., & Kamenova Vasileva, J. (2014). Bridging the gaps in tree-ring records: creating a high-resolution dendrochronological network for southeastern Europe. *Radiocarbon*, 56(4) and *Tree-Ring Research*, 70(3), 39-50.
- Vrhunci slovenske znanosti v luči nagrajencev za izjemne dosežke (2020). Dokumentarni film, Dokumentarni filmi in oddaje – izobraževalni program. URL: <https://www.rtv slo.si/rtv365/arhiv/174736192?s=tv> (20.5.2022)

