

Arheološki les - njegove lastnosti in raziskovalni potencial

Katarina ČUFAR, Vesna TIŠLER in Željko GORIŠEK

Izvleček

Raziskali smo osnovne fizikalne in kemične lastnosti arheološkega »mokrega« lesa z Ljubljanskega barja, ki se je ohranil v mokrih tleh ali pod vodo. Vzorci lesa hrasta (*Quercus* sp.), jesena (*Fraxinus* sp.), jelše (*Alnus glutinosa*), bukve (*Fagus sylvatica*) in javorja (*Acer* sp.) so bili ostanki kolov iz prazgodovinskih koliščarskih naselbin iz 3. in 4. tisočletja pr. n. š. Vlažnost lesa nad 500 % in drastičen upad gostote v primerjavi z normalnim lesom kaže na visoko stopnjo razkroja celičnih sten v lesu. Krčenje je močno presehalo krčenje normalnega lesa. Kemične analize arheološkega jesena so pokazale drastično povečan delež lignina in zmanjšan delež celuloze in hemiceluloz. Rezultati predstavljajo osnovo za izbiro primernih načinov ohranitve arheološkega lesa iz Ljubljanskega barja in drugih najdišč v Sloveniji.

Abstract

We studied basic physical and chemical properties of archaeological wood buried in the soil or preserved underwater in the Ljubljana Moor, Slovenia. The wood of oak (*Quercus* sp.), ash (*Fraxinus* sp.), alder (*Alnus glutinosa*), beech (*Fagus sylvatica*), and maple (*Acer* sp.) was selected from vertical piles from 5 prehistoric pile dwellings from the 3rd and from the 4th millennium BC. Moisture content above 500% and a drastic decrease in basic density indicated a very high degree of wood deterioration. Shrinkage was much higher than that in recent wood. Chemical analyses of ash-wood have shown a drastically increased amount of lignin and a reduced amount of cellulose and hemicelluloses. The results present basic knowledge for future planning of proper conservation treatment.

UVOD - ARHEOLOŠKI LES IN NJEGOV POMEN

Ljubljansko barje je naše največje in skoraj edino nahajališče večjih količin lesa iz preteklih obdobij, ki se je ohranil pod vodo ali v mokrih tleh. Najbolj znano je po lesu iz prazgodovinskih koliščarskih naselbin, ki so praviloma ostanki kolov oz. pilotov, ki so jih koliščarji zabili v tla in na njih postavili bivališča. Ker ga je obdeloval in uporabljal človek iz preteklih obdobij, ga imenujemo arheološki les. Ta les je pogosto edini materialni vir za zanesljivo datiranje, pa tudi za preučevanje odnosov med človekom in okoljem ter rekonstrukcijo krajine in klime preteklih obdobij.

Arheološki les, imenovan tudi »mokri les«, je ob odkritju pogosto videti presenetljivo dobro ohranjen, vendar začne vidno propadati če ga izpostavimo sušenju na zraku. Zaradi izsuševanja barja ter poljedelskih in gradbenih posegov vsako leto propade veliko lesa, s tem pa nepovratno izgubljam materialni vir

informacij, ki so morda ključnega pomena za razlago dogajanj v preteklosti.

V letu 1995 smo skupaj z Inštitutom za arheologijo ZRC SAZU začeli sistematično zbirati les za dendrokronološke raziskave (Velušček, Čufar 2002). Poleg lesa iz koliščarskih naselbin smo raziskovali tudi subfosilni les brez vidnih sledov človeške obdelave in les drugih predmetov, kot so prazgodovinski in rimski vodnjaki, prazgodovinski lok itd. Pri delu smo večkrat naleteli na težave zaradi preslabega poznavanja lastnosti lesa. Glavni specifični dejavniki, ki vplivajo na ohranjenost lesa, so še posebnosti nahajališča, starost in vrsta najdbe, lesne vrste itd. Podatki v literaturi so praviloma presplošni za boljše razumevanje konkretne lesene najdbe in napoved optimalnega postopka za njeno ohranitev (prim. Rowel, Barbour 1990).

Na Oddelku za lesarstvo smo se odločili, da sistematično raziščemo nekaj poglavitnih fizikalnih in kemičnih lastnosti lesa iz koliščarskih naselbin na Ljubljanskem barju, ki so ključne za razumevanje

sprememb v lesu in za razvoj postopkov za njegovo ohranitev. Predstavljeni rezultati so osnova za razvoj metod konzerviranja vrednejših lesenih predmetov.

MATERIAL IN METODE

Arheološki les

Les za raziskave smo zbrali na petih koliščarskih naselbinah: Hočevarica, Spodnje mostišče 1 in 2, Parte-Iščica in Založnica, ki so se razlikovale po starosti in nahajališču lesa, bodisi pod vodo ali v mokri zemlji. Vzoredni vzorci lesa so bili uporabljeni za dendrokronološke raziskave (Velušček, Čufar 2002).

v z vodo napojenem stanju in po sušenju do absolutno suhega stanja pri temperaturi 102°C.

Vlažnost je definirana kot masa vode na maso absolutno suhega lesa. Osnovna gostota (R) je definirana s količnikom med maso suhe snovi in volumnom napojenega lesa. Totalni skrček je definiran kot zmanjšanje dimenzij od napojenega do absolutno suhega stanja, preračunana na dimenzije napojenega vzorca.

Za kemične analize smo izbrali les jesena, ki je bil doslej najmanj raziskan in je na Ljubljanskem barju najpogostejši. Arheološki les in recentni les za primerjavo, smo zmelili, osušili, presejali in mu določili količino celuloze, hemiceluloz, lignina in ekstraktivnih snovi. Z mednarodnimi

Tab. 1: Arheološka najdišča na Ljubljanskem barju, kjer smo odvzeli les za raziskave.

Table 1: Archaeological sites in the Ljubljana Moor where wood for analyses was sampled.

Št. / No.	Naselbina / Pile dwelling	Nahajališče lesa / Source of wood	Okvirna starost (leta / Approximate age (years))
1	Hočevarica	Jarek / Drainage ditch	5700
2	Spodnje mostišče 1 in 2	Reka / River	5500
3	Parte-Iščica	Reka / River	4800
4	Založnica	Jarek / Drainage ditch	4500

Metode

Za določitev fizikalnih lastnosti, vlažnosti, gostote in krčenja smo izbrali po 10 vzorcev lesa hrasta (*Quercus* sp.), jesena (*Fraxinus* sp.), bukve (*Fagus sylvatica*), jelše (*Alnus glutinosa*) in javorja (*Acer* sp.). Iz zunanega dela kolotov lesenih pilotov premera 10-20 cm smo izžagali pravokotne anatomsko usmerjene vzorčke velikosti 20 x 20 x 30 mm. Vzorce smo stehali in jim izmerili dimenzije

standardi predpisane analize smo opravili v Laboratoriju za kemijo lesa, ki je ustrezno opremljen za tovrstne raziskave (glej Čufar, Tišler, Gorišek 2001).

Pri vseh opisanih lastnosti lesa je treba poudariti, da so te zelo variabilne. To pomeni, da se lahko od vzorca do vzorca že na istem nahajališču močno razlikujejo. Vse vrednosti, ki jih podajamo, so povprečje vsaj 10 vzorcev. Ker se posamezni vzorec lesa lahko obnaša zelo individualno, so možna tudi precejšnja odstopanja od povprečja.

Tab. 2: Vlažnost (U_A) in osnovna gostota (R_A) arheološkega lesa, osnovna gostota (R_R) in napojitvena vlažnost (U_{max}) normalnega recentnega lesa ter razmerje med gostotama arheološkega in recentnega lesa (R_A/R_R) za jesen (*Fraxinus*), bukev (*Fagus*), jelšo (*Alnus*), javor (*Acer*) in hrast (*Quercus*).

Table 2: Moisture content (U_A) and basic density (R_A) of archaeological wood, basic density (R_R) and maximal moisture content (U_{max}) of normal recent wood, as well as ratio between basic density of archaeological and recent wood (R_A/R_R) of ash (*Fraxinus*), beech (*Fagus*), alder (*Alnus*), maple (*Acer*) and oak (*Quercus*).

Arheološki les / Archaeological wood			Normalni les / Recent wood		
Lesna vrsta / Wood species	Vlažnost / Moisture content	Gostota / Basic density	Napojitvena vlažnost / Maximum moisture content	Gostota / Basic density	
	U (%)	R_A [kg/m^3]	U_{max} (%)	R_R [kg/m^3]	R_A/R_R
<i>Fraxinus</i>	916	102	89	642	15,9
<i>Fagus</i>	837	106	110	567	18,8
<i>Acer</i>	793	118	114	554	21,3
<i>Quercus</i>	589	154	130	508	30,4
<i>Alnus</i>	982	92	238	328	28,2

REZULTATI

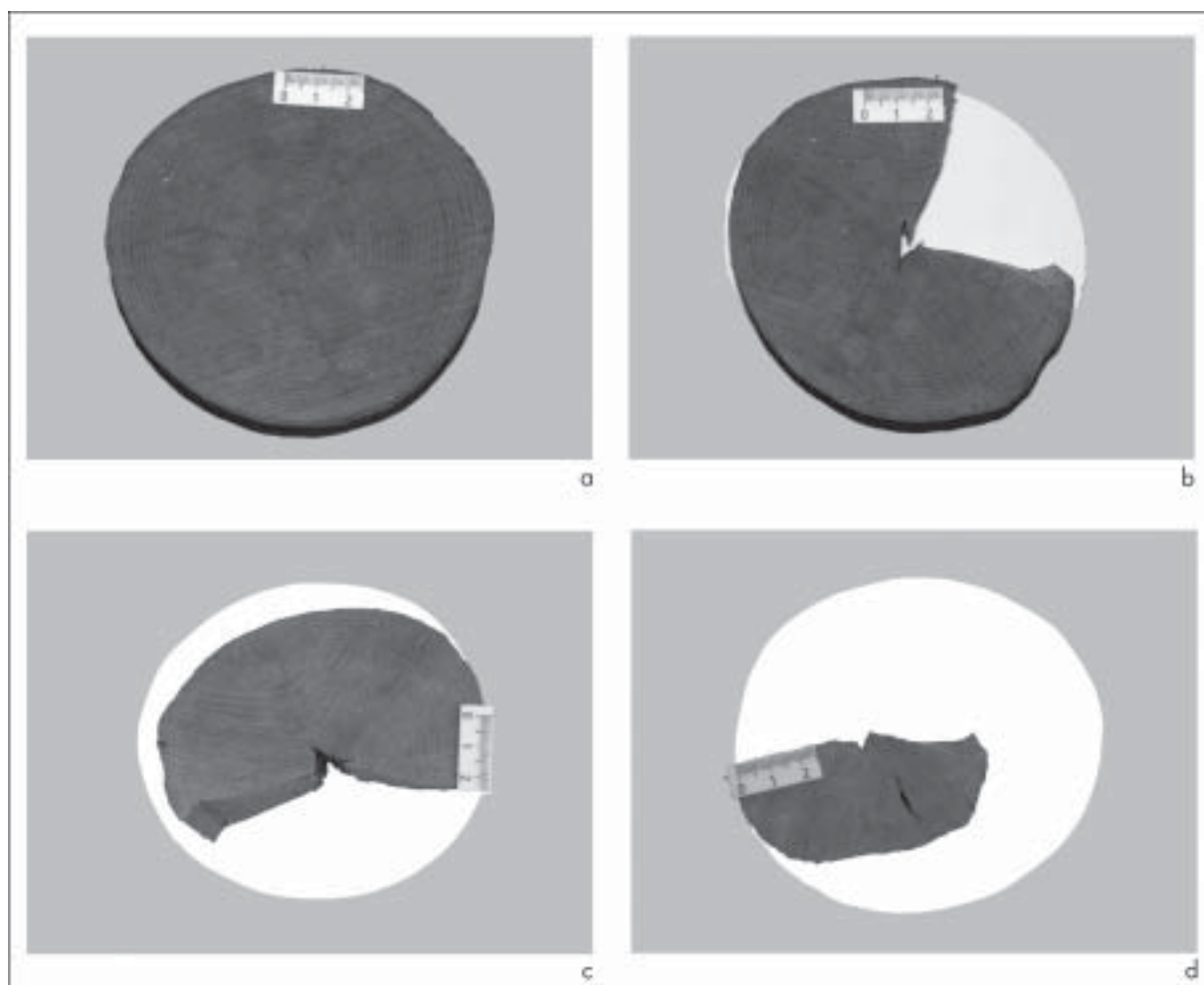
Gostota in vlažnost lesa

Med najenostavnejšimi, vendar dokaj zanesljivimi parametri ocenjevanja stopnje razgradnje lesa, je osnovna gostota (R), definirana s količnikom med maso suhe snovi in maksimalnim volumnom, to je v stanju nasičenja z vodo. V *tabeli 2* so prikazane gostote arheološkega lesa različnih lesnih vrst v primerjavi z vrednostmi, ki veljajo za normalen recentni les.

Gostota arheološkega lesa preiskovanih vrst z Ljubljanskega barja je bila najnižja pri jelševini (92 kg/m^3) in največja pri hrastovini (154 kg/m^3) in je bila v vseh primerih bistveno manjša kot pri normalnem lesu iste vrste. Najmanj se je zmanjšala pri hrastovini, in sicer za 3,3 krat ter največ pri jesenovini, in sicer za 6,3 krat (*tab. 2*).

Vlažnost, izražena z relativnim odnosom med maso vsebovane vode in maso absolutno suhe snovi, je bila od 589 do 982 % in je bila pri vseh lesnih vrstah enaka napojitveni vlažnosti. Največja je bila pri najredkejši jelševini (982 %), najmanjša pa pri najgostejši hrastovini (589 %). V primerjavi z napojitveno vlažnostjo normalnega, t. j. recentnega lesa, je največje razlike opaziti pri jesenovini, najmanjše, morda nekoliko presenetljivo, pa pri jelševini. Za boljše razumevanje naj poudarimo, da ima les 100 % vlažnost po zgornji definiciji takrat ko je masa vode v njem enaka masi čiste lesne substance.

Nizke osnovne gostote in posledično visoke napojitvene vlažnosti kažejo na že dokaj visoko stopnjo razgradnje celičnih sten v lesu in osnovnih lesnih komponent. Višjo gostoto hrastovine pripisujemo temu, da je hrastovina med raziskanimi lesnimi vrstami edina, ki ima naravno trajno jedrovino. Beljava iz perifernege



Sl. 1: Vzorec jesenovega kola, starega 4500 let, premera 12 cm in debeline 7 cm. (a) Vzorec napojen z vodo (vlažnost $u = 900\%$), (b), (c) isti vzorec med sušenjem in (d) vzorec, uravnovešen v normalni klimi (vlažnost $u = 14\%$).

Fig. 1: A disc of a 4500 years old archaeological ash-wood, with diameter 12 cm and thickness 7 cm. (a) Water saturated sample (Moisture Content = 900%), (b), (c) the same sample during drying, and (d) sample equilibrated in normal climate (Moisture Content = 14%).

dela hrastovih debel je bila zelo razkrojena in je nismo preučevali. Poleg hrasta je najmanjši padec gostote doživela jelševina, ki sicer nima naravno trajne jedrovine, vendar slovi po večji obstojnosti pod vodo.

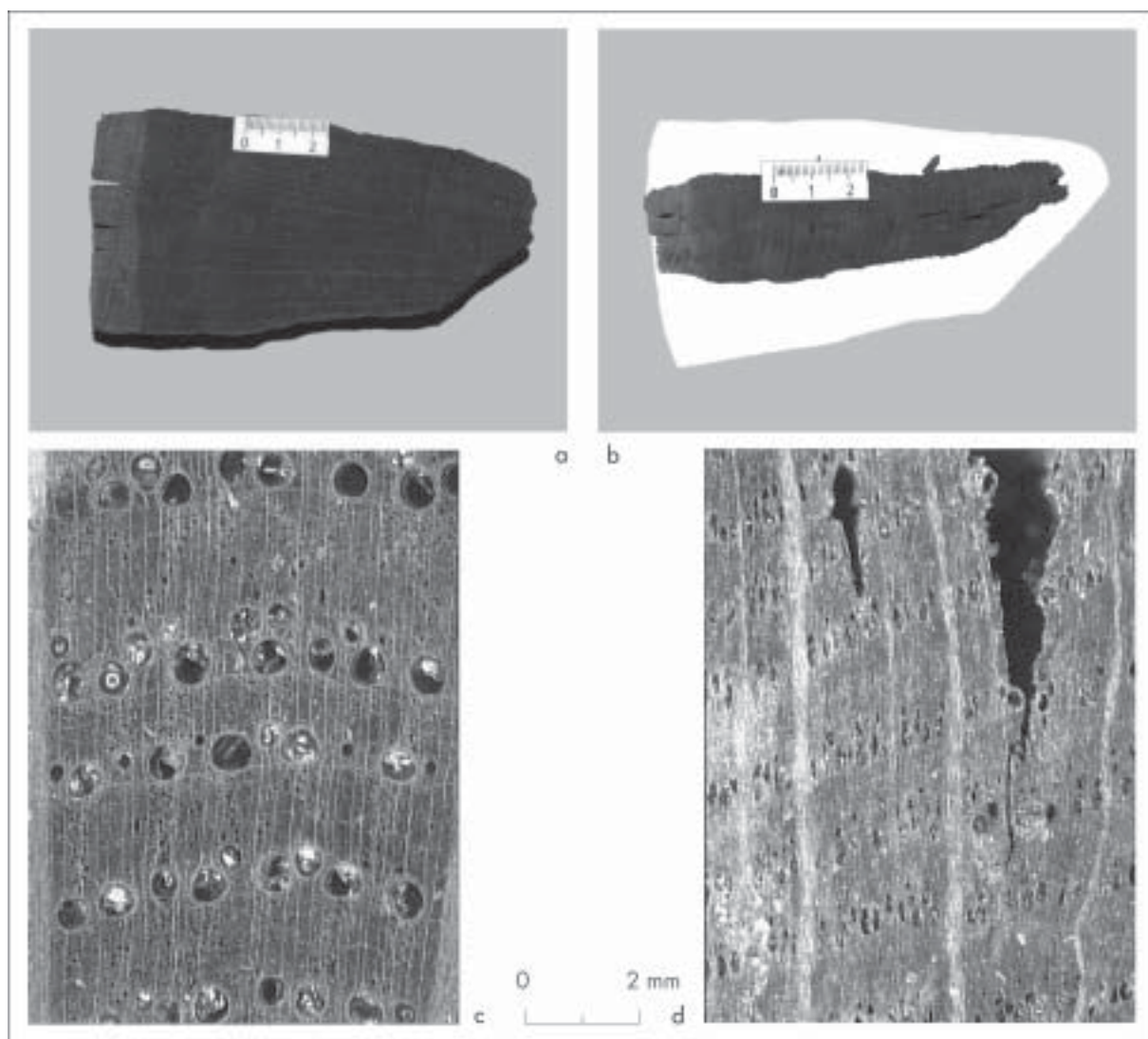
Močno zmanjšanje gostote arheološkega lesa kaže na znatno izgubo mase in veliko razgradnjo lesnih komponent, ki seveda zelo močno vplivajo tudi na zmanjšanje trdnosti lesa.

Krčenje in dimenzijska stabilnost lesa

Prve spremembe na potopljenem lesu, ko ga izvlečemo iz vode, se kažejo v zmanjševanju njegove vlažnosti, ki se po določenem času uravnesi s klimo

okolja. Ravnesna vlažnost arheološkega lesa, dosežena v normalni klimi (pri temperaturi 20°C in relativni zračni vlažnosti 65 %), je v povprečju 14 % in je bistveno nižja od začetne napojitvene vlažnosti, ki je 589-982 %. Tako velika količina izločene vode v postopku sušenja vpliva na znatno krčenje arheološkega lesa. Pri izhajanju vode se pojavijo močne kapilarne natezne napetosti, ki na lesu povzročijo zrušitev celičnih sten oz. kolaps (*sl. 2*). Do porušitve celičnih sten v lesu pride zato, ker so te zelo razkrojene in imajo bistveno zmanjšano trdnost.

Na *sliki 1* je prikazan z vodo napojen kolut arheološke jesenovine premera 12 cm in debeline 7 cm, ki smo ga izpostavili sušenju v normalni klimi. Po dveh dneh je nastala razpoka v smeri radija in je



Sl. 2: Vzorec klanega hrastovega kola, starega 4500 let. (a) Vzorec napojen z vodo in (b) uravnotežen v normalni klimi. Povečana slika celic v lesu (c) v napojenem stanju in (d) kolabiran in razpokan osušen les.

Fig. 2: A sample of split 4500 years old oak pile. (a) Water saturated sample and (b) equilibrated in normal climate. Enlarged image of wood (c) in water saturated state, and (d) dry wood showing collapse of vessels and checking.

prišlo do izrazitega tangencialnega krčenja t. j. v smeri oboda koluta. Ko je vlažnost koluta dosegla ravnovesno stanje z okolico, je bila njegova dimenzija bistveno manjša in oblika popolnoma deformirana.

Slika 2 kaže klani vzorec lesa hrasta, napojenega z vodo, in ta vzorec po uravnovešenju v normalni klimi. Na sliki je vidno predvsem drastično zmanjšanje tangencialne dimenzije vzorca. Vidno je tudi, da je beljava bistveno bolj razkrojena kot jedrovina.

Krčenje lesa v lesni tehnologiji opišemo s totalnimi skrčki (β), ki povedo, koliko se glede na prvotne dimenzije spremenijo dimenzije lesa, če ga sušimo od napojenega do absolutno suhega stanja. Zmanjšanje dimenzij, preračunih na volumen napojenega lesa, izrazimo v odstotkih. Običajno določimo krčenje v tangencialni, radialni in longitudinalni smeri. V *tabeli 3* je prikazanih nekaj volumenskih skrčkov arheološkega in normalnega lesa.

Rezultati kažejo, da se je celotni volumen arheoloških vzorcev zmanjšal za 63-81 % (*tab. 3*), kar je 3 do 7 krat več kot pri normalnem lesu.

Najbolj drastično se je v primerjavi z normalnim lesom spremenilo krčenje v longitudinalni smeri (β_L), ki je pri normalnem lesu praktično zanemarljivo, pri arheološkem lesu pa je bilo do 16 %. Že tako največji tangencialni skrčki normalnega lesa (od 6 do 10 %) narastejo pri arheološkem lesu na 70 %. Sprememba je najverjetneje posledica razgradnje celulozne kristalne strukture v arheološkem lesu.

Med sušenjem tako ne moremo zagotoviti ustreznih dimenzijske in oblikovne stabilnosti arheološkega lesa, zato moramo tak les zadrževati v vlažnostno napojenem ali v zmrznjenem stanju, znani pa so tudi zapolnitveni postopki dimenzijske stabilizacije.

Kemična zgradba arheološkega lesa

Spremenjene lastnosti arheološkega lesa lahko pojasnimo z izgubo snovi v celični steni, pa tudi s kemičnimi spremembami, ki jih je les doživel v tisočletjih

v zemlji ali pod vodo. Raziskali smo deleže glavnih kemičnih komponent jesenovine, ki je v tem pogledu nasploh najmanj raziskana. Dobljeni rezultati dajejo grobo orientacijo tudi za ostale lesne vrste. *Tabela 4* kaže deleže glavnih gradnikov celične stene v arheološkem in normalnem lesu.

Iz tabele je razvidno, da je zgradba arheološkega lesa močno spremenjena v primerjavi z normalnim lesom. V arheološkem lesu daleč prevladuje lignin s približno 70 %, delež celuloze in hemiceluloz pa je za vsako komponento le 7-8 %. Normalen les jesena je vseboval 39,5 % celuloze, 35,8 % hemiceluloz in 26 % lignina, kar se ujema s podatki iz literature (Fengel, Wegener 1989).

Temna barva arheološkega lesa in spremenjena oblika oz. kolaps sta v veliki meri posledica spremenjene in prevladujoče ligninske komponente in pomanjkanja celuloze in hemiceluloz. Možno je tudi, da aromatski obroči, ki lahko vplivajo na spremembo barve, nastanejo iz razgradnih produktov polisaharidov.

Rezultati kažejo, da ni nobene razlike v kemični zgradbi lesa, ohranjenega pod vodo (Spodnje mostišče, Parte Iščica) ali v zemlji (Hočavarica, Založnica). Prav tako nismo mogli dokazati razlik med kemično zgradbo lesa, starega okoli 5500 let (Hočavarica, Spodnje mostišče), in približno 1000 let mlajšega lesa iz kolišč Parte Iščica in Založnica.

RAZPRAVA IN SKLEPI

Predstavljene lastnosti arheološkega lesa so nam v pomoč pri delu na terenu in v laboratorijih. Ugotovili smo, da za les, napojen z vodo, ni bilo nevarnosti, da bi se skrčil, razpokal, razpadel ali se okužil z glivami, če smo ga vedno takoj po odvzemu na terenu neprodušno zaprli v poletilenske vrečke in smo pri delu skrbeli za to, da je ostal napojen z vodo in da

Tab. 3: Volumenski skrček (β_v) arheološkega in normalnega lesa za jesen (*Fraxinus*), bukev (*Fagus*), jelšo (*Alnus*), javor (*Acer*) in hrast (*Quercus*).

Table 3: Volume shrinkage (β_v) of archaeological and recent wood of ash (*Fraxinus*), beech (*Fagus*), alder (*Alnus*), maple (*Acer*) and oak (*Quercus*).

Lesna vrsta / Wood species	Arheološki les / Archaeological wood				Normalni les / Recent wood
	Krčenje / Shrinkage (%)				Volumensko krčenje / Volume shrinkage (%)
	β_v	β_T	β_R	β_L	β_v
<i>Fraxinus</i>	81	70	32	13	12,8-13,6
<i>Fagus</i>	63	53	9	15	14,0-21,0
<i>Acer</i>	82	70	24	16	11,5-11,8
<i>Quercus</i>	71	59	17	16	12,2-15,0
<i>Alnus</i>	71	59	20	14	12,6-14,2

Tab. 4: Kemična zgradba arheološke jesenovine (*Fraxinus* sp.) iz različnih arheoloških najdišč na Ljubljanskem barju v primerjavi z normalno jesenovino.

Table 4: Basic chemical constituents of archaeological ash-wood (*Fraxinus* sp.) from different archaeological sites in the Ljubljana Moor compared with those of recent ash-wood

Vrsta lesa / Wood type	Nahajališče / Source	Celuloza / Cellulose	Hemiceluloze / Hemicelluloses	Lignin / Lignin
Arheološki les / Archaeological Wood	Založnica	8,0	7,1	70,3
	Parte-Iščica	8,0	7,2	69,2
	Spodnje mostišče	7,8	7,4	63,8
	Hočevarica	8,4	7,1	70,1
Normalni les / Recent wood		39,5	35,8	26,0

smo ga vzeli iz vrečk samo za obdelavo in merjenje.

Identifikacijo lesne vrste in gladko obdelavo površin smo po naših izkušnjah lahko opravili le, če smo les predhodno globoko zamrznili. Za merjenje širin branik smo površino izjemoma previdno osušili pri sobni temperaturi, tako da smo lahko pod mikroskopom razločili branike in njihove zgradbene posebnosti. Sušenje površine je smelo praviloma trajati le en dan, sicer je les razpokal, na površini pa so se lahko pojavile plesni.

Po opravljenih analizah smo les takoj ponovno zalili z vodo in ga neprodušno zaprli. Za arhiviranje smo ga vakuumsko zavarili v vrečke iz debelejšega polietilena. Naše izkušnje in izkušnje kolegov iz tujine kažejo, da tako zaščitene lahko hranimo več let in ga po potrebi lahko vedno znova uporabimo za dodatne raziskave. Vsakih nekaj let je priporočljivo preveriti ali je les še napojen z vodo.

Les za radiokarbonske analize ne sme vsebovati kemikalij in mora biti biološko neoporečen (brez okužbe s plesnimi ali glivami). Za konvencionalne radiokarbonske analize potrebujemo približno 30 g suhega lesa. Pri povprečni ohranjenosti lesa iz koliščarskih naselbin to pomeni, da moramo za analize pripraviti vzorec vlažnega lesa, ki ustreza bloku dimenzij 10 x 10 x 3 cm. Datiranje je tem bolj natančno, čim manj branik vsebuje vzorec.

Pri raziskavah lesa iz najdb drugod po Sloveniji smo ugotovili, da je les iz mokrega okolja lahko zelo različno ohranjen in da so lastnosti in ohranjenost lahko zelo različne že znotraj istega kosa. Določitev vlažnosti in gostote lesa se je izkazala kot enostavna metoda za pridobitev prve informacije o njegovem stanju.

V naših laboratorijih nadaljujemo z raziskavami lesa. Za razvoj optimalnih načinov konzerviranja vrednejših predmetov bi bilo v Sloveniji potrebno začeti širše interdisciplinarne raziskave.

Zahvale

Raziskave so potekale ob finančni podpori Ministrstva za šolstvo, znanost in šport republike Slovenije, Restavratorskega centra republike Slovenije, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete in Inštituta za arheologijo ZRC SAZU.

V raziskovalno delo so bili vključeni študentje univerzitetnega študija lesarstva Borut Golja, Franci Kamenšek, Tadej Macura, Damjan Petkovič in Vesna Pintar, ki se jim zahvaljujemo za vztrajno laboratorijsko delo.

Sodelavcem Petru Cundru, Alešu Stražetu in Martinu Zupančiču se zahvaljujemo za vsestransko pomoč in svetovanje pri izvedbi eksperimentov.

ČUFAR, K., V. TIŠLER in Ž. GORIŠEK 2001, Some properties of waterlogged archaeological wood from prehistoric pile dwellings. - V: *ICWSF 2001. The fifth international conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry in Ljubljana, Slovenia 5-7 September 2001*, 25-31, Ljubljana.

FENGEL, D. in G. WEGENER 1989, *Wood Chemistry*

Ultrastructure Reactions. - Berlin, New York.

ROWEL, R. M. in R. J. BARBOUR 1990, *Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*. American Chemical Society. - Advances in Chemistry Series, Washington, DC.

VELUŠČEK, A. in K. ČUFAR 2002, Dendrokronološke raziskave kolišč na Ljubljanskem barju - stanje 2001. - *Arh. vest.* 53, 59-67.

Archaeological wood - its properties and research potential

Summary

The Ljubljana Moor represents Slovenia's largest and, indeed, almost only site of discovery of large quantities of wood from the distant past, which has been preserved underwater or in waterlogged soil. Waterlogged archaeological wood when discovered often appears surprisingly well preserved, although it soon begins to deteriorate visibly if it is left to dry in the air. When the staff of the Department of Wood Science and Technology began dendrochronological research in 1995 together with the Institute of Archaeology, Scientific Research Center of the Slovenian Academy of Science and Art, we decided also to investigate basic physical and chemical properties of the wood from the pile-dwellings in the Ljubljana Moor, which are essential for understanding alterations in the wood and the development of a proper treatment of its preservation.

We collected wood for analysis at five pile-dwelling settlements, Hočevarica, Spodnje mostišče 1 and 2, Parte-Iščica, and Založnica, which differ in the age and whether the wood was preserved underwater or in soil. For determination of physical properties, moisture content (MC), density, and shrinkage, we chose oak (*Quercus* sp.), ash (*Fraxinus* sp.), beech (*Fagus sylvatica*), alder (*Alnus glutinosa*), and maple (*Acer* sp.). For chemical analyses, we chose ash wood, which is the most common waterlogged wood in the Ljubljana Moor and has been little studied to date elsewhere in the world.

The basic density of the archaeological wood of all the analyzed types from the Ljubljana Moor was significantly lower than that of normal wood. It was least reduced in oak (3.3 times), and most in ash (6.3 times). The MC expressed as the relative proportion between the mass of the contained water and the mass of the dry wood was 589% to 982%, and far exceeded the maximal MC of normal water saturated wood. The low basic density and the consequential high MC indicate the fairly high degradation of the archaeological wood.

The first changes in waterlogged wood, when it is taken from water, indicate a reduction in its MC, which after a certain time equilibrates to that of the surrounding climate.

The removal of the water is accompanied by powerful capillary tension, which causes the collapse of the cell walls in the wood. This collapse of the cell walls occurs because they are highly deteriorated and have considerably lessened mechanical properties. The total volume shrinkage of archaeological wood is 63-81%, which is 3 to 7 times higher than in normal wood. In comparison with normal wood, shrinkage changed most in the longitudinal direction, while radial and tangential shrinkage was also increased.

The chemical structure of archaeological wood is greatly changed in comparison with normal wood. Archaeological wood contains predominantly lignin (ca. 70%), while the proportions of cellulose and hemicelluloses are only 7-8% for each component. Normal ash wood contains 39.5% cellulose, 35.8% hemicelluloses, and 26% lignin.

The chemical structure of wood preserved underwater (Spodnje mostišče, Parte-Iščica), and that preserved in soil (Hočevarica, Založnica) did not differ in essentials. Similarly, we could not distinguish a difference between the chemical structure of wood around 5500 years old (Hočevarica, Spodnje mostišče) and approximately 4500 year old wood (Parte-Iščica and Založnica).

Knowledge of the properties of archaeological wood is of help to us both in the field and in the laboratory. To preserve the archaeological wood, after investigations are completed, we should soak it with water and hermetically store it. For archival purposes, we enclose it in a vacuum packed bag of thick polyethylene. Wood protected in this manner can be stored for several years, and if necessary can be reused for research.

If the wood can not be stored in water saturated condition, it is necessary to choose one of the bulking treatments for its dimensional stabilization. Our laboratories are continuing with research into the properties of archaeological wood, but further and broader interdisciplinary research is necessary for the development of optimal means of conserving this important material.

Prof. dr. Katarina Čufar
Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za lesarstvo
Rožna dolina - Cesta VIII/34,
SI-1000 Ljubljana
e-mail: katarina.cufar@uni-lj.si

Prof. dr. Vesna Tišler
Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za lesarstvo
Rožna dolina - Cesta VIII/34
SI-1000 Ljubljana
e-mail: vesna.tisler@uni-lj.si

Prof. dr. Željko Gorišek
Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za lesarstvo
Rožna dolina - Cesta VIII/34,
SI-1000 Ljubljana
e-mail: zeljko.gorisek@uni-lj.si