

# Subfossilno drvo

---

**Bekavac, Ana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:132859>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ana Bekavac  
**Subfossilno drvo**

Završni rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Ana Bekavac  
**Subfossil wood**

Bachelor thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu preddiplomskog sveučilišnog studija Biologija na Botaničkom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom doc. dr. sc. Sare Essert.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Završni rad

## Subfossilno drvo

Ana Bekavac

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Subfossilno drvo ili abonos je drvo koje je više stotina ili tisuća godina odležalo na dnu močvare, rijeke, jezera ili mora pod naslagama šljunka, blata i mulja u anoksičnim uvjetima. Karakteristična crna boja abonosa potječe od kemijske reakcije tanina iz drva i željeza iz vode. Subfossilno drvo ima promijenjena fizikalna i mehanička svojstva, zbog specifičnih uvjeta u kojima je nastajalo. Recentno i subfossilno drvo razlikuju se u sastavu, jer se u subfossilnom drvu tijekom godina smanjivao sadržaj ekstraktivnih tvari i fenolnih spojeva, te se također smanjivao udio ugljikohidrata. Uspoređivanjem sadržaja anorganskih elemenata u subfossilnom i recentnom drvu iste vrste dokazalo se da subfossilno drvo ima veći ukupni sadržaj željeza, kalcija i magnezija, dok recentno drvo ima veći ukupni sadržaj kalija. Sadržaj celuloze u subfossilnom drvu manji je nego u recentnom, dok je sadržaj lignina puno veći u subfossilnom drvu. Gustoće recentne i subfossilne hrastovine slične su, ali pokazalo se da povećanjem starosti abonosa dolazi do povećanja njegove gustoće. Subfossilno drvo ima širok spektar upotrebe, može se koristiti pri izradi jedinstvenih skupocjenih ukrasa, namještaja ili glazbenih instrumenata.

Ključne riječi: subfossilno drvo, abonos, recentno drvo hrasta, mehanička i kemijska svojstva drva

(18 stranica, 5 slika, 4 tablica, 20 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: doc. dr. sc. Sara Essert

# BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Bachelor thesis

## Subfossil wood

Ana Bekavac

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Subfossil wood or abonos is wood that has lain for hundreds or thousands of years at the bottom of a swamp, river, lake or sea under deposits of gravel, mud and silt in anoxic conditions. The characteristic black color of abonos comes from the chemical reaction of tannins from the wood and iron from the water. Subfossil wood has changed physical and mechanical properties, due to the specific conditions in which it was formed. Recent and subfossil wood differ in composition, because the content of extractive substances and phenolic compounds in subfossil wood has decreased over the years, and the proportion of carbohydrates has also decreased. By comparing the content of inorganic elements in subfossil and recent wood of the same species, it was proven that subfossil wood has a higher total content of iron, calcium and magnesium, while recent wood has a higher total content of potassium. The cellulose content in subfossil wood is lower than in recent wood, while the lignin content is much higher in subfossil wood. The densities of recent and subfossil oak are similar, but it has been shown that increasing the age of abonos leads to an increase in its density. Subfossil wood has a wide range of uses, it can be used to make unique expensive decorations, furniture or musical instruments.

Keywords: subfossil wood, abonos, recent oak wood, mechanical and chemical properties of wood

(18 pages, 5 figures, 4 tables, 20 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Asst. Prof. Sara Essert, PhD

## **SADRŽAJ**

<b>1.UVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>2.NASTAJANJE SUBFOSILNOG DRVA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.PRONALAZAK, SKLADIŠTENJE I ODREĐIVANJE STAROSTI SUBFOSILNOG DRVA .....</b>	<b>6</b>
3.1 PRONALAZAK SUBFOSILNOG DRVA .....	6
3.2.SKLADIŠTENJE SUBFOSILNOG DRVA.....	6
3.3.ODREĐIVANJE STAROSTI SUBFOSILNOG DRVA.....	7
<b>4.BOJA SUBFOSILNOG DRVA.....</b>	<b>7</b>
<b>5.USPOREDBA FIZIKALNIH I MEHANIČKIH SVOJSTAVA ABONOSA I RECENTNOG DRVA HRASTA.....</b>	<b>8</b>
5.1 FIZIKALNA SVOJSTVA.....	8
5.1.1 GUSTOĆA.....	9
5.2 MEHANIČKA SVOJSTVA.....	10
<b>6. USPOREDBA KEMIJSKOG SASTAVA SUBFOSILNOG I RECENTNOG DRVA HRASTA. ....</b>	<b>11</b>
<b>7.UTJECAJ BIOTIČKIH ČIMBENIKA NA SVOJSTVA SUBFOSILNOG DRVA HRASTA .....</b>	<b>12</b>
<b>8. UPOTREBA SUBFOSILNOG DRVA .....</b>	<b>14</b>
<b>9.ZAKLJUČAK.....</b>	<b>15</b>
<b>10. LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
<b>11.ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>18</b>

## 1. UVOD

Subfossilno drvo ili abonos je nefossilizirano drvo koje je više stotina ili tisuća godina bilo zatrpano pijeskom, muljem i šljunkom u vodenom mediju, te je zbog anoksičnih uvjeta bilo izloženo sporom procesu humifikacije (Kolar i sur. 2009, Sinković i sur. 2009). Riječ abonos dolazi od grčke riječi ébenos koja označava vrstu tvrdog i teškog drveta. Najčešća drvenasta vrsta koju nalazimo u subfossilnom obliku je hrast, iako i mnoge druge vrste drveća mogu postati abonos npr. brijest, jasen, smreka itd. Najčešća i najpouzdanija metoda datiranja abonosa je metoda radioaktivnog ugljika C<sup>14</sup>. Procesi koji su se zbivali tijekom vremena dok je drvo bilo pod vodom, doveli su do mnogih promjena drveta, te su provedena razna istraživanja kako bi se utvrdile razlike subfossilnog i recentnog drva. Utvrđeno je da se subfossilno drvo razlikuje od recentnog po svom kemijskom sastavu, te raznim fizikalnim i mehaničkim svojstvima. Do tih promjena dolazi zbog brojnih biotičkih i abiotičkih čimbenika koji su utjecali na drvo kroz dugi niz godina (Mankowski i sur. 2016). Subfossilno drvo je specifične tamne boje koja je produkt reakcije tanina u drvu i željeza iz vode. Abonos je vrlo skupocjeno, čvrsto, izdržljivo i trajno drvo, te je zbog toga izrazito cijenjeno. Upotrebljava se za izradu raznih uporabnih i ukrasnih predmeta poput glazbenih instrumenata, brodova, namještaja i nakita. Također se rado koristi u arhitekturi i kiparstvu, jer je svaki komad drva potpuno unikatan.

## 2. NASTAJANJE SUBFOSILNOG DRVA

Subfossilno drvo može nastati na razne načine, a jedan od najčešćih načina je da rijeka meandrirajući potkopa obalu na kojoj raste drveće, ono padne u vodu i rijeka ga povuče za sobom. Drvo često zapne na dnu korita i s vremenom ga prekriju mulj, šljunak i pijesak. Kako drvo sada više nema kontakt s atmosferom, a voda i mulj sprječavaju dopiranje kisika do stabla, njegovo raspadanje biva jako usporeno (Dubravac 2009). Drvo koje je na taj način zakopano u vlažnim i anaerobnim uvjetima u rijekama, močvarama, jezerima ili morima može ostati sačuvano stotinama ili tisućama godina, te na taj način nastaje abonos (van Būrck i sur. 2011). Zbog dugog stajanja u tim specifičnim uvjetima s vremenom dolazi do raznih promjena u svojstvima drva. Različiti čimbenici (položaj stabla u vodi, sastav vode i u njoj otopljenim tvari, duljina boravka u vodi itd.) utječu na konkretna obilježja pojedinog abonosa. Subfossilno drveće najčešće se pronalazi u nizinskim krajevima koji su bogati rijekama i podzemnim vodama.



### **3. PRONALAZAK, SKLADIŠTENJE I ODREĐIVANJE STAROSTI SUBFOSILNOG DRVA**

#### **3.1 PRONALAZAK SUBFOSILNOG DRVA**

Abonos je iznimno rijetko drvo, a u Hrvatskoj i susjednim zemljama najčešće se pronalazi tijekom eksploatacije šljunka iz rijeka ili tijekom reguliranja korita rijeka (Sinković i sur. 2009). Subfosilno drvo ponekad je teško izvući iz muljevitih voda. Za izvlačenje su često potrebni ronionci koji najprije određuju lokaciju stabla, te se nakon toga deblo izvlačiti pomoću zračnih padobrana. Prije izvlačenja potrebno je sav materijal koji se nalazi iznad stabala ukloniti.

Najveći broj abonosa na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine potječe iz Posavine. Ta činjenica ne čudi jer su nizinska područja uz rijeku Savu i njene pritoke idealna staništa za rast šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur*), kojeg najčešće nalazimo u vodenim koritima u subfosilnom obliku. Pronalazak abonosa u Posavskim krajevima doprinosi i shvaćanju klimatske prošlosti Zemlje, jer je najstariji primjerak abonosa pronađen u rijeci Savi između Županje i Orašaja star čak 8290 godina (Lucić 2022). Holocentske obale srednjoeuropskih rijeka prije 10.000 godina također su bile bogate hrastovim šumama te se i na tom području danas pronalaze trupci abonosa (Kolar i sur. 2009).

#### **3.2 SKLADIŠTENJE SUBFOSILNOG DRVA**

Nakon što se drvo abonosa izvuče iz vode zamotava se u plastičnu foliju (Slika 1.) kako ne bi došlo do prebrzog isušivanja koje bi oštetilo drvo (Sinković i sur. 2009). Gustoća i čvrstoća subfosilnog drva u suhim uvjetima svojstva su koja ga čine vrijednim materijalom (Mankowski i sur. 2016). Oprezno skladištenje abonosa nužno je kako ne bi došlo do pucanja zbog naglog isušivanja drva. Radi očuvanja drva vlažnost se održava prskanjem i posebnim postupcima za sprečavanje isušivanja. Prerada abonosa drugačija je od prerade bilo kojeg drugog drva, zbog toga jer abonos ima iznimnu tvrdoću pa se moraju koristiti posebni alati za rezanje (Dubravec 2009).



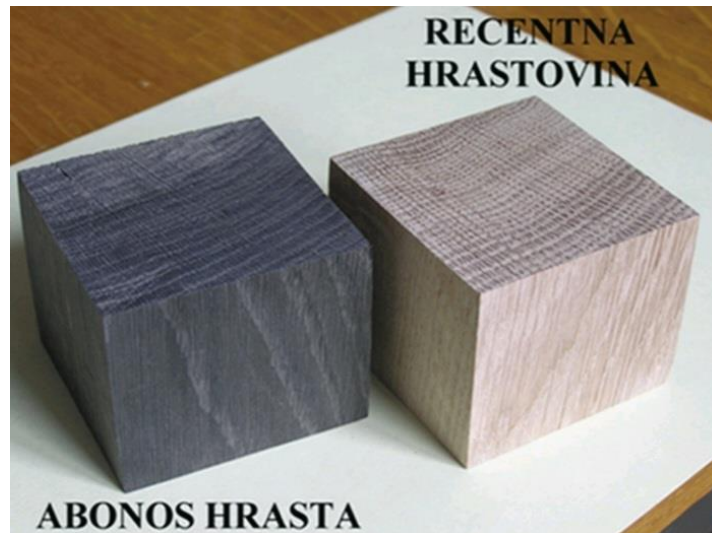
Slika 1. Stabla abonosa izvučena iz vode i obavijena plastičnom folijom (slika preuzeta iz Sinković i sur. 2009)

### 3.3 ODREĐIVANJE STAROSTI SUBFOSILNOG DRVA

Metoda kojom se vrlo efikasno određuje starost subfosilnog drva je C-14 metoda. Metoda se temelji na određivanju starosti materijala organskog porijekla pomoću radioaktivnog izotopa ugljika, C-14. Nakon smrti organizma smanjuje se koncentracija C-14 radioaktivnim raspadom, te je tako moguće odrediti koliko je vremena prošlo od smrti (Hrvatska enciklopedija 2021). Metoda se zasniva na činjenici da je koncentracija C-14 u živim organizmima stalna, jer se konstantnom izmjenom tvari uspostavlja ravnoteža gubitka i unosa C-14 atoma (Kolar i sur. 2009).

### 4. BOJA SUBFOSILNOG DRVA

Jedna od uočljivijih razlika između subfosilnog i recentnog drva iste vrste je njihova boja (Slika 2.). Subfosilno drvo najčešće je puno tamnije od recentnog drva i pojavljuje se u raznim nijansama crne ili tamno smeđe boje. Nijanse ovise o duljini boravka drva u vodenom mediju i o količini željeza otopljenog u vodi. Željezo naime reagira s taninima koji su prisutni u drvu i uslijed toga dolazi do tamljenja drva (Kolar i sur. 2009, Mankowski i sur. 2016). Van Būrck i sur. (2011) napravili su pokus u kojem su subfosilno drvo izvadili iz vode samljeli ga u prah, te su opazili da divovalentno željezo oksidira u  $Fe^{3+}$ . Iz toga su zaključili da je željezo uzeto iz vode bilo u obliku  $Fe^{2+}$  i oksidiralo je tek kada je došlo u kontakt s kisikom iz zraka. Kada se drvo izvuče iz močvare i osuši, kisik prodire u drvo i željezo oksidira.



Slika 2. Prikaz razlike u boji subfosilnog i recentnog drva hrasta (slika preuzeta iz Sinković i sur. 2009)

## **5. USPOREDBA FIZIKALNIH I MEHANIČKIH SVOJTAVA ABONOSA I RECENTNOG DRVA HRASTA**

Abiotički i biotički čimbenici u vodi i mulju djeluju na abonos te mu mijenjaju strukturu i svojstva. Subfosilna stabla hrasta pronađena na različitim lokacijama u Europi pokazuju sličan trend promjene fizikalnih i mehaničkih svojstava, ali ne potpuno isti zbog toga što se hrastovine i prije pada u vodu razlikuju po svojim svojstvima, a različiti su i vodeni uvjeti u kojima se drvo nalazilo prije nego je postalo abonos (Sinković i sur. 2009).

### **5.1 FIZIKALNA SVOJTVA**

Promjenom fizikalnih svojstava ne mijenja se vrsta tvari, nego samo njezin oblik i/ili agregatno stanje. Neka od fizikalnih svojstava su gustoća, topljivost, talište, volumno utezanje itd. Mnoga istraživanja provedena su kako bi se utvrdila razlika između fizikalnih svojstava abonosa i recentnog drva (Sinković i sur. 2009, Kolar i Rybniček 2010, Kolar i sur. 2010, Kranitz i sur. 2016, Manakowski i sur. 2016, Guyette i Stambaugh 2003 i dr.). Sinković i sur. (2009) odredili su sljedeće parametre: gustoća u apsolutno suhom stanju, totalno linearno utezanje u radijalnom i tangencijalnom smjeru i totalno volumno utezanje (Tablica 1).

Tablica 1. Statističke vrijednosti gustoće u apsolutno suhom stanju i totalnog, radijalnog, tangencijalog i volumnog utezanja abonosa i recentog drva hrasta (preuzeto iz Sinković i sur. 2009)

Abonos					Recentno drvo hrasta			
$\rho_o$	$\beta_{r\ max}$	$\beta_{t\ max}$	$\beta_{v\ max}$		$\beta_{v\ max}$	$\beta_{t\ max}$	$\beta_{r\ max}$	$\rho_o$
g/cm <sup>3</sup>	%	%	%		%	%	%	g/cm <sup>3</sup>
217	217	217	217	N	300	300	300	297
0,548	6,5	12,4	19,9	MIN	5,9	3,9	1,9	0,439
0,704	10,5	18,6	27,6	AVE	13,7	9,1	5,1	0,608
0,802	14,4	21,7	31,9	MAX	19,9	13,9	8,4	0,822
0,04483	1,266	1,1963	2,033	STDEV	2,014	1,382	1,026	0,06489
0,00201	1,602	3,853	4,133	VAR	4,056	1,910	1,053	0,00421

Legenda :  $\rho_o$  – gustoća u apsolutno suhom stanju,  $\beta_{r\ max}$  – totalno radijalno utezanje,  $\beta_{t\ max}$  – totalno tangencijalno utezanje i  $\beta_{v\ max}$  – totalno volumno utezanje

Srednja vrijednost gustoće recentne hrastovine u apsolutno suhom stanju manja je za 15,8 % od srednje vrijednosti gustoće abonosa u apsolutno suhom stanju. Srednja vrijednost gustoće kod abonosa u apsolutno suhom stanju doseže vrijednost 0,701 g/cm<sup>3</sup>. Isto tako je i srednja vrijednost utezanja u radijalnom smjeru veća kod abonosa i to za 105,9 %. Srednja vrijednost totalnog utezanja u tangencijalnom smjeru veća je kod abonosa za 104,4 %. Srednja vrijednost totalnog volumnog utezanja recentne hrastovine manja je za 101,5 % od srednje vrijednosti totalnog volumnog utezanja abonosa. Iz srednjih vrijednosti prikazanih u Tablici 1.- možemo zaključiti da su sva određivana fizikalna svojstva abonosa veća od istih tih svojstava kod recentne hrastovine.

### 5.1.1 GUSTOĆA

Na sva fizikalna i mehanička svojstva drva u velikoj mjeri utječe gustoća. Kada uspoređujemo gustoću subfosilnog i recentnog drva hrasta vrijednosti su vrlo slične (Kolar i sur. 2009). Istraživanje provedeno 2022. godine (Rede i sur.) pokazalo je međutim da postoji jaka pozitivna korelacija između starosti abonosa i njihove gustoće.

Najveća gustoća subfosilnog drva može se naći na površini drva zbog toga jer je tamo došlo do okamenjenosti ili do zadebljanja kristalne rešetke celuloze. Kod drva hrasta u vlažnim uvjetima dolazi do promjena kao što su mineralizacija, degradacija uzrokovana anaerobnim bakterijama i hidrolitička degradacija (Mankowski i sur. 2016). Od svih nabrojanih promjena do kojih može doći samo od mineralizacije dolazi do povećanja gustoće drva, dok kod ostalih procesa dolazi do smanjenja (Mankowski i sur. 2016).

## 5.2 MEHANIČKA SVOJSTVA

Odnos drva prema djelovanju određenih vanjskih čimbenika do čega dolazi pri njegovoj uporabi naziva se mehaničkim svojstvom drva. Mehanička svojstva drva su tvrdoća, čvrstoća, modul elastičnosti, rastezljivost i dr.. Provedena su brojna istraživanja mehaničkih svojstva subfosilnog drva (Sinković i sur. 2009, Kolar i Rybniček 2010, Kolar i sur 2014, Kranitz i sur Manakowski i sur 2016, Guyette i Stambaugh 2003 i dr.). Sinković i sur. (2009) su napravili su usporedbu čvrstoće na tlak i statičke čvrstoće recentne hrastovine i abonosa (Tablica 2).

Tablica 2. Statističke vrijednosti statičke čvrstoće na savijanje i čvrstoće na tlak paralelno s vlakancima za abonos i recentnu hrastovinu (preuzeto iz Sinković i sur. 2009).

Abonos			Recentna hrastovina	
$\sigma_{c12}$	$\sigma_{B12}$		$\sigma_{B12}$	$\sigma_{c12}$
MPa	MPa		MPa	MPa
180	59	N	297	297
36,6	80,1	MIN	13,2	13,2
52,3	101,3	AVE	91,4	53,1
67,4	119,7	MAX	131,4	116,7
5,7	9,81	STDEV	19,37	10,205
32,5	96,29	VAR	375,31	104,151

Legenda :  $\sigma_{c12}$  – čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru kod 12 % sadržaja vode i  $\sigma_{B12}$  – statička čvrstoća na savijanje kod 12 % sadržaja vode

Srednja vrijednost čvrstoće na tlak paralelno s vlakancima abonosa iznosi 52,3 MPa, dok srednja vrijednost čvrstoće na tlak paralelno s vlakancima recentne hrastovine iznosi 53,1 MPa. Iz ovih srednjih vrijednosti da se zaključiti da se one značajno ne razlikuju, jer je srednja vrijednost čvrstoće na tlak paralelno s vlakancima abonosa veća za samo 1,5 % od srednje vrijednosti čvrstoće na tlak paralelno s vlakancima recentne hrastovine. Iznos srednje vrijednosti statičke čvrstoće na savijanje recentne hrastovine manji je za 10,8 % od iznosa srednje vrijednosti statičke čvrstoće na savijanje abonosa (Sinković i sur. 2009).

Istraživanje na subfosilnom brijestu starom oko 1300 godina pokazalo je da se vrijednost modula elastičnosti nije značajno promijenila u odnosu na vrijednosti za recentne uzorke (Essert i sur. 2018).

## 6. USPOREDBA KEMIJSKOG SASTAVA SUBFOSILNOG I RECENTNOG DRVA HRASTA

Kada usporedimo sastav subfosilnog i recentnog drva hrasta uočavamo je da se u recentnom drvu hrasta nalazi veći udio celuloze nego u subfosilnom drvu hrasta, dok se veći udio lignina nalazi u abonosu. Sadržaj hemiceluloze smanjivao se u subfosilnom drvu tijekom godina, a sadržaj pepela je rastao. U subfosilnoj hrastovini tijekom godina također se smanjivao sadržaj ekstraktivnih tvari i fenolnih spojeva, te se smanjio udio ugljikohidrata. Subfosilno drvo hrasta ima veći udio kalcija i željeza, dok recentno drvo hrasta ima veći udio kalija (Krutul i sur. 2010). Komponente stanične stijenke koje se najlakše razgrade su pektin i hemiceluloza, dok je lignin mnogo otporniji zbog toga što sadrži fenolne skupine. Lignin služi tome da mikroorganizmi ne mogu prodrijeti kroz njega u ostale dijelove stabla. Sadržaj ekstraktivnih tvari u subfosilnom drvu ovisi u najvećoj mjeri u kakvom se okolišu drvo nalazilo. Veća količina pepela prisutnog u subfosilnom drvu prisutna je zbog taloženja anorganskih elemenata iz tla u drvo (Ghavidel i sur. 2020b). Subfosilno drvo ima puno niži udio hemiceluloze od recentnog drva jer je hemiceluloza najmanje stabilna komponenta, te se ona prva razgradi (Kolar i sur. 2009).

Mnoga istraživanja provedena su kako bi se utvrdila razlika kemijskog sastava subfosilnog i recentnog drva hrasta (Baar i sur. 2020, Krutul i sur. 2010, Kolar i sur. 2010 i dr). Baar i sur. (2020) uspoređivali su tri subfosilna debla hrasta iz različitih razdoblja taloženja i recentno drvo hrasta (Tablica 3 i 4).

Tablica 3. Kemijski sastav subfosilnog drva (A, B, C) i recentne hrastovine (w/w na suhu tvar) (tablica preuzeta iz Baar i sur. 2020)

<b>Komponente</b>	<b>A (drvo staro 3000 godina)</b>	<b>B (drvo staro 2000 godina)</b>	<b>C (drvo staro 1000 godina)</b>	<b>Recentno drvo</b>
Lignin	28,9	29,3	31,5	23,5
Glukoza	50,0	48,4	44,4	55,2
Ksilozna	18,7	18,8	21,2	16,7
Ostalo	2,4	3,5	2,9	4,6
Ugljikohidrati	71,1	70,7	68,5	76,5

Usporedba sadržaja fenolnih spojeva subfosilnog hrasta starosti 3000 godina i hrasta starosti 1000 godina pokazala je da stariji hrast sadrži 60 % manje fenolnih spojeva od mlađeg. Udio ugljikohidrata u subfosilnom drvu hrasta manji je od udjela u recentnoj hrastovini. Sadržaj liginina recentnoj hrastovini puno je manji nego u subfosilnoj hrastovini. Najveći sadržaj ksiloze i lignina sadržavalo je najmlađe subfosilno drvo (starosti 1000 godina).

Istim istraživanjem znanstvenici su također odredili razliku u količini anorganskih elemenata između subfosilnog i recentnog drva hrasta (Tablica 4).

Tablica 4. Anorganski elementi u subfosilnoj (A, B i C) i recentnoj hrastovini izraženo u  $\mu\text{g g}^{-1}$  (tablica preuzeta iz Baar i sur. 2020)

	<b>Ca</b>	<b>Fe</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>K</b>	<b>Si</b>	<b>Ukupno</b>
<b>A</b>	3839 ± 25	2625 ± 13	256 ± 0.3	76.1 ± 0.3	34.0 ± 0.1	31.7 ± 0.02	6521
<b>B</b>	3466 ± 26	1668 ± 15	228 ± 0.9	70.8 ± 0.2	74.9 ± 0.3	53.7 ± 0.07	5214
<b>C</b>	3878 ± 22	1078 ± 5	217 ± 0.8	72.6 ± 0.4	61.5 ± 0.2	56.4 ± 0.3	5343
<b>R</b>	452 ± 9	3.0 ± 0.2	4.6 ± 0.1	27.2 ± 0.4	612 ± 7	26.9 ± 0.3	971

Iz Tablice 4. vidljivo je da je ukupni sadržaj anorganskih tvari 5-7 puta veći kod subfosilnog drva nego kod recentne hrastovine. Subfosilno drvo sadrži veći udio kalcija i magnezija od recentnog drva, dok je najveća razlika između abonosa i recentne hrastovine u udjelu željeza. Subfosilno drvo staro 3000 godina sadrži 1200 puta više željeza od recentnog drva.

## **7. UTJECAJ BIOTIČKIH ČIMBENIKA NA SVOJSTVA SUBFOSILNOG DRVA HRASTA**

Uz ranije spominjane abiotičke čimbenike i biotički čimbenici imaju velik utjecaj na brzinu i smjer promjena kemijskih i fizikalnih svojstva subfosilnog drva (Mankowski i sur. 2016). Biotički čimbenici kao što su mikroorganizmi, insekti, nematode, bakterije i gljive mogu oštetiti strukturu drva. Gljive mogu razgraditi celulozna vlakna, dok bakterije osim što izazivaju truljenje drva također mogu i oslabiti drvo tako da pa dolazi do gubitka njegove čvrstoće (Ghavidel i sur. 2020b).

Postoje tri vrste bakterija koje razgrađuju drvo: bakterije tunela, bakterije erozije i bakterije kavitacije. Drvo počinje propadati u uvjetima u kojima su prisutni voda i kisik, jer u takvim

uvjetima se organizmima koji stvaraju trulež omogućiti metabolizam kemijskih reakcija. Ako se drvo nalazi u uvjetima bez kisika ne dolazi do gljivične truleži drva (Broda i Hill 2021). Biopropadanje drva u uvjetima bez prisutnosti kisika i u uvjetima gdje je drvo natopljeno vodom uzrokovano je bakterijama, dok u uvjetima s više kisika propadanje je uzrokovano gljivama truleži (Ghavidel i sur. 2020b). U anaerobnim uvjetima bakterije koje najčešće uzrokuju razgradnju drveta su bakterije erozije, to su gram negativne štapičaste ili kuglaste bakterije bez bičeva. Bakterije erozije djeluju tako da razgrade celulozu i hemicelulozu iz stanične stijenke i ostavljaju za sobom karakteristične brazde. Bakterije erozije mogu podnijeti anoksične uvjete tako da mogu razgraditi drvo koje je zakopano duboko u sedimentu. Međutim bakterije erozije veoma sporo razgrađuju drvo, te su obično jače degradirani vanjski dijelovi drva. Koliko će netko drvo biti degradirano ovisi o vrsti drva, o dimenzijama, te o tome nalazi li se drvo u slatkovodnim ili morskim uvjetima (Broda i Hill 2021). Bakterije kavitacije i tunelske bakterije također mogu degradirati drvo u uvjetima u kojima je dostupna mala količina kisika. Tunelske bakterije su gram negativne štapičaste ili kuglaste bakterije koje su prisutne u većini kopnenih i vodenih staništa zato jer mogu preživjeti u širokom rasponu životnih uvjeta. Tunelske bakterije tvore kroz drvo razgranate tunele tako da razgrađuju polisaharide i lignin koji su prisutni u primarnoj staničnoj stijenci. Također razaraju i središnju lamelu, te to dovodi do urušavanja i uništavanja cijele stanične stijenke. Kavitacijske bakterije proizvode enzime koji prodiru kroz staničnu stijenku i degradiraju ju čak i na određenoj udaljenosti od same bakterijske stanice (Broda i Hill 2021).

Gljive meke truleži mogu razgraditi drvo u vodenom okolišu. Meka trulež može razoriti sve komponente stanične stijenke. Meka trulež može vrlo lako razgraditi celulozu i hemicelulozu, te također može modificirati lignin. Gljive meke truleži mogu degradirati drvo koje je natopljeno vodom u širokom rasponu pH vrijednosti, ali meka trulež prestaje razgrađivati drvo kada se smanji dostupnost kisik, a to se dešava kada drvo prekrije veća količina sedimenta.

Zbog toga što sve bakterije i gljive koje razgrađuju drvo imaju različite obrasce destrukcije drva ti obrasci mogu biti uočeni u drvu. To nam može dati uvid u povijest nekog predmeta načinjen od tog drva, a možemo saznati i neke informacije o okolini u kojoj se nalazilo stablo dok je bilo natopljeno vodom. Ako se dokaže da su bile prisutne tunelske bakterije to nam govori da se drvo nalazilo u uvjetima sa prisutnom dovoljnom količinom kisika. Vanjski dijelovi drva obično pokazuju obrasce djelovanja gljiva meke truleži i tunelskih bakterija, a unutarnji dijelovi drva



pokazuju obrazac razgradnje erozijskih bakterija zato što one mogu djelovati i u uvjetima bez prisutnosti kisika (Broda i Hill 2021). Problem koji nastaje nakon destrukcije drva mikroorganizmima je taj što drvo gubi svoju čvrstoću. Dok se drvo još nalazi pod vodom održana mu je cjelovitost, no kada se izvuče iz vode i osuši dolazi do skupljanja i pucanja drva. Moguće je zaštititi drvo od pucanja pomoću odgovarajućih sredstva za konzerviranje. Kako bi sačuvali drvo koje je prošlo određeni stupanj destrukcije postoje razne metode koje sprječavaju kolaps drva poput punjenja drva impregnacijom ili razne metode sušenja drva kao što su metoda sporog sušenja na zraku ili sušenje smrzanjem. Drvo koje se nalazi u vodenom okruženju u uvjetima bez prisutnosti kisika može tamo ostati desetke tisuća godina jer u takvim uvjetima može doći do bakterijske razgradnje hemiceluloze, ali ne i lignina (Broda i Hill 2021).

## **8. UPOTREBA SUBFOSILNOG DRVA**

Abonos ima širok spektar upotrebe i često se koristi u kiparstvu, arhitekturi (knjižnica franjevačkog samostana u Tolisi) i u izradi namještaja (Slika 3-5). Subfosilno drvo koristi se i za izradu ukrasnih predmeta, glazbenih instrumenata, brodova, suvenira, ogledala, nakita i raznih umjetničkih djela.

Upotreba abonosa za izradu dragocjenih i skupocjenih predmeta veoma je popularna zbog toga jer je svaki predmet potpuno unikatni i raznolik u svojoj boji i smjerovima godova. Prilikom izrade predmeta od abonosa poštuje se oblik i struktura drveta, te se ističe ljepota nesavršenosti. Abonos je osim zbog estetike vrijedna sirovina i zbog svoje rijetkosti, starosti i trajnosti (Sinković i sur. 2009).



Slika 3. Unikatne stolice od abonosa (slika preuzeta iz Dubravec 2009)



Slika 4. Unikatni stol od abonosa (slika preuzeta iz Dubravec 2009)



Slika 5. Unikatna škrinja od abonosa (slika preuzeta iz Dubravec 2009)

## 9. ZAKLJUČAK

Abonos ili subfossilno drvo je nefossilizirano drvo koje je više stotina ili tisuća godina provelo u vodenim anoksičnim uvjetima pod muljem, pijeskom i šljunkom. Najčešće se otkrije slučajno prilikom vađenja šljunka iz rijeka, no poznati su i primjerci iz jezera, mora, riječnih rukavaca i dr. Drvo koji se dugi niz godina nalazilo u tim specifičnim uvjetima poprima vrlo cijenjenu specifičnu crnu boju, koja nastaje kao posljedica reakcije između tanina u drvu i željeza iz vode.

Fizikalna i mehanička svojstva recentnog i subfossilnog drva se razlikuju, jer dolazi do brojnih promjena uslijed djelovanja biotičkih i abiotičkih čimbenika u specifičnim uvjetima u kojima drvo provodi više stotina godina. Istraživanja su pokazala da su vrijednosti totalnog utezanja u

radijalnom i tangencijalnom smjeru kao i vrijednosti volumnog utezanja i statičke čvrstoće veća kod abonosa nego kod recentnog drva. Gustoća je slična između recentne hrastovine i subfosilnog drva hrasta, no s povećanjem stoljeća u kojima abonos biva potopljen i pod utjecajem specifičnih uvjeta gustoća lagano raste. Sadržaj celuloze u subfosilnom hrastovom drvu manji je nego u recentnoj hrastovini, dok je sadržaj lignina puno veći u subfosilnom drvu. Udio pepela u subfosilnom drvu veći je od recentnog drva zbog taloženja anorganskih elemenata iz tla u drvo. Abonos sadrži veći ukupni sadržaj anorganskih tvari, a najveća razlika je u sadržaju željeza koja je kod abonosa veća za 1200 puta od recentnog drva.

Kada se abonos nalazi u gotovo anoksičnim uvjetima u vodi može doći do destrukcije drva uzrokovane bakterijama (tunelske, kavitacijske i erozijske bakterije), a ako se abonos nalazi u uvjetima gdje ima više kisika može doći do truljenja uzrokovanog gljivama meke truleži. Srž subfosilnog drva u većoj mjeri je degradirana od ostalih slojeva drva, jer gljive koje stvaraju trulež u najvećoj mjeri uzrokuju destrukciju srži drva.

Abonos predstavlja prirodnu vrijednost i izrazito je cijenjeno drvo, jer osim što se koristi za izradu veoma skupocjenih predmeta, može nam zbog svoje starosti pomoći i u shvaćanju klimatske prošlosti Zemlje.

## 10. LITERATURA

1. Baar, J., Paschová, Z., Hofmann, T., Kolář, T., Koch, G., Saake, B., & Rademacher, P. (2020). Natural durability of subfossil oak: wood chemical composition changes through the ages. *Holzforschung*, 74(1), 47-59.
2. Broda, M., & Hill, C. A. (2021). Conservation of waterlogged wood—past, present and future perspectives. *Forests*, 12(9), 1193.
3. Christiernin, M., Notley, S. M., Zhang, L., Nilsson, T., & Henriksson, G. (2009). Comparison between 10,000-year old and contemporary spruce lignin. *Wood science and technology*, 43(1), 23-41.
4. Dubravec, T. (2009). Unikatni namještaj od abonosa star 6000 godina, Hrvatske šume, 149, 31-32.
5. Essert, S., Rede, V., & Švagelj, Z. (2018). The bending modulus of elasticity of subfossil elm wood. *Wood Res*, 63, 239-248.

6. Ghavidel, A., Hosseinpourpia, R., Militz, H., Vasilache, V., & Sandu, I. (2020a). Characterization of Archaeological European White Elm (*Ulmus laevis* P.) and Black Poplar (*Populus nigra* L.). *Forests*, *11*(12), 1329.
7. Ghavidel, A., Hofmann, T., Bak, M., Sandu, I., & Vasilache, V. (2020b). Comparative archaeometric characterization of recent and historical oak (*Quercus* spp.) wood. *Wood Science and Technology*, *54*(5), 1121-1137.
8. Guyette, R. P., & Stambaugh, M. (2003). The age and density of ancient and modern oak wood in streams and sediments. *IAWA journal*, *24*(4), 345-353.
9. Kolář, T., & Rybníček, M. (2010). Physical and mechanical properties of subfossil oak (*Quercus* sp.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *58*(4), 123-134.
10. Kolář, T., Rybníček, M., & Premyslovska, E. (2009). Dating and properties of subfossil oak wood. *Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, *8*, 136-144.
11. Kolář, T., Gryc, V., Rybníček, M., & Vavrčík, H. (2012). Anatomical analysis and species identification of subfossil oak wood. *Wood research*, *57*(2), 251-264.
12. Kránitz, K., Sonderegger, W., Bues, C. T., & Niemz, P. (2016). Effects of aging on wood: a literature review. *Wood Science and Technology*, *50*(1), 7-22.
13. Krutul, D., Radomski, A., Zawadzki, J., Zielenkiewicz, T., & Antczak, A. (2010). Comparison of the chemical composition of the fossil and recent oak wood. *Wood Res*, *55*, 113-120.
14. Mańkowski, P., Kozakiewicz, P., & Drożdżek, M. (2016). The selected properties of fossil oak wood from Medieval Burgh in Płońsk. *Wood Res*, *61*(2), 287-298.
15. Rede, V., Essert, S., Kocijan, M., & Dubravac, T. (2022). Influence of Ageing on Abrasion Volume Loss, Density, and Structural Components of Subfossil Oak. *Applied Sciences*, *12*(4), 1814.
16. Sinković, T., Govorčin, S., Dubravac, T., Roth, V., & Sedlar, T. (2009). Usporedba tehničkih svojstava abonosa i recentnog drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šumarski list*, *133*(11-12), 605-610.
17. Straže, A., Dremelj, M., Žveplan, E., & Čufar, K. (2018). Changes in physical properties of oak wood from historical constructions during service life. *Les/Wood*, *67*(1), 5-14.

18. van Būrck, U., Wagner, F. E., & Lerf, A. (2011). Mössbauer studies of subfossil oak. *Hyperfine Interactions*, 208(1), 105-110.

### **Internetski izvori**

1. Lucić, Z. (2022). Jeste li znali?: Abonos – zlato iz Save. <https://zupanjac.net/abonos-zlato-iz-save/>, (pristupljeno 21. 9. 2022.)
2. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje.* (2021). Radioizotopno datiranje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51486> (pristupljeno 21. 9. 2022.)

## **11. ŽIVOTOPIS**

Zovem se Ana Bekavac i rođena sam 29. 8. 1998. godine u Zagrebu. U periodu od 2013. do 2017. godine pohađala sam X. gimnaziju “ Ivan Supek“ (opća gimnazija). Po završetku opće gimnazije upisala sam preddiplomski studij Geologije na Prirodoslovno- matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Kroz godinu dana koju sam provela na geologiji shvatila sam da je moj životni poziv zapravo biologija i odlučila sam upisati preddiplomski studij Biologije na Prirodoslovno- matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.