

Zbornik gozdarstva in lesarstva 98 (2012), s. 27 - 38

GDK: 891:811(045)=163.6

Prispelo / Received: 06. 08. 2012

Sprejeto / Accepted: 19. 11. 2012

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

KARAKTERIZACIJA ANATOMSKE ZGRADBE IN OSNOVNIH FIZIKALNIH LASTNOSTI VELENJSKEGA KSILITAŽeljko GORIŠEK¹, Katarina ČUFAR², Aleš STRAŽE³

Izvleček

Ksilit je litotip lignita, ki ga poznamo predvsem kot kurivo. Les, iz katerega je nastal, je v obdobju skoraj dveh milijonov let doživel drastične spremembe, struktura lesa pa je delno še prepoznavna. Ksilit po videzu pogosto spominja na lesne vrste s temno jedrovino. Opravili smo karakterizacijo ksilita z vidika anatomije lesa, iz katerega je nastal, raziskali njegovo ohranjenost in določili osnovne fizikalne značilnosti. Prepoznali smo osnovno tkivo iz traheid, enoredno in homocelularno trakovno tkivo, taksodioidne piknje v križnih poljih in obilico aksialnega parenhima z vključki. To nakazuje, da je ksilit nastal iz lesa golosemenk (iglavcev) iz družine Taxodiaceae (taksodijevke) ali Cupressaceae (cipresovke). Barvnometrično je ksilit v sistemu CIELab* primerljiv z jedrovino lesa ebenovine ali wengeja. Proučeni ksilit je imel gostoto v absolutno suhem stanju 1216 kg/m³, zaradi velikega volumenskega skrčka (v povprečju 28.2 %) pa je bila srednja osnovna gostota samo 873 kg/m³. Celotni linearni skrčki so veliki, kar se kot posledica kaže v neugodnih kazalnikih dimenzijske stabilnosti ($q_T = 0.65 \%$, $q_R = 0.30 \%$). Nadpovprečno visoke so tudi ravnovesne vlažnosti ksilita v procesu desorpcije, sorpcijska kapaciteta v procesu adsorpcije pa je podobna kot pri lesnih vrstah z visoko gostoto. Sorpcijski model GAB se je izkazal kot primeren za izravnavo sorpcijskih podatkov.

Ključne besede: ksilit, anatomska zgradba, barva, gostota, sorpcija, krčenje, dimenzijska stabilnost

CHARACTERIZATION OF ANATOMICAL STRUCTURE AND BASIC PHYSICAL PROPERTIES OF VELENJE XYLITE

Abstract

Xylite is a lithotype of lignite, mainly used for fuel. The wood from which it was formed in a long term process (duration ca. 2 millions of years) was subjected to drastic changes. We conducted anatomical characterization of xylite, evaluated preservation of wood from which it was formed, defined its basic physical properties, and compared it with modern wood. We recognized ground tissue composed of tracheids, uniseriate and homocellular rays, taxodioid like cross-field pits, and abundant axial parenchyma with inclusions. The observed features are typical of coniferous wood species of the Taxodiaceae and Cupressaceae families. Colourimetric properties of xylite in CIELab system are comparable to those of heartwood of ebony or wenge. The xylite had high oven dry density (1,216 kg/m³), but due to very high volumetric shrinkage (28.2 % on average), its basic density was much lower (873 kg/m³). Total linear shrinkage was considerable in all anatomical directions. Consequently it was characterized by low dimensional stability ($q_T = 0.65 \%$, $q_R = 0.30 \%$). The equilibrium moisture content (EMC) in desorption process was high, and that of adsorption was comparable to EMCs of high density wood species. GAB sorption model proved to be appropriate for fitting the data obtained in the sorption process.*

Key words: xylite, anatomical characterization, colour, density, sorption, shrinkage, dimensional stability

UVOD**INTRODUCTION**

Ksilit je litotip lignita, ki ga pridobivajo v Premogovniku Velenje. Poznamo ga predvsem kot kurivo. Po izvoru ksilit spada med humusne premoge, ki so nastali pretežno ali povsem iz rastlinskih ostankov višjih rastlin, zgrajenih iz ligno-celuloznega tkiva. Izhaja lahko iz korenin (radiksinit), drevesne skorje (korteksinit), sklerenhimskega (sklerenhimit) in parenhimskega (parenhimit) tkiva ter najpogosteje iz vej in debel (ksilinit) dreves (Drovenik, 1982). Pri slednjem je pogosto še opazna ohranjena struktura lesa. Ksilit lahko tako še vedno okarakteriziramo kot sekundarni ksilem, to je va-

skularno prevajalno tkivo, ki ga lesnate rastline izoblikujejo v sekundarni rasti. Sestavljajo ga različni tipi celic in tkiv, ki so imela v živem drevesu prevajalno, mehansko in skladiščno vlogo. Zaradi biološkega izvora so zgradba in lastnosti lesa zelo variabilne, pri ksilitu pa na variabilnost bistveno vplivajo spremembe, ki jih je material med procesom fosilizacije skozi geološka obdobja doživel ob dolgotrajnim delovanju zunanjih dejavnikov.

Izvirne rastline premogov so bile izpostavljene delovanju biokemičnih, geokemičnih in geoloških faktorjev ter karbonizaciji, pomembno vlogo so imeli tudi tlak, temperatura, pH ipd. Lažje hidrolizirajoče snovi (škrob, hemiceluloze in delno celuloza) so razkrojile bakterije, aktinomicete in glive, zato se

¹ prof. dr. Ž. G., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO

² prof. dr. K. Č., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO

³ doc. dr. A. S., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO

je delež lignina počasi povečeval. Deli rastlin z večjo vsebnostjo smole, voskov ali taninov so se bolje ohranili. Kemične spremembe in mehanske obremenitve so vplivale na deformiranost posameznih celic, tkiv ali celotnih kosov rastlin. Visoki tlaki so povzročili kolaps celic in posledično zmanjšali poroznost in iz organskih snovi iztiskali vodo. Kemične spremembe so vodile v razpad funkcionalnih hidroksilnih skupin in odcepitev karboksilnih in metoksilnih skupin, izločali pa so se voda, ogljikov dioksid in metan. Spremembe so privedle do postopne polimerizacije in polikondenzacije huminskih kislin (Markič in Sachenhofer, 2010). Zaradi velikih pritiskov krovnih plasti in premikov sedimentov so se celične stene porušile in sploščile, zdrsi pa so povzročili tudi nagubanost in zgnetenost lesnega tkiva.

Različne raziskave so pokazale, da se v prvi fazi celuloza in drugi ogljikovi hidrati postopoma hidrolizirajo ali se drugače degradirajo, medtem ko struktura lignina ostaja več ali manj stabilna, njegov relativni delež pa se povečuje (Hatcher in sod., 1981). Sledi karbonizacija, silifikacija ali fosforizacija, ki temelji na fizikalni, mehanski in biološki pretvorbi – diagenezi lignina pri konstantnem deležu kisika, delež vodika in ogljika pa se povečuje. Spremembe pripisujejo izgubi metoksilnih skupin, vode in stranskih propanilnih skupin. V zadnji stopnji se karbonizacija nadaljuje z zmanjševanjem deleža kisika in povečevanjem ogljika, delež vodika ostaja konstanten (Hatcher in sod., 1982). Prevladujoče spremembe se kažejo na stopnjujočem se zmanjševanju deleža hemice-luloz in amorfnih celuloz ter na značilni modifikaciji lignina (Drobnjak in Mastalerz, 2006). Vzporedno se koncentrirajo tudi relativno odporne smolne komponente. Spremembe naj bi bile rezultat izgube topnih huminskih kislin, ki so bogate s kisikom in so aktivirane med razvlaževanjem in zgoščevanjem oziroma zbijanjem materiala pod obremenitvijo zunanjih okoliščin.

Pomembno nahajališče lignita v Sloveniji je Velenjska udorina, ki naj bi bila ostanek sladkovodnega močvirja iz obdobja pliocena (Markič in Sachenhofer, 2010). Močvirje naj bi bilo poraščeno z nizkim rastlinjem, ki je bilo navzven obdano z grmičevjem in nato še z visokim drevjem. Z vodo prekrite odmrli rastlinski ostanki naj bi bili izpostavljeni postopnim, vendar močnim diagenetskim in epigenetskim spremembam, ki so botrovale heterogenosti velenjskega lignita z različnimi litotipi (vključno s ksilitom) v posameznih premogonosnih plasteh (Brezigar, 1985/86). Petrografske raziskave potrjujejo, da je velenjski lignit barjanskega izvora, v katerem s približnim deležem 60 % prevladuje gelificirana osno-

va brez strukture (derit), do 40 % je lesnega tkiva s celično strukturo ksilita (oziroma tudi tekstita), v nekaj odstotkih pa se pojavlja še fuzit (Justin in Markič, 2005).

Številne dosedanje geološke raziskave velenjskega lignita so bile osredotočene na določitev vrste, časa nastanka in količine lignita s poudarkom na proučevanju kurilnih vrednosti ter deležu pepela in mikro elementov (npr. Justin in Markič, 2005), z namenom ugotoviti uporabnost lignita kot kuriva v individualnih kuriščih in v termoenergetske namene. Podatki o zgradbi in strukturi ter o drugih fizikalnih lastnostih ksilita pa so relativno skopi.

Ksilit z manjšim deležem anorganskih vključkov je mogoče obdelovati z lesno obdelovalnim orodjem. Tekstura in biserni učinek obdelanega ksilita spominjata na nekatere najbolj plemenite tropske lesne vrste (npr. na ebenovino), zato ima velenjski ksilit lahko visoko estetsko vrednost in slovenski oblikovalci so pokazali, da ga je mogoče uporabiti za izdelavo dekorativnih izdelkov visoke vrednosti (Anon., 2005). Čeprav spominja na les, primanjkuje podatkov o njegovih lastnostih. Material je zelo kompakten in ima visoko gostoto, lahko ga poliramo do visokega sijaja. Če ga želimo uporabiti za izdelke, pa je ključno, da ga pred obdelavo kakovostno osušimo do zračne suhosti. Material pri tem ne sme razpokati. Imeti mora tudi ustrezno trdnost, da izdelke lahko uporabljamo.

Na Oddelku za lesarstvo smo se s ksilitom srečali pri delu v okviru projekta »Proučevanje in raziskovanje ksilita – Standardizacija mikrolitotipov lignita in njihova dimenzijska stabilizacija«, ksilit kot material podoben lesu pa razen v kratkem strokovnem članku (Gorišek, 2007) še ni bil predstavljen, niti ni bil podrobno raziskan. Cilj pričujoče raziskave je zato predstaviti makroskopsko in mikroskopsko zgradbo ksilita v primerjavi z lesom, iz katerega je nastal, predstaviti osnovne fizikalne lastnosti ksilita, ki so relevantne za lastnosti materiala za predelavo v različne izdelke, in primerjati preučene lastnosti z lastnostmi nekaj na videz podobnih lesnih vrst.

MATERIAL IN METODE **MATERIALS AND METHODS**

MATERIAL **MATERIALS**

Preučevani ksilit izvira iz Velenjske premogovne kladnje (Premogovnik Velenje). Kosi ksilita za raziskave so bili

izbrani s tekočega traku redne proizvodnje oziroma pridobivanja lignita v velenjskem premogovniku. Ker je lignit petrološko močno heterogen z veliko variabilnostjo geotehniških lastnosti, smo pri vzorčenju na osnovi vizualne ocene izbrali kose, pri katerih so bile čim bolj ohranjene strukture iz še prepoznavnih lesenih debel (slika 1). Izbrane kose smo grobo obdelali na tračnem žagalnem stroju. Za preizkušanje smo izžagali material brez vidnih mineralnih vključkov in s čim bolj ohranjeno in prepoznavno strukturo lesa, ki je omogočila ksilotomsko orientacijo preizkušancev. Za preučevanje anatomske, fizikalne in mehanske lastnosti smo izdelali natančno orientirane preizkušance brez vidnih rastnih posebnosti ali poškodb, nastalih v procesu nastajanja ksilita. Med pripravo smo preizkušance zaščitili pred izsuševanjem.



Slika 1: Izbrani kosi ksilita, pripravljeni za izdelavo orientiranih preizkušancev za preučevanje anatomske in fizikalne lastnosti

Fig. 1: Xylite, selected to prepare oriented specimens to study its anatomy and physical properties

ZGRADBA KSILITA XYLITE STRUCTURE

Anatomska karakterizacija je potekala na mikroskopskih preparatih, ki smo jih pripravili po standardnih lesno anatomskih metodah (Čufar, 2006). Po napojitvi z vodo smo orientirane količke namakali v 40 %, 50 % in 70 % etanolu, vsakič po 24 ur. Mikroskopske rezine debeline 20 μm vseh treh ksilotomskih ravnin (prečne, radialne in tangencialne) smo obarvali z rdečim barvilom safranin (0.5 % barvila v 95 % etanolu) in z barvilom astra modro (0.5 % barvila v 95 % etanolu z dodatkom tyomola). Po izpiranju z alkoholom smo preparate vklopili v euparal in izdelali trajne preparate.

BARVOMETRIČNA KARAKTERIZACIJA COLOURIMETRY

Barvo smo ovrednotili s standardiziranim sistemom CIE Lab*, s katerim smo določili koordinate barvnega prostora, kjer svetlost L^* lahko zavzame vrednosti od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo) (DIN 5033; DIN 6174, 1979), medtem ko parametra a^* in b^* ponazarjata barvo na zeleno-rdeči oziroma modro-rumeni osi.

FIZIKALNE LASTNOSTI - GOSTOTA IN POROZNOST, KRČENJE, SORPCIJSKE KARAKTERISTIKE IN DIMENZIJSKA STABILNOST PHYSICAL CHARACTERISTICS – DENSITY AND POROSITY, SHRINKAGE, SORPTION CHARACTERISTICS AND DIMENSIONAL STABILITY

Predpostavili smo, da ima ksilit še vedno izraženo kapilarno porozno strukturo in da je higroskopnen, zato smo določili osnovno gostoto ($R = m_0/V_{vl}$) in gostoto pri treh različnih vlažnostih (v svežem stanju ($\rho_{vl} = m_{vl}/V_{vl}$), pri vlažnosti 16 % ($\rho_{u=16\%} = m_{u=16\%}/V_{u=16\%}$) in v absolutno suhem stanju ($\rho_0 = m_0/V_0$)) (Gorišek, 2009). Vzoredno smo določili še poroznost in vlažnost nasičenja vlaken oz. točko nasičenja celičnih sten (TNCS), ki smo jo izračunali iz volumenskega skrčka in osnovne gostote.

Pri tem smo predpostavili, da je podobno kot pri lesu tudi pri ksilitu volumensko krčenje in nabrekanje enako volumnu oddane oziroma sprejete vezane vode, pri čemer smo upoštevali tudi njeno zgotitev v celičnih stenah, s povprečno gostoto 1115 kg/m^3 . Ker smo pričakovali veliko anatomsko anizotropijo, smo poleg volumenskega skrčka določili še linearne skrčke v radialni, tangencialni in vzdolžni smeri.

Sorpcijske karakteristike ksilita smo določili s postopnim uravnotežanjem od svežega stanja do absolutne suhosti (proces desorpcije) kot tudi v smeri navlaževanja (proces adsorpcije). Uravnotežanja smo opravili postopno nad nasičenimi solnimi raztopinami, nad katerimi se pri konstantni temperaturi ($21 \pm 0,1$ °C) vzpostavijo različne ravnovesne vlažnosti (φ): $\text{CH}_3\text{COOK} \rightarrow \varphi \sim 20$ %; $\text{MgCl}_2 \varphi \sim 34$ %; $\text{K}_2\text{CO}_3 \varphi \sim 44$ %; $\text{NaNO}_2 \varphi \sim 65$ %; $\text{NaCl} \varphi \sim 75$ %; $\text{ZnSO}_4 \varphi \sim 86$ % in $\text{K}_2\text{SO}_4 \varphi \sim 96$ %. Po vsakem uravnotežanju smo izmerili temperaturo (natančno na $\pm 0,1$ °C) in relativno zračno vlažnost (natančno na ± 1 %), preizkušance pa smo tehtali (natančno na $\pm 0,001$ g) in jim izmerili dimenzije (natančno na $\pm 0,01$ mm) v vseh smereh za izračun odgovarjajočih ravnovesnih

vlačnosti in dimenzijskih sprememb (skrčkov oziroma nabrekov). Eksperimentalne vrednosti ravnovesnih vlačnosti smo izravnali s sorpcijskim izotermnim modelom Guggenheim Andersen De Boer - GAB (Timmermann, 2003).

$$\frac{u}{u_0} = \frac{C \cdot K \cdot h}{(1 - K \cdot h) \cdot (1 - K \cdot h + C \cdot K \cdot h)} \quad \text{ali}$$

$$\frac{h}{u_0} = \frac{1}{u_0 \cdot C \cdot K} + \frac{C - 2}{u_0 \cdot C} \cdot h + \frac{K \cdot (1 - C)}{u_0 \cdot C} \cdot h^2$$

V enačbah je u količina sorbata, sorbiranega na sorbent pri vodni aktivnosti h , u_0 je monomolekularna kapaciteta, C je energijska konstanta in K je konstanta razmerja proste entalpije sorbiranih molekul pri sekundarni sorpciji.

Dimenzijsko stabilnost ksilita smo ocenili s standardno metodo (Gorišek, 2009) z naslednjimi kazalniki stabilnosti:

Diferencialni nabrek (skrček) v tangencialni in radialni smeri

$$q_T = \frac{\Delta \alpha_T}{\Delta U} \quad q_R = \frac{\Delta \alpha_R}{\Delta U}$$

Koeficient nabrekanja (krčenja) v radialni in tangencialni smeri

$$h_T = \frac{\Delta \alpha_T}{\Delta \varphi} \quad h_R = \frac{\Delta \alpha_R}{\Delta \varphi}$$

Sorpcijski kvocient

$$s = \frac{h}{q} = \frac{\Delta U}{\Delta \varphi}$$

$\alpha = \frac{\Delta l}{l}$ skrček (oziroma nabrek) na kvazilinearnem intervalu med ravnovesnima legama pri 34 % in 86 % relativne zračne vlačnosti

ΔU razlika vlačnosti lesa na kvazilinearnem intervalu med ravnovesnima legama pri 34 % in 86 % relativne zračne vlačnosti

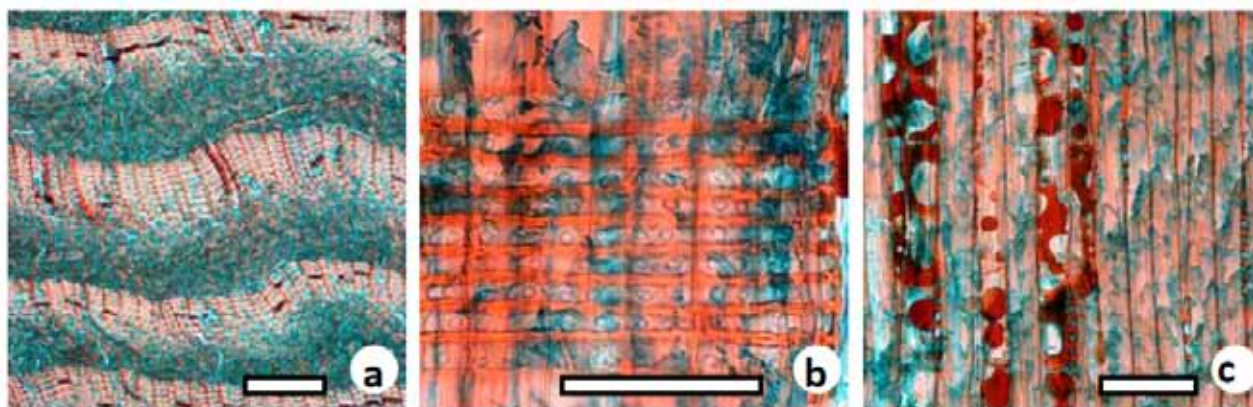
$\Delta \varphi$ razlika relativne zračne vlačnosti na kvazilinearnem intervalu.

REZULTATI IN RAZPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

ANATOMSKA KARAKTERIZACIJA KSILITA ANATOMICAL CHARACTERIZATION OF XYLITE

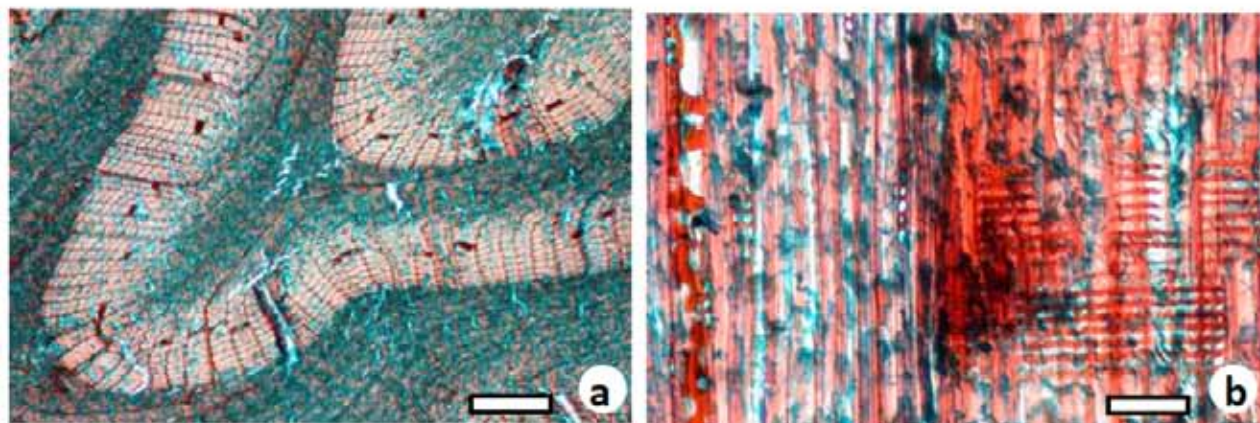
Mikroskopska preiskava je pokazala, da so osnovne anatomske strukture lesa v ksilitu sicer razpoznavne, vendar je les v procesu pretvorbe v ksilit doživel tudi spremembe zgradbe. V prečnem prerezu smo lahko prepoznali osnovno tkivo iz traheid, kar pomeni, da je ksilit nastal iz lesa iglavca. Vidne so bile različne branike z izrazitim ranim in kasnim lesom. Traheide ranega lesa so imele tanke stene, traheide kasnega lesa pa debele. Najizrazitejše spremembe v zgradbi, vidne na prečnem prerezu, predstavlja kolaps lumnov tankostenih traheid ranega lesa (slika 2a) in posledično tudi izrazita valovitost prirastnih plasti.

Prečni prerez nadalje razkriva, da so bile branike v lesu razmeroma ozke in so vsebovale največ do 40 celic v radial-



Slika 2: Mikroskopski prerezi ksilita. (a) Prečni prerez -viden je kasni les z debelostenimi traheidami, aksialni parenhim z obarvanimi vključki v lumnih; porušen rani les s kolabiranimi lumni, posamezne traheide niso razpoznavne. (b) Radialni prerez - homocelularni trak in taksodioidne piknje v križnem polju. (c) Tangencialni prerez z enorednimi trakovi in aksialnim parenhimom z vključki. Obarvanje – safranin (rdeče) in astra modro. Merilne daljice - 100 µm

Fig. 2: Microscopic sections of xylite. (a) Cross-section with thick walled latewood tracheids, axial parenchyma with coloured inclusions, crushed earlywood with collapsed cells where individual tracheids cannot be recognized. (b) Radial section with homocellular ray and taxodioid cross-field pits. (d) Tangential section with uniseriate rays and axial parenchyma with inclusions. Staining - safranin (red) and astra blue. Bars - 100 µm



Slika 3: Mikroskopski prerezi deorientiranega ksilita. (a) Prečni prerez - ksilit z valovitimi branikami in številnimi razpokami. (b) Tipičen tangencialni prerez (levo) nenadoma preide v radialnega (desno). Obarvanje – safranin (rdeče) in astra modro. Merilne daljice - 100 μm

Fig. 3: Microscopic sections of strongly disoriented xylite. (a) Cross-section, xylite with wavy growth layers and numerous cracks. (b) Tangential orientation (left) abruptly changes to radial one (right). Disorientations were caused by large forces that compressed the wood in the process of transformation to xylite. Staining - safranin (red) and astra blue. Bars - 100 μm

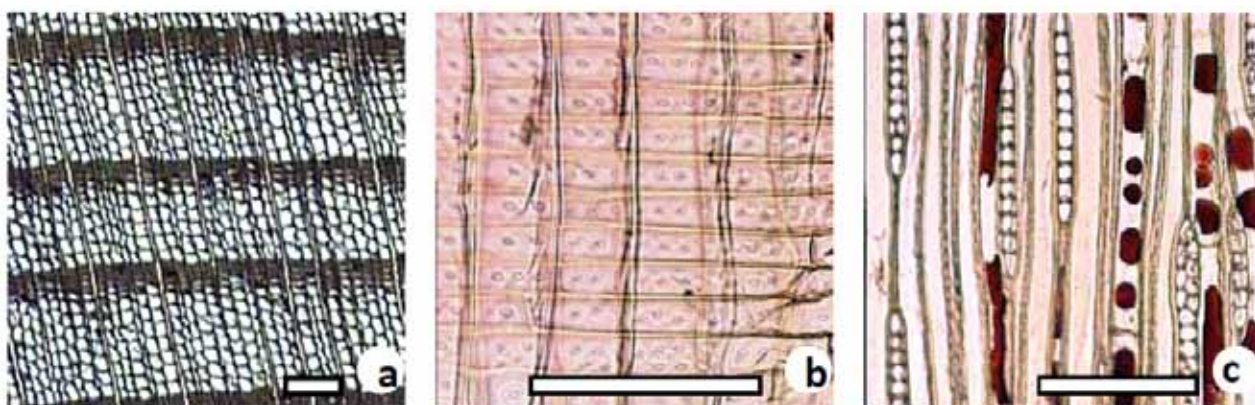
nem nizu. Prehod iz ranega v kasni les je bil oster. Rani les je zaradi bistveno tanjših celičnih sten deformiran in porušen. Kasni les z debelejšimi, bolj togimi stenami kaže v prečni in radialni smeri manj sprememb in lumni traheid so razločni.

Na radialnem prerezu smo opazili enoredne homocelularne trakove, sestavljene izključno iz parenhimskih celic, prepoznaven je tudi aksialni parenhim, ki je obilen. Polobokane piknje v križnih poljih so taksodiodnega tipa (slika 2b, c).

Preučeni ksilit ni vseboval aksialnih ali radialnih smolnih kanalov. V lumnih aksialnega in trakovnega parenhima so bili vidni vključki, najverjetneje ostanki jedrovinskih snovi. To nakazuje, da je preučeni ksilit nastal iz lesa dreve-

sne vrste z obarvano jedrovino, ki jo odlikuje visoka naravna trajnost.

V kasnem lesu so bile pogoste razpoke, ki so nastale z razslojitvijo tkiva po srednji lameli, kar zmanjšuje konsistentnost tkiva in bistveno zmanjšuje trdnost ksilita. Na radialnih prerezi smo opazili uklone traheid in strižne deformacije trakovnega tkiva. Velike tlačne in strižne obremenitve, ki so delovale na les v procesih preobrazbe v ksilit, so povzročile deformacije in deorientacijo celic in tkiv (slika 3), kar pojasnjuje, da je bilo večkrat težko ali celo nemogoče ločiti radialne in tangencialne ravnine, ki so običajne v klasični anatomiji lesa.



Slika 4: Mikroskopski prerezi lesa sekvoje (*Sequoia sempervirens*) iz družine Taxodiaceae. (a) Prečni prerez z izrazitim ranim in kasnim lesom. (b) Radialni prerez s homocelularnim trakom in taksodiodnimi piknjami v križnem polju. (c) Tangencialni prerez s pretežno enorednimi trakovi in aksialnim parenhimom z vključki. Obarvanje - safranin. Merilne daljice - 100 μm

Fig. 4: Microscopic sections of wood of *Sequoia sempervirens*, family Taxodiaceae. (a) Cross-section with distinct early and late wood. (b) Radial section with a homocellular ray and taxodioid cross-field pits. (d) Tangential section with mainly uniseriate rays and axial parenchyma with inclusions. Staining - safranin. Bars - 100 μm

Opažene anatomske značilnosti imajo predstavniki družine Taxodiaceae (npr. rodovi *Taxodium*, *Sequoia*, *Sequoiadendron*) ali Cupressaceae (npr. rodovi *Juniperus*, *Chamaecyparis*, *Cupressus*) (slika 4).

Drevesne vrste obeh omenjenih družin in naštetih rodov so v preteklih geoloških obdobjih uspevale tudi v Sloveniji, njihov obstoj pa so med drugim dokazali tudi s preučevanjem biomarkerjev in stabilnih izotopov (Bechtel in sod., 2003) in z raziskavo fosilnega lesa (Križnar, 2000; 2009). Omenjeni predstavniki so v obdobjih spodnjega pleistocena pri nas verjetno izumrli, dokaj dobro pa so še danes zastopani v Severni Ameriki. Od tam so jih v Evropo pripeljali v zadnjih stoletjih, zato jih danes lahko vidimo v botaničnih vrtovih in drugih hortikultiviranih nasadih (Brus, 2012).

BARVA COLOUR

Svetlost ksilita L^* je v povprečju znašala 31,89 (Pregl. 1) in je primerljiva s svetlostjo komercialnih lesnih vrst, ki imajo zelo temno obarvano jedrovino s skoraj črnimi progami, kot sta na primer ebenovina (*Diospyros crassiflora*) in wenge (*Millettia laurentii*) (Slika 5). Komponenti a^* in b^* ksilita sta v povprečju znašali 5,80 in 7,92 in se najbolj približata vrednostim lesa wenge (Pregl. 1, sl. 5).

Ogljikovi hidrati, ki sestavljajo v normalnem lesu približno 7 % delež (Hon in Shiraishi, 2001), zaradi premalo

konjugiranih dvojnih vezi in donor-akceptorskih skupin, ne absorbirajo svetlobe vidnega spektra. Barvo normalnega lesa tako pripisujemo predvsem ligninu in ekstraktivnim snovem, ki absorbirajo in odbijajo vidni, še bolj pa UV spekter svetlobe. Delež lignina v ksilitu je približno dvakrat večji kot v normalnem lesu, kjer ga je približno 32 %, kar bistveno vpliva na temno barvo ksilita.

Na svetlost materiala (ISO 2469 (k/s)) vplivajo tudi nekatere druge lastnosti: absorpcijski koeficient (k), ki je zlasti odvisen od deleža lignina in ekstraktivov, medtem ko na koeficient sipanja (s) vplivajo gostota, vlažnost, ekstraktivi in morfologija površine.

GOSTOTA IN POROZNOST DENSITY AND POROSITY

Ugotovljena gostota ksilita v absolutno suhem stanju je 1216 kg/m³ in je primerljiva z gostoto najgostejših lesnih vrst, npr. gvajaka (*Guaiacum officinale*) (pregl. 2). Visoko gostoto pripisujemo majhni poroznosti kolabiranega tkiva ksilita.

Visoko vrednost gostote v absolutno suhem stanju pripisujemo temu, da imajo ohranjeni deli ksilita, ki smo jih preučili, še vedno značilno kapilarno porozno zgradbo iz zelo heterogenih celičnih elementov sekundarnega ksilema. Poroznost lesa je v največji meri odvisna od deleža lumnov, pri ksilitu pa so lumni močno deformirani in skrčeni, zato ima ksilit bistveno manjšo poroznost, kot jo je imel les, iz kate-

Preglednica 1: Barvna metrika ksilita v primerjavi z jedrovinami temnih vizualno podobnih lesnih vrst; (L^* – svetlost, a^* - rdeče-zelena komponenta in b^* - rumeno-modra komponenta). Vrednosti za primerjalne vrste so povzete po Janin in sodelavci (2001). (SD-standardni odklon, CV-koeficient variacije, MIN-minimum, MAX-maksimum)

Table 1: Colourimetric parameters of xylite compared with those of visually similar wood of species with dark heartwood. (L^* - brightness, a^* - red-green component, and b^* - yellow-blue component). Comparative values for woods are from Janin et al. (2001). (SD-standard deviation, CV-coefficient of variation, MIN-minimum, MAX-maximum)

		L*	a*	b*
Ksilit / Xylite		31.89	5.80	7.92
	SD	2.445	1.191	2.767
	CV	7.7	20.5	34.9
	MIN	28.57	3.88	3.55
	MAX	39.14	8.76	15.51
Ebenovina / Ebony	<i>Diospyros crassiflora</i>	26.2	0.5	0.8
Wenge	<i>Millettia laurentii</i>	36.6	7.0	8.4
Purple heart	<i>Peltogyne venosa</i>	38.1	17.9	3.7
Beli hrast / White oak	<i>Quercus alba</i>	65.4	5.7	21.1
Rdeči hrast / Red oak	<i>Quercus rubra</i>	67.8	6.9	20.8
Tulipanovec / Yellow poplar	<i>Liriodendron tulipifera</i>	81.3	0.2	18.8
Rdeči javor / Red maple	<i>Acer rubrum</i>	84.1	2.7	14.6



Slika 5: Teksture ksilita in dveh lesnih vrst s temno jedrovino. (a, b) Ksililit s prepoznavno radialno in tangencialno teksturo. (c) Ksililit skoraj črn. (d, e) Wenge (*Milletia laurentii*) radialna in tangencialna tekstura. (f) Ebenovina (*Dyospiros sp.*), skoraj črna jedrovina s svetlejšo beljavo (levo), radialna tekstura. Merilna daljica - 1 cm

Fig. 5: Texture of xylite and two wood species with dark heartwood. (a, b) Xylite - radial and tangential texture. (c) Xylite nearly black. (d, e) Wenge (*Milletia laurentii*) radial and tangential texture. (f) Ebony (*Dyospiros sp.*), nearly black heartwood and lighter sapwood (left), radial texture. Bar - 1 cm

rega je nastal (najverjetneje okoli 0.30 oziroma z gostoto v absolutno suhem stanju pribl. 450 kg/m^3). Anatomske analize kažejo, da k poroznosti ksilita ne prispevajo samo lumni, pač pa tudi razpoke med celičnimi elementi, manjše odprtine (razpoke) v celični steni in poudarjeni intercelularni (medcelični) prostori. Kanali in žepi, ki so nastali med strižno deformiranimi sloji lesa, so pogosto zapolnjeni z anorganskimi vključki, kar pa gostoto še povečuje.

Znatno krčenje ksilita, kjer absolutni volumenski skrček znaša 28.2 % (pregl. 3), je glavni razlog za to, da je osnovna gostota, ki znaša 873 kg/m^3 , relativno nizka (pregl. 2).

Visoka gostota ksilita v absolutno suhem stanju, ki je višja od gostote vode, tudi če upoštevamo njeno zgostitev v celič-

nih stenah, je vzrok, da z navlaževanjem ksilita do vlažnosti točke nasičenja celičnih sten gostota nekoliko pada. To je v nasprotnem trendu, kot nam je poznano pri domačih lesnih vrstah, ki imajo nižjo gostoto. Pri vlažnosti nad nasičenjem se gostota ponovno povečuje in doseže podobno vrednost, kot jo ima v absolutno suhem stanju (pregl. 2).

Začetna vlažnost svežega ksilita (43.3 %) (pregl. 3) kaže na skoraj napojitveno stanje, kar pomeni, da so bile celične stene popolnoma napolnjene z vezano vodo, zgneteni lumni in drugi prostori pa so bili v dobršnem delu zapolnjeni s prosto vodo. Zaradi nizke poroznosti je začetna vlažnost relativno nizka, kar pomeni, da je približna vsebnost 525 kg vode na m^3 ksilita. Porazdelitev vode v svežem ksilitu je veliko bolj

Preglednica 2: Povprečna gostota ksilita v svežem stanju, pri ravnovesnem stanju v normalni klimi ($U = 16\%$), osnovna gostota in gostota v absolutno suhem stanju ter osnova statistika

Table 2: Mean densities of xylite: green-, conditioned in normal climate (moisture content $MC = 16\%$), basic density, and oven dry density and basic statistics

	Gostota / Density			
	Sveže stanje / Green state	Pri vlažnosti $U = 16\%$ / At 16 % MC	Osnovna gostota / Basic density	Gostota v absolutno suhem stanju / Oven dry density
Povprečje / Mean [kg/m³]	1260	1173	873	1216
SD	24.2	37.8	29.2	60.4
CV%	1.9	3.2	3.3	5.0
MIN	1188	1086	814	1115
MAX	1317	1219	954	1337

enakomerna, kot je razlika med vlažnostjo prevodne beljave in jedrovine, ki je značilna za domače lesne vrste. Nasičenost celičnih sten je visoka (36,0 %), zato je delež proste vode le 20 %. Posledica tako majhnega deleža proste vode je tudi zgodnji začetek krčenja ksilita, ki se začne že kmalu po izpostavitvi zunanji klimi. Visoka vrednost vlažnosti točke nasičenja celičnih sten, ko prihaja do difuzijskega upora površine in generiranja sušilnih napetosti, pomeni tudi zgodnje kritično obdobje sušenja ksilita.

KRČENJE IN DIMENZIJSKA STABILNOST SHRINKAGE AND DIMENSIONAL STABILITY

Visok delež vezane vode je vzrok, da med sušenjem ksilita prihaja do izrazitega krčenja (pregl. 3), ki se tako kot v lesu izraža anizotropno (pregl. 4). Zaradi deorientacij tkiva je bila v nekaterih primerih opredelitev ksilotomskih smeri težja kot pri recentnem lesu, variabilnosti so večje, razmerje med vzdolžnim, radialnim in tangencialnim skrčkom pa je pri ksilitu nekoliko manjše ($\beta_L : \beta_R : \beta_T \approx 1 : 6 : 9$), kot ga poznamo pri normalnem lesu ($\beta_L : \beta_R : \beta_T \approx 1 : 10 : 20$). Ksilit ima očitno večji vzdolžni skrček kot normalen les. Tudi razmerje med tangencialnim in radialnim skrčkom (prečna krčitvena

anizotropija) je pri ksilitu 1,5 in je relativno nizko. Podobna anizotropija je sicer značilna za gostejše lesne vrste, vendar pa moramo v primeru ksilita upoštevati, da na anizotropijo vplivajo tudi težave pri orientaciji preizkušancev. Tangencialni skrček je tudi primerljiv s skrčki gostejših lesov, medtem ko je radialni precej večji. To v veliki meri pripisujemo tudi porušeni celični strukturi ranega lesa, ki zlasti v radialni smeri vpliva na dodatno »zgotitev« materiala. Zaradi slabše konsistentnosti je tudi delovanje (krčenje in nabrekanje) kolabirane ranega lesa v radialni smeri »neovirano«, v tangencialni smeri pa prevladuje delovanje bolj togega kasnega lesa.

Higroskopski karakter ksilita se močno izraža tudi v dimenzijski nestabilnosti, saj v nihajočih klimatskih spremembah prihaja do njegovega izrazitega delovanja zlasti ob spremembi vlažnosti ksilita, kar kaže na diferencialna nabreka v tangencialni (q_T) in radialni smeri (q_R) (pregl. 5). Ugodnejša sta koeficienta nabrekanja (h), kar kaže na slabši odziv ksilita na spremembe relativne zračne vlažnosti, posledično pa je manjši in zelo ugoden sorpcijski kvocient. Poudariti moramo, da so kazalniki dimenzijske stabilnosti v nasprotju z absolutnim krčenjem (od točke nasičenja celičnih sten do absolutno suhega ksilita) določeni za t.i. kvazi-linearno območje med relativnima zračnima vlažnostma 34 % in 86 %.

Preglednica 3: Povprečna začetna vlažnost svežega ksilita, volumenski skrček, vlažnost točke nasičenja celičnih sten (TNCS) in poroznost ksilita v suhem stanju ter osnova statistika

Table 3: Mean initial moisture content (MC) of green xylite, volumetric shrinkage, moisture content at fibre saturation point (FSP) and porosity in the dry state, and basic statistics

	Začetna vlažnost / Initial MC [%]	Volumenski skrček / Volumetric shrinkage [%]	TNCS / FSP [%]	Poroznost / Porosity [%]
Povprečno / Mean	43.3	28.2	36.0	0.805
SD	3.1	2.2	2.4	0.034
CV%	7.2	7.8	6.7	4.2
MIN	35.3	23.6	30.9	0.726
MAX	51.9	33.3	41.1	0.869

Preglednica 4: Linearni skrčki (β) v glavnih ksilotomskih smereh (T-tangencialna, R-radialna in L-vzdolžna) in prečna krčitvena anizotropija (β_T/β_R) ksilita ter osnovna statistika

Table 4: Linear shrinkage (β) in the main directions (T-tangential, R-radial and L-longitudinal) and anisotropy (β_T/β_R) of xylite and basic statistics

	β_T [%]	β_R [%]	β_L [%]	β_T/β_R
Povprečno / Mean	14.8	9.7	1.6	1.5
SD	1.31	2.43	0.42	0.48
CV%	19.2	25.0	26.3	28.2
MIN	11.0	5.5	-0.10	0.95
MAX	17.8	13.1	2.3	2.63

Preglednica 5: Kazalniki dimenzijske stabilnosti: diferencialni nabrek (q) in koeficient nabrekanja (h) za tangencialno (T) in radialno (R) smer, prečna krčitvena anizotropija v kvazilinearnem območju (q_T/q_R) ter sorpcijski kvocient (s) z osnovno statistiko

Table 5: Coefficients of dimensional stability: differential swelling (q) and coefficient of swelling (h) for the tangential (T) and radial direction (R), anisotropy in the quasi linear region (q_T/q_R), and sorption coefficient (s) with basic statistics

	Kazalniki dimenzijske stabilnosti / Coefficients of dimensional stability					
	Diferencialni nabrek / Differential swelling		Koeficient nabrekanja / Coefficient of swelling		Anizotropija / Anisotropy	Sorpcijski kvocient / Sorption coefficient
	q_T [%/%]	q_R [%/%]	h_T [%/%]	h_R [%/%]	q_T/q_R	s [%/%]
Povprečno / Mean	0.65	0.30	0.077	0.035	2.2	0.121
SD	0.115	0.122	0.007	0.012	0.115	0.013
CV%	17.7	40.9	8.8	34.5	24.5	10.6
MIN	0.510	0.034	0.067	0.004	3.9	0.08
MAX	1.024	0.608	0.089	0.050	1.6	0.14

SORPCIJSKE KARAKTERISTIKE SORPTION CHARACTERISTICS

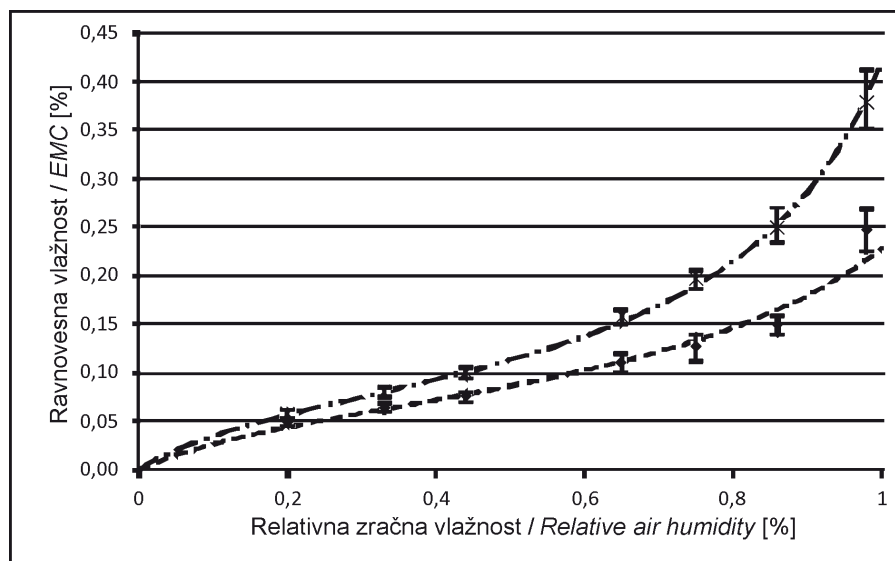
V spreminjajočih se klimatskih razmerah niha tudi vlažnost ksilita, ki vzpostavlja vlažnostno ravnovesje z obdajajočo klimo. Ksilite je tako kot les higroskopni material. Higroskopnost pripisujemo specifični kemični zgradbi, kapilarni kondenzaciji v mikro razpokah celične stene in veliki notranji površini (pregl. 6).

Preglednica 6: Povprečna ravnovesna vlažnost ksilita (u_r), dosežena v procesih desorpcije in adsorpcije na sedmih uravnovesnih stanjih pri relativnih zračnih vlažnostih: $\varphi \approx 98\%$, $\varphi = 86\%$, $\varphi = 65\%$, $\varphi = 44\%$, $\varphi = 34\%$ ter 20% in pri temperaturi 20°C

Table 6: Mean equilibrium moisture content (EMC) of xylite conditioned at seven relative air humidities: $\varphi \approx 98\%$, $\varphi = 86\%$, $\varphi = 65\%$, $\varphi = 44\%$, $\varphi = 34\%$ and $\varphi = 20\%$, at the temperature of 20°C , achieved in the desorption and adsorption processes

u_r / EMC [%]	Relativna zračna vlažnost / Relative air humidity						
	$\varphi \approx 98\%$	$\varphi = 86\%$	$\varphi = 75\%$	$\varphi = 65\%$	$\varphi = 44\%$	$\varphi = 34\%$	$\varphi = 20\%$
Desorpcija / Desorption	37.8	25.0	19.6	15.8	10.0	8.0	5.7
SD	2.04	2.86	0.96	0.67	0.60	0.49	0.41
Adsorpcija / Adsorption	24.7	14.9	12.7	11.0	7.5	6.4	4.9
SD	1.94	1.16	1.02	0.58	0.51	0.38	0.33
Histerezo razmerje / Hysteresis ratio	0.65	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.86

Neskladja med ravnovesnimi vlažnostmi, doseženimi v procesu desorpcije in adsorpcije, so zelo izrazita, še posebno v zgornjem higroskopskem območju, kjer prevladuje učinek kapilarne kondenzacije. V primerjavi s primerljivo gostimi lesnimi vrstami so ravnovesne vlažnosti ksilita, dosežene v procesu desorpcije, nekoliko višje kot pri lesu, kar je bolj izrazito pri visokih kot pri nizkih relativnih zračnih vlažnostih. Ravnovesne vlažnosti v procesu adsorpcije pa so primerljive s standardnimi vrednostmi, ki jih poznamo za les.



Slika 6: Ravnovesna vlažnost ksilita v procesih desorpcije (zg.) in adsorpcije (sp.) in sorpcijska izoterma, prilagojena z modelom GAB

Fig. 6: Equilibrium moisture content (EMC) of xylite in the process of desorption (above) and adsorption (below), and fitted sorption curve by GAB model

Obe sorpcijski krivulji, tako adsorpcijska kot desorpcijska, na celotnem sorpcijskem območju izkazujeta sigmoidno obliko, ki je tipična za kapilarno-higroskopske materiale (slika 6). Primarno sorpcijo pripisujemo monomolekularni vezavi vodnih molekul na prosta sorpcijska mesta. Primarna sorpcija kaže pri ksilitu na presenetljivo visoko vrednost, saj za proučeni ksilit predpostavljamo, da ima povečan delež lignina z manjšim sorpcijskim potencialom in zmanjšan delež bolj higroskopskih, vendar manj stabilnih polioz, kar so s kemijskimi analizami in FTIR-spektroskopijo za ksilit ugotovili Hacher in sodelavci (1982).

V primerjavi z lesom so odkloni tudi v inicialni desorpciji, kjer učinek kapilarne kondenzacije, kot posledica močno porušene strukture celičnih sten, potisne krivuljo značilno navzgor. Sorpcijski izotermi se primerno prilegata z modelom GAB, konstante pa so primerljive z nekaterimi lesnimi vrstami z gostoto okoli 1200 kg/m^3 (pregl. 7) (Jannot in sod., 2006.).

Preglednica 7: Primerjava konstant modela GAB (U_0 , C, K) sorpcijske krivulje za desorpcijo in adsorpcijo ksilita ter nekaterih tujih lesnih vrst (Jannot in sod., 2006)

Table 7: Comparison of the constants of the GAB model (U_0 , C, K) of sorption curves for the desorption and adsorption of xylite and some foreign wood species (Jannot et al. 2006)

	Afzelija / <i>Afzelia</i> <i>Afzelia</i> sp.	Ebenovina / <i>Ebony</i> <i>Diospyros</i> sp.	Iroko / <i>Chlorophora</i> <i>excelsa</i>	Moabi / <i>Baillonella</i> <i>toxisperma</i>	Obeche / <i>Triplochiton</i> <i>scleroxylon</i>	Ksilit – desorpcija / <i>Xylite</i> - desorption	Ksilit – adsorpcija / <i>Xylite</i> - adsorption
U_0	0.068	0.051	0.070	0.082	0.083	0.070	0.069
C	16.00	36.35	14.29	10.69	11.51	15.01	7.00
K	0.71	0.731	0.742	0.738	0.728	0.830	0.710

SKLEPI CONCLUSIONS

Preiskava ksilita iz velenjskega premogovnika z lesno anatomskimi metodami je pokazala, da je les, iz katerega je ksilit nastal, pripadal iglavcem in da je vseboval znake: enoredne homocelularne trakove, v križnih poljih taksodiodidne piknje, aksialni parenhim z vključki, verjetno ostanki jedrovinskih snovi in izostanek aksialnih in radialnih smolnih kanalov. Na osnovi znakov sklepamo, da je ksilit nastal iz lesa iglavcev iz družin Taxodiaceae (npr. rodovi *Taxodium*, *Sequoia*, *Sequoiadendron*) ali Cupressaceae (npr. rodovi *Juniperus*, *Chamaecyparis*, *Cupressus*). Zgradba lesa je pri pretvorbi (fosilizaciji) v ksilit, katerega starost v velenjskih plasteh ocenjujejo na približno dva milijona let, doživela spremembe zaradi delovanja biokemičnih, geokemičnih in geoloških faktorjev ter karbonizacije. Večje spremembe je doživel rani les, ki ima pogosto popolnoma kolabirane lumne (predvsem

zaradi prečnih tlačnih sil, ki so delovale v radialni in tangencialni smeri), kasni les, ki je imel v osnovi debelejšje in bolj toge celične stene, pa je manj porušen.

Barva ksilita je primerljiva z barvo jedrovine komercialnih lesnih vrst, ki so zelo temne. Svetlost ksilita (L^*) lahko primerjamo z ebenovino, komponenti a^* in b^* pa se približujeta odtenkom lesa wenge.

Zaradi zrušitve celičnih sten v lumne je gostota ksilita visoka, vendar ksilit še vedno ohranja kapilarno strukturo in higroskopski značaj, ki sta značilna za les. Gostota ksilita v absolutno suhem stanju je 1216 kg/m^3 , medtem ko je zaradi velikega volumenskega krčenja osnovna gostota le 873 kg/m^3 . Posledica zrušitve, posebno celic ranega lesa, se kaže tudi v izrazitem radialnem krčenju (9.7 %), ki mu sledi tudi neugodni diferencialni nabrek ($q_T = 0.65 \text{ \%/\%}$, $q_R = 0.30 \text{ \%/\%}$). V kvazi-linearnem območju je od kazalnikov dimenzijske stabilnosti najbolj ugoden sorpcijski kvocient, vendar samo v spodnjem območju higroskopsnosti.

Ugotovljene ravnovesne vlažnosti ksilita so v procesu desorpcije relativno visoke, medtem ko so v procesu adsorpcije zelo primerljive z ravnovesnimi vlažnostmi gostejših lesnih vrst (gostota v absolutno suhem stanju nad 1000 kg/m^3). Histerezna zanka je v zgornjem higroskopskem območju neskljenjena zaradi velike razlike med inicialno desorpcijsko in adsorpcijsko krivuljo. Razlogi za to so v mikroskopskih razpokah med celičnimi elementi v samih celičnih stenah in v poudarjenih intercelularnih prostorih, ki znatno prispevajo h kapilarni kondenzaciji in visoki ravnovesni vlažnosti, ko se približujemo nasičenju. Sorpcijski model GAB se je pokazal kot primerno orodje pri analizi in primerjavi sorpcijskih karakteristik ksilita.

Po videzu ksilit spominja na plemenite lesne vrste z izrazito temno jedrovino (npr. ebenovino), vendar pa ima višjo dimenzijsko nestabilnost. Porušitve v celičnih stenah bistveno zmanjšajo prečno natezno trdnost. To pomeni veliko tveganje za nastanek razpok, tako med sušenjem kot tudi v uporabi pri spreminjajočih se klimatskih razmerah (Pollak, 2007). Glede na navedeno, ga kljub podobnosti z lesom ebenovine ne bi mogli enakovredno uporabljati kot nadomestek te lesne vrste za različne ekskluzivne galanterijske izdelke.

POVZETEK SUMMARY

Xylite is a lithotype of lignite, which can be found in Slovenia in the Velenje basin. The Velenje Mine, which has long

tradition in lignite mining, has supported a number of investigations, which were mainly focused to nature and amounts of xylite as well its properties and usefulness for energetic purposes (e.g. Justin and Markič, 2005).

The form and structure of xylite often indicate that it originates from tree stems. When it does not contain great amounts of mineral inclusions, it can be processed with wood working machines. Especially when polished, it often shows recognizable structure of wood and its colour resembles wood of species with dark coloured heartwood, like wenge (*Milletia laurentii*) or ebony (*Dyospiros* sp.). However, the wood was subjected to drastical changes in the long-term process of its transformation to xylite (duration ca. 2 million years).

At the Department of Wood Science and Technology we investigated xylite within the Xylite Study and Research project (Gorišek et al., unpublished), but its structure and properties compared to those of wood have not yet been studied in detail. The aim of this study is to present macroscopic and microscopic structure of xylite compared to wood from which it possibly originated. We have also studied physical properties of xylite that would be relevant for its potential use (as a substitution for wood) to produce various products. The examined properties have been compared with selected properties of wood species with similar visual appearance.

We made anatomical characterization of xylite, evaluated its state of preservation, defined its basic physical properties, and compared it to modern wood.

The investigation of thin slides under the light microscope revealed that xylite mainly consists of tracheids, which is typical of conifers. It contained uniseriate and homocellular rays, taxodioid like cross-field pits, and abundant axial parenchyma with inclusions, probably remnants of extractives. Axial and radial resin canals were not observed. The observed features are typical of conifers of the family Taxodiaceae (e.g. genera *Taxodium*, *Sequoia*, *Sequoiadendron*) and Cupressaceae (e.g. genera *Juniperus*, *Chamaecyparis*, *Cupressus*).

The structure of wood underwent considerable changes during the long term process of conversion from wood to xylite due to biochemical, geochemical and geological factors, and carbonization. Early wood experienced major changes resulting in completely collapsed lumina (due to transverse compressive forces acting in the radial and tangential directions). Latewood, which had thicker and more rigid cell walls, was less damaged.

Colourimetric properties of xylite in CIELab* system showed that its colour was comparable to the colour of commercial wood species with very dark heartwood. The brightness (L^*) of xylite was similar to that of ebony, whereas the components a^* and b^* were close to wenge.

Due to the collapse of cell walls and lumina, the density of xylite is high but the capillary structure and hygroscopicity, characteristic of wood, are preserved. The oven dry density (based on oven dry mass and oven dry volume) of xylite is 1.216 kg/m^3 , whereas the basic density (based on oven dry mass and maximal volume) was only 873 kg/m^3 due to large volume shrinkage. Collapse, especially that of early wood cells, is also reflected in pronounced radial shrinkage (9.7 %), followed by the unfavourable differential swelling ($q_T = 0.65 \text{ \% / \%}$, $q_R = 0.30 \text{ \% / \%}$). Sorption coefficient is the most favourable of all indicators of dimensional stability in the quasi-linear range of hygroscopicity. Equilibrium moisture content (EMC) of xylite obtained in the process of desorption was relatively high, while that in the process of adsorption was comparable to EMC of denser wood species with oven dry density above $1,000 \text{ kg/m}^3$. The hysteresis loop in the upper area of the hygroscopic range was not closed, possibly due to a considerable difference between initial desorption and adsorption curves. Microscopic checks between the cellular elements or in the cell walls are most likely the reasons for this. The checks enhance capillary condensation and high EMC, when climate approaches saturated vapour conditions. GAB sorption model has proven to be an appropriate tool for analysis and comparison of sorption characteristics of xylite with those of wood.

In conclusion we can say that the appearance of xylite resembles that of precious wood species with dark heartwood (such as ebony or wenge), except that it has much lower dimensional stability. Crushed cell walls significantly reduce transverse tensile strength. As a consequence, a high risk of crack formation during drying and during its exposure to changing climatic conditions exists. Despite its high similarity to ebony, xylite cannot be used, due to its properties, for various products as an equivalent substitute for ebony or other dark coloured high density woods.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Material smo pridobili v okviru projekta Proučevanje in raziskovanje ksilita – Standardizacija mikrolitotipov lignita

in njihova dimenzijska stabilizacija, ki ga je sofinanciral Premogovnik Velenje d.d.

VIRI

REFERENCES

- Anon. 2005. Oblikovanje v ksilitu. Akademija za likovno umetnost. Velenje. 47 s.
- Brezigar A. 1985/86. Premogova plast Rudnika lignita Velenje = Coal seam of the Velenje coal mine. *Geologija* 28/29: 319-336.
- Brus R. 2012. Drevesne vrste na Slovenskem, 2. dop. izdaja. Ljubljana, samozal., 406 s.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 185 s.
- Bechtel A., Sachsenhofer R. F., Markič M., Gratzner R., Lücke A., Püttmann W. 2003. Paleoenvironmental implications from biomarker and stable isotope investigations on the Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia), *Organic Geochemistry* 34: 1277-1298.
- DIN 6174 Colorimetric evaluation of colour coordinates and colour differences according to the approximately uniform CIELab colour space.
- Drobniak A., Mastalerz M. 2006. Chemical evolution of Miocene wood: Example from the Belchatow brown coal deposit, central Poland. *International Journal of Coal Geology* 66: 157- 178.
- Drovenik M. 1982. Nahajališča premogov. Ljubljana. Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo: 120 s.
- Hatcher P. G., Breger I. A., Earl W. L. 1981. Nuclear magnetic resonance studies of ancient buried wood—I. Observations on the origin of coal to the brown coal stage. *Organic Geochemistry* 3, 1-2: 49-55.
- Hatcher P. G., Breger I. A., Szeverenyi N., Maciel G. E. 1982. Nuclear magnetic resonance studies of ancient buried wood—II. Observations on the origin of coal from lignite to bituminous coal. *Organic Geochemistry* 4,1 : 9-18.
- Hon D. N. S., Shiraishi N. 2001. Wood and cellulosic chemistry. Marcel Dekker. 914 s.
- Gorišek Ž. 2007. Ksilit - zamenjava za ebenovino? *Korak (N. Gorica)* 8, 5: 23-27.
- Gorišek Ž. 2009. Les: zgradba in lastnosti, njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 178 s.
- Janin G., Gonzalez J., Ananias R., Charrier B., Da Silva G.F., Dilem A. 2001. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part I. Colorimetry theory for the CIELab system. *Maderas. Ciencia y Tecnologia* 3, 1-2: 3-13.
- Jannot Y., Kanmogne A., Talla A., Monkam L. 2006. Experimental determination and modelling of water desorption isotherms. of tropical woods: afzelia, ebony, iroko, moabi and obeche. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 121-124.
- Justin B., Markič M. 2005. Mikroskopska analiza velenjskega ksilita. Velenje, ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave: 22 s.
- Križnar M., 2000. Ksilotomske analize rjavih premogov iz Zasavja. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 62 s.
- Križnar M., 2009. Taksonomske raziskave oligocenskih in miocenskih lesov v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana, Naravoslovno tehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 161 s.
- Markič M., Sachsenhofer R. F. 2010. The Velenje lignite – Its petrology and genesis. *Geološki zavod Slovenije, Ljubljana*, 233 s.
- Pollak L. 2007. Proučevanje fizikalnih, mehanskih in sušilnih karakteristik ksilita. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 68 s.
- Timmermann E. O. 2003. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 220: 235- 260.