

GDK: 81+561.24:176.1 *Abies alba* (045)=163.6

Prispelo / Received: 05. 11. 2009

Sprejeto / Accepted: 25. 11. 2009

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

LES JELKE (*Abies alba*) KOT MATERIAL IN TKIVO DREVESKatarina ČUFAR¹, Martin ZUPANČIČ²

Izvleček

Predstavljen je pregled zgradbe, lastnosti in rabe lesa jelke (*Abies alba* Mill.), ki ima neobarvano jedrovino, srednjo gostoto, relativno dobre mehanske lastnosti in je uporaben za številne namene. Vrednost in uporabnost lesa zmanjšujejo predvsem slaba odpornost proti različnim škodljivcem ter pojav mokrega srca in kolesivosti. Lastnosti lesa in uporaba lesa jelke so podobne kot pri smreki (*Picea abies* Karst.). Jelovina ima prednost predvsem tam, kjer smola ni zaželena, kjer je zaželena odpornost na kisline in baze, ter za vodne konstrukcije. Na primeru dendrokronološko datiranega lesa iz arheoloških in zgodovinskih objektov v Sloveniji smo ugotovili, da so jelovino v preteklosti uporabljali pogosteje kot smrekovino. Dokaz za to so številne do 500 let stare konstrukcije in ostrejša zgodovinskih stavb. Na celičnem nivoju je les jelke sestavljen predvsem iz traheid in parenhimskih celic trakov. V zadnjih letih so bile v Sloveniji opravljene podrobnejše raziskave nastajanja lesa pri jelki, ki so pomembne za fiziologijo drevja in razumevanje lastnosti lesa kot materiala. Opravljenih je bilo tudi več raziskav sekundarnega floema, ki je ključnega pomena za preživetje dreves. Podajamo pregled in glavne ugotovitve teh raziskav.

Ključne besede: jelka, *Abies alba*, les, zgradba, lastnosti, smreka, *Picea abies*, dendrokronologija, nastajanje lesa

SILVER FIR Abies alba Mill. *WOOD AS RAW MATERIAL AND TREE TISSUE*

Abstract

We present the structure, properties and use of European silver fir (*Abies alba* Mill.) wood, which is known for its uncoloured heartwood, medium density, relatively good mechanical properties and the fact that it can be used for a great variety of products. The value and usefulness of fir wood are reduced due to low resistance against decay and deterioration, and frequent occurrence of wet heart, and ring shakes. The properties of fir wood are comparable to those of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). Fir is favoured where resin is not desired, where durability against acids and bases is important, and for water constructions. We present some examples of wooden constructions in archaeological or historical objects in Slovenia. The dendrochronologically dated wood was up to 500 years old. In the past centuries, fir was used more frequently than Norway spruce. On the cellular level, the wood of fir consists of tracheids and parenchyma cells. In Slovenia, several studies of wood formation have been conducted in recent years, which are important for a better understanding of the physiology of trees and quality of wood as material. Secondary phloem, which is particularly important for the survival of trees, has been studied as well. We review some main results of such studies.

Key words: silver fir, *Abies alba*, wood, structure, properties, Norway spruce, *Picea abies*, dendrochronology, wood formation

UVOD IN CILJI**INTRODUCTION AND OBJECTIVES**

Les jelke (*Abies alba* Mill.) je bil v Sloveniji zelo pomemben za gradbene konstrukcije. Danes je jelovina manj priljubljena in pogosto se zdi manj vredna v primerjavi s široko uporabljano smrekovino (*Picea abies* Karst.). Jelovino pogosto uporabljamo skupaj s smrekovino, saj si je les obeh vrst tehnološko podoben. Ob tem se zdi, da specifičnih lastnosti in prednosti jelovine ne poznamo več oz. da jih ne znamo povsem izkoristiti. V pričujočem prispevku želimo na osnovi pregleda literature in lastnih raziskav predstaviti zgradbo, lastnosti, napake ter rabo jelovine. Te lastnosti bomo predstavili tudi v primerjavi z lastnostmi smrekovine. Na primeru dendrokronološko datiranih konstrukcij in izdelkov iz jelovine želimo predstaviti, za kaj so jelovino uporabljali v preteklosti

in kako trajni so lahko izdelki iz jelovine. Nazadnje želimo predstaviti še les jelke na mikroskopski ravni. Les nastane z delovanjem kambija, ki proizvaja tudi tkiva skorje (sekundarni floem). Predstavljamo pregled nekaj novejših rezultatov slovenskih raziskovalcev o procesih nastajanja lesa in skorje, ki so pomembni za razumevanje fiziologije dreves in lastnosti lesa.

OPIS LESA JELKE**THE WOOD OF SILVER FIR**

Jelka (*Abies alba*) ima svetel rumenobel les s sivkastim nadihom. Beljava in neobarvana jedrovina se barvno ne ločita (slika 1a). Branike so razločne. Rani les je svetel in postopoma prehaja v temnejši kasni les. Jelovina ne vsebuje smolnih kanalov, zato nima značilnega vonja po smoli. Les je brez

¹ prof. dr. K. Č., BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, SI-1000 Ljubljana SLO

² M. Z., dipl.inž.les., BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, SI-1000 Ljubljana SLO

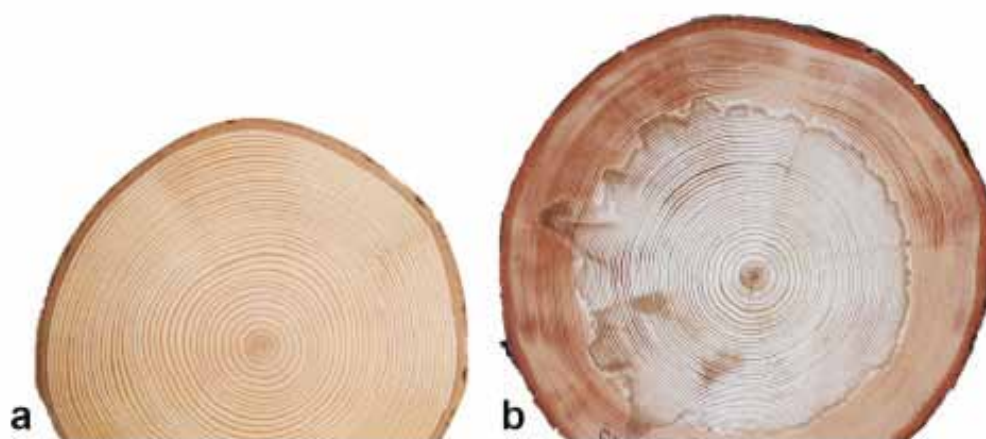
leska. Žagana jelovina ima dokaj okrogle grče, saj veje potekajo skoraj pravokotno na os drevesa.

Srednja gostota jelovine v absolutno suhem stanju (ρ_0) je 410 (razpon 320 do 710) kg/m^3 , gostota zračno suhega lesa (ρ_{15}) pa 450 (razpon 350 do 750) kg/m^3 (WAGENFÜHR 2007), kar pomeni srednjo gostoto. Srednja tlačna trdnost vzporedno z aksialnimi elementi je 40 MPa, upogibna trdnost vzporedno z aksialnimi elementi pa 62 do 68 MPa (GROSSER / TEETZ 1985). Porušitvena trdnost za gradben les znaša 2,5 do 3,5-kratno dopustno obremenitev pri statičnem obremenjevanju (GROSSER / TEETZ 1985). Jelovina se zmerno krči in ima po sušenju dobro dimenzijsko stabilnost. Totalni skrčki β znašajo: vzdolžni (β) 0,1 %, tangencialni (β) od 7,2 do 7,6 %, radialni (β) od 2,9 do 3,8 %, volumenski (β) od 10,2 do 11,5 % (WAGENFÜHR 2007). Diferencialno nabrekanje (q), ki predstavlja odstotni nabrek ob spremembi lesne vlažnosti za 1 %, je: radialni (q_{rad}) 0,14 %/%, tangencialni (q_{tang}) od 0,28 do 0,32 %/ in volumenski od 0,34 do 0,38 %/ (GROSSER / TEETZ 1985, WAGENFÜHR 2007).

Jelovina je neodporna proti škodljivcem in je uvrščena v razred 4 (neodporen les) po petstopenjski lestvici (SIST EN 350-2 1994, LESAR / HUMAR / OVEN 2008), zato nezaščiten ni primerna za uporabo na prostem. Trajnost lesa lahko podaljšamo, če ga ustrezno zaščitimo in vgradimo. Beljava se dobro impregnira, jedrovina pa zadovoljivo. Jelovina se dobro obnese na mestih s spremenljivo vlažnostjo. Suši se dobro in hitro ter ni nagnjena k zvijanju in pokanju. Če ima mokro

srdce, je treba sušilni režim prilagoditi večji začetni vlažnosti lesa. Večja vlažnost in manjša difuzivnost mokrega srca povzročata počasnejše sušenje lesa v primerjavi z normalno jedrovino in beljavo (TORELLI / SINJUR / GORIŠEK 2007). Dokaj dobro se obdeluje z vsemi orodji in stroji. Les je cepljiv, se dobro žeblija in vijači. Lepi se brez težav. Površinsko se dobro obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Les je izredno odporen proti kislinam in bazam. pH-vrednost lesa je 5,5 do 6,1, kar predstavlja rahlo kislo reakcijo (WAGENFÜHR 2007). Jelovina ima praviloma prem potek aksialnih elementov, če se pojavi izrazitejša spiralna rast, pa to štejemo za napako.

Jelka ima neobarvano jedrovino (TORELLI 2003, ČUFAR 2006), ki naj bi imela v živem drevesu vlažnost od 30 do 50 %, medtem ko je vlažnost beljave od 150 do 200 %. V zadnjem času se pri večini jelk predvsem na bazi drevesa na mestu jedrovine pojavlja mokro srce (slika 1b), ki ima lahko vlažnost tudi do 220 % (ČUFAR 1990, ČUFAR 2006). Mokro srce hirajočih jelk je v splošnem dokaj suho, a vsebuje mokrine (TORELLI *et. al.* 2005, TORELLI / SINJUR / GORIŠEK 2007). Mehanizem nastanka mokrega srca še ni popolnoma znan, pojasnjujejo ga predvsem s poškodbami koreninskega sistema in odlomi vej ter okužbami z bakterijami. Sveže mokro srce ima zaradi presnovnih produktov bakterij navadno neprijeten kiselkast vonj. Zaradi pogostega pojavljanja mokrega srca in s tem višje vlažnosti lesa jelovine ni priporočljivo sušiti skupaj s smrekovino, pri kateri se mokro srce ne



Slika 1: Jelovina: (a) zračno suh les brez barvnih razlik med beljavo in jedrovino; (b) kolot prizadete jelke takoj po poseku; mokro srce, nastalo na mestu neobarvane jedrovine, ima nepravilno obliko in neenakomerno vlažnost ter se lokalno jezikasto širi v beljavo; beljava je vlažna.

Fig. 1: Wood of silver fir: (a) air dried wood, sapwood and heartwood cannot be distinguished; (b) disc of affected silver fir immediately after felling; wet-heart formed in the place of uncoloured heartwood has irregular form and variable moisture content; locally tongue-shaped, it spreads into sapwood; sapwood is wet.

pojavlja (TORELLI *et. al.* 2005, TORELLI / SINJUR / GORIŠEK 2007). Les mokrega srca je praviloma manj permeabilen kot normalen les, kar je treba upoštevati pri sušenju, impregniranju, lepljenju in površinski obdelavi lesa. Svež les z mest mokrega srca je rahlo obarvan in je temnejši od beljave, vendar obarvanje po sušenju lesa navadno izgine (slika 1a).

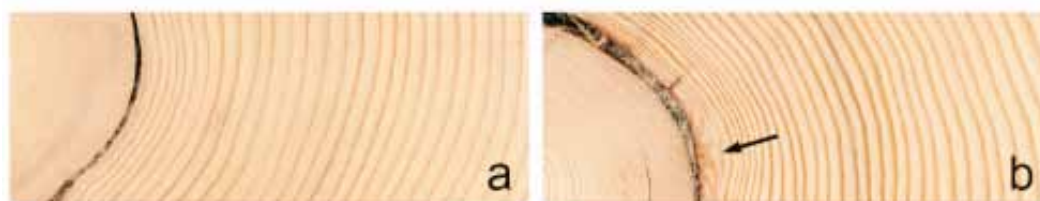
Pri jelki so pogoste krožne razpoke v deblu (kolesivost), ki nastanejo že med rastjo oz. takoj po poseku drevesa. Vzrok za nastanek kolesivosti so natezne radialne notranje napetosti, ki se v les vgradijo že med njegovim nastankom v kambiju (TORELLI 1998, ČUFAR 2006). Razpoka, ki poteka v tangencialni smeri, nastane na mehansko šibkem mestu v lesu. Takšno mesto navadno ponazarja nenadna sprememba širin branik (slika 2a), deležev ranega in kasnega lesa ali pojav mehanske poškodbe, ki jo spremljajo travmatski smolni kanali (sliki 2b in 5c), ki so del barierne cone v smislu modelnega koncepta CODIT (TORELLI, KRIŽAJ, OVEN 1994, OVEN 1997). Sprememba širin branik se navadno pokaže na bazi drevesa v osrednjem delu debla in je največkrat posledica spremembe rastnega ritma zaradi sprostitve rasti drevesa, ki je bilo prej zastrto in je imelo majhen prirastek. Travmatski smolni kanali nastanejo zaradi odziva kambija na mehansko poškodovanje (TORELLI / ČUFAR / ROBIČ 1989, OVEN 1997). Navadno so razvrščeni v tangencialnih nizih (vzporedno z letnico) (slika 5c). Pojav kolesivosti občutno zmanjša trdnost lesa in s tem njegovo uporabnost za konstrukcije. Poleg naštetega ima jelovina lahko še splošne napake lesa iglavcev: malolesnost, krivost, kompresijski les in z njim povezana ekscentričnost, zavita rast, grčavost, neenakomerno priraščanje, trohnoba, okužbe z insekti itd.

Na trgu jelovino ponujajo kot hlodovino, žagan les in luščen furnir. Pogosto jo prodajajo kot mešan sortiment skupaj s smrekovino. Veliko se uporablja za gradbeni les in različne konstrukcije, vrata in stenske opaže. Pri nas se veliko uporablja tudi za okna, v Nemčiji pa na primer jelovina in smrekovina zaradi nizke obstojnosti nista na seznamu vrst, primernih

za okna (Koch, osebna komunikacija). Ob skrbni izbiri lesa je primerna za pohištvo, vendar jo uporabljajo predvsem za manj vidne dele in za enostavnejše pohištvo. Zaradi sivkaste barve in obilnih temnih grč ter vlaknate površine je manj priljubljena za (ladijske) pode. Ker se dobro cepi, jo pogosto uporabljajo za izdelke iz cepljenega lesa, kot so na primer skodle in košare iz oblancev. Pomembna je uporaba za embalažo, zaboje, palete in lesno volno. Uporabljajo jo za drogove (vključno z jambori za jadrnice), telegrafске drogove in tramove. Iz jelovine izdelujejo tudi glasbene inštrumente, dele inštrumentov, kot je na primer resonančno dno, ter za orgelske piščali. Zadnja leta je jelovina zelo priljubljena tudi za savne. Pomembna je za proizvodnjo furnirskih plošč, opažnih plošč, sredic mizarskih plošč, ivernih in vlaknenih plošč, plošč iz lesne volne in drugih lesnih tvoriv kot tudi za pridobivanje celuloze in papirja. Nenazadnje naj omenimo še to, da v nasprotju z lesom skorja jelke vsebuje smolne kanale. V preteklosti so iz smole v jelovi skorji pridobivali terpentin.

PRIMERJAVA LESA JELKE IN SMREKE COMPARISON OF SILVER FIR AND NORWAY SPRUCE WOOD

Les jelke je podoben lesu smreke (*Picea abies*). Glavno anatomsko razliko bomo našli v normalnih smolnih kanalih, ki se pojavljajo samo v smrekovini, pri jelovini pa jih ni. Les smreke zato diši po smoli in ima svilnat lesk. Barva smrekovine je nekoliko bolj rumenkasta od barve jelovine, beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Jelovina je v primerjavi s smrekovino nekoliko bolj sivkasta, brez leska, krhkejša in vlaknata ter ima obilnejše, močnejše, trše in nekoliko ovalne grče. Oblika preseka grč je odvisna od položaja vej v drevesu in obilnosti kompresijskega lesa v njih, v žaganem lesu pa tudi od smeri žaganja. Lastnosti lesa obeh vrst so primerjalno podane v preglednici 1.



Slika 2: Les jelke s krožno razpoko – kolesivostjo: (a) na mestu, kjer se je nenadoma spremenila dinamika rasti oz. širine branik, (b) v bližini mehanske poškodbe (puščica).

Fig. 2: Ring shake in silver fir: (a) in the place of abrupt growth rate (tree-ring width) change, (b) near tissue formed as a response to mechanical wounding (arrow).

Smrekovina ima nekoliko višjo gostoto, primerljivo trdnost ter nekoliko bolj »deluje« (se krči in nabreka) kot je-

lovina (preglednica 2). Smrekovina je tako kot jelovina neodporna proti škodljivcem (razred odpornosti 4) in se zado-

Preglednica 1: Primerjava lesa jelke in smreke. Opis po virih: GROSSER / TEETZ 1985, ČUFAR 2006, WAGENFÜHR 2007.

Table 1: Comparison of silver fir and Norway spruce wood; description after GROSSER / TEETZ 1985, ČUFAR 2006, WAGENFÜHR 2007

Lastnosti lesa Wood properties	Jelka (<i>Abies alba</i>) <i>Silver fir (Abies alba)</i>	Smreka (<i>Picea abies</i>) <i>Norway spruce (Picea abies)</i>
Barva lesa in lesk <i>Colour and lustre</i>	svetla, rumenobela s sivkastim nadihom <i>light-coloured, yellow-white with greyish tone</i>	svetla, rumenobela, s svilnatim leskom <i>light-coloured, yellow-white with silky lustre</i>
Beljava in jedrovina <i>Sapwood and heartwood</i>	beljava in jedrovina se barvno ne ločita, jedrovina neobarvana, sveža hlodovina ima lahko mokro srce, beljava in jedrovina suhega lesa se barvno ne ločita <i>heartwood is uncoloured, logs can contain wet heart, in dry condition sapwood and heartwood cannot be differentiated</i>	jedrovina neobarvana, sveža jedrovina manj vlažna kot beljava, zato je svetlejša, beljava in jedrovina suhega lesa se barvno ne ločita <i>heartwood is uncoloured, in green condition moisture content of heartwood is lower than that of sapwood and sapwood is therefore darker, in dry condition sapwood and heartwood cannot be differentiated</i>
Vonj <i>Odour</i>	sveže mokro srce ima neprijeten kiselkast vonj <i>wet heart with unpleasant odour</i>	diši po smoli <i>pleasant odour (resin)</i>
Branike <i>Growth layers</i>	razločne <i>distinct</i>	razločne <i>distinct</i>
Rani in kasni les <i>Earlywood, latewood</i>	se jasno ločita <i>distinct differences, transition from earlywood to latewood gradual</i>	se jasno ločita <i>distinct differences, transition from earlywood to latewood gradual</i>
Grče <i>Knots</i>	okrogle <i>round</i>	ovalne <i>oval</i>
Smolni kanali v lesu <i>Resin canals</i>	normalnih smolnih kanalov ni <i>no normal resin canals</i>	normalni aksialni in radialni smolni kanali <i>with normal axial and radial resin canals</i>
Trakovi <i>Ray tissue</i>	homocelularno <i>homocellular</i>	heterocelularno <i>heterocellular</i>
Piknje v križnih poljih <i>Cross-field pits</i>	taksodiodne <i>taxodioid</i>	piceoidne <i>piceoid</i>
Sušenje <i>Drying</i>	brez težav, zaradi mokrega srca je ni priporočljivo sušiti skupaj s smrekovino <i>without problems, due to wet-heart it should not be dried together with spruce</i>	brez težav <i>without problems</i>
Obdelavnost <i>Woodworking</i>	dobra, slabša kot pri smreki <i>not as good as in spruce</i>	dobra <i>good</i>
Površinska obdelava <i>Coating</i>	dobra, na mestu mokrega srca spremenjen navzem <i>generally good, uptake of solvents in wet-heart changed compared to that in sapwood</i>	dobra <i>good</i>
Razred odpornosti <i>Durability class</i>	4 neodporen <i>4 slightly durable</i>	4 neodporen <i>4 slightly durable</i>
Impregniranje <i>Impregnability</i>	beljava z lahkoto, jedrovina zadovoljivo <i>sapwood good, heartwood satisfactory</i>	zadovoljivo do težavno <i>satisfactory to hard</i>
pH-vrednost lesa <i>pH of wood</i>	5,5 - 6,1	5,0
Specifične napake <i>Specific defects</i>	mokro srce, kolesivost <i>wet-heart, ring shakes</i>	smolni žepi, obilna smola <i>resin pockets, abundant resin</i>
Uporaba <i>End-use</i>	podobna kot uporaba smrekovine (desni stolpec), ima prednost, kjer smola ni zaželena, kjer je potrebna velika odpornost lesa proti kislinam in bazam, za lesene kontejnerje (embalažo), savne, zemeljske in vodne konstrukcije (npr. pilote, pristaniške stebre, jezove, zapornice, napeljave pri vodnjakih) <i>similar to use of spruce (see right column), favoured when resin is not desired, when resistance to acids and bases is required, for wooden containers (packaging), hydraulic constructions (e.g. piles, port constructions, flood gates, water pipes)</i>	pohištvo, gradben in konstrukcijski les, ostrešja, skodle, ogrodne konstrukcije, stene, stropi, notranje in zunanje obloge, fasade, okna, vrata, podi, stopnice, balkoni, pergole, ograje, betonski opaži, drogovi, lesni kompoziti (furnir, sredice mizararskih plošč, iverne in vlaknene plošče itd.) <i>furniture, construction timber, roof constructions, shingles, frames, walls, ceilings, inner and outer covering, facades, windows, doors, flooring, form-boards, masts and wood based panels (e.g. plywood, fibre and particle boards)</i>

voljivo do težko impregnira. Smrekovina nima mokrega srca in ni nagnjena k pojavu kolesivosti, ima pa napake, povezane s smolnimi kanali (smolni žepi) in posledično z obilnim pojavom smole. Smreke so že med rastjo pogosto okužene z »rdečo trohnobo«. Taka okužba lahko les debela popolnoma razvrednoti. Smrekovina se v splošnem bolje obdeluje kot jelovina, zato je bolj priljubljena za stavbno in pohištveno mizarstvo. Glede na navedene lastnosti jelovine dajejo prednost tam, kjer smola ni zaželena in kjer je potrebna velika odpornost lesa proti kislinam in bazam. Jelovina je primernejša od smrekovine še za: lesene kontejnerje (embalažo), za zemeljske in vodne konstrukcije (npr. za pilote, pristaniške stebre, jezove, zapornice, napeljave pri vodnjakih ipd.) ter za savne.

RABA JELOVEGA LESA V PRETEKLOSTI USE OF WOOD IN THE PAST

Prednosti jelovine spoznavamo pri preučevanju lesenih predmetov iz preteklih obdobij, saj so ljudje že v prazgodovini dobro poznali lastnosti različnih lesnih vrst. V Sloveniji smo raziskali veliko lesa iz koliščarskih naselbin iz obdobja približno 3800 do 2400 pr.n.št. Koliščarji so za lesene pilote, ki sestavljajo večino arheološkega lesa na Ljubljanskem bar-

Preglednica 2: Primerjava fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa jelke in smreke. Viri: GROSSER / TEETZ 1985, ČUFAR 2006, WAGENFÜHR 2007.

Table 2: Physical and mechanical properties of silver fir and Norway spruce wood; description after GROSSER / TEETZ 1985, ČUFAR 2006, WAGENFÜHR 2007.

Lastnosti lesa Wood properties	Jelka (<i>Abies alba</i>) Silver fir	Smreka (<i>Picea abies</i>) Norway spruce
Gostota lesa v absolutno suhem stanju / Oven-dry density (ρ_0)	320...410...710 kg/m ³	300...430...640 kg/m ³
Gostota zračno suhega lesa / Air-dry density (ρ_{15})	350...450...750 kg/m ³	330...470...680 kg/m ³
Tlačna trdnost / Compression strength II*	40 MPa	40 - 43 MPa
Upogibna trdnost / Bending strength II*	62 - 68 MPa	66 - 68 MPa
E-modul iz upogiba / Modulus of elasticity from bending II	10 - 11 GPa	10 - 11 GPa
Krčenje - totalni skrčki / Total shrinkage (β)		
Vzdolžno / Axial (β_l)	0,1 %	0,3 %
Tangencialno / Tangential (β_t)	7,2 - 7,6 %	7,8 %
Radialno / Radial (β_r)	2,9 - 3,8 %	3,6 %
Volumensko / Volume (β_v)	10,2 - 11,5 %	12,0 %
Diferencialno nabrekanje / Differential swelling (q)***		
Radialni / Radial (q_{rad})	0,14 %/%,	0,19 %/%
Tangencialni / Tangential (q_{tang})	0,28 - 0,32 %/%	0,36 %/%
Anizotropija nabrekanja / Anisotropy q_{tang} / q_{rad}	2,0	1,9

*II-vzporedno z aksialnimi elementi / parallel to grain

**od točke nasičenja celičnih sten do absolutno suhega stanja / from fibre saturation point to oven-dry condition

*** odstotni nabrek ob spremembi lesne vlažnosti za 1 % / swelling (%) when moisture content of wood is changed for 1%

ju, uporabljali predvsem les listavcev. Ta je verjetno uspeval v bližini naselbin. Les jelke smo zabeležili redko, npr. na najstarejšem kolišču Hočevarica iz obdobja 3800 do 3600 pr.n.št. (npr. ČUFAR / VELUŠČEK 2004) in v naselbini Stare gmajne iz časa okoli 3100 pr.n.št., od koder izvira tudi najstarejše leseno kolo (Čufar in Velušček, neobjavljeno). Ostanke obeh kolišč ležijo v bližini gradu Bistra, kjer Ljubljansko barje prehaja v kraški svet. Tam je najverjetneje že v prazgodovini uspeval jelov bukovo gozd. Delež jelovih kolov je bil na obeh koliščih zelo majhen.

Po nam znanih podatkih je bila ena najstarejših dokumentiranih uporab, kjer so smiselno izkoriščali prednosti jelovine, zabeležena pri preučevanju lesenih predmetov in konstrukcij iz prazgodovinskih rudnikov v Avstriji. Jelov les so na primer uporabljali v prazgodovinskih rudnikih bakra pri Kitzbühlu. Iz najdb lesa jelke, datirane v obdobje 1389-1357 pr.n.št., so ugotovili, da so prazgodovinski tesarji dobro poznali njene lastnosti in da so ji dajali prednost pri uporabi za vodne konstrukcije (PICHLER / NICOLUSSI / GOLDENBERG 2009).

GRABNER *et al.* (2007) opisujejo rabo jelovega lesa v bronastodobnih rudnikih soli v Hallstattu, kjer sta med raziskanim arheološkim lesom prevladovali jelovina in smre-

kovina. Jelovino so skupaj s smrekovino na primer uporabili za izdelavo najstarejših lesenih stopnic, datiranih v leto 1344 pr.n.št. V tem primeru so obe vrsti uporabili enakovredno, saj specifične lastnosti posamezne vrste pri takem izdelku niso prišle do izraza. Zanimiva je uporaba jelovine za pripravo trsk, ki so jih uporabljali za razsvetljavo pri delu v rudniku. Trske so cepili iz ravno raščenih debel brez grč. Bile so izključno jelove in njihovih ostankov je v rudnikih zelo veliko (Grabner, osebna komunikacija). Grabner in sodelavci še niso ugotovili, zakaj so za ta namen uporabljali izključno jelovino, niti jim ni uspelo ugotoviti, ali so na podoben način uporabljali jelov les tudi kje drugje oz. če se je podobna uporaba kje ohranila do danes.

Raziskali smo tudi les jelke iz rimskodobnih najdišč na Vrhniki in v Ljubljani. Na Vrhniki so arheologi izkopali jelov les iz različnih konstrukcij (Horvat, Čufar in sodelavci, neobjavljeno). Posebej zanimivi so bili sodi iz lesa jelke in smreke, ki so bili sekundarno uporabljeni za vodnjake. Sodi, z datumom zadnje branike 10 n.št., so bili glede na trgovske oznake verjetno uvoženi, zanje pa so uporabili jelovino in smrekovino. V Ljubljani je bil raziskan zbiralnik za vodo iz lokalnega jelovega lesa z datumom zadnje branike 4 n.št., kar se časovno ujema z obdobjem, ko so ustanavljali rimsko

Emono (Novšak, Čufar in sodelavci, neobjavljeno) (preglednica 3). Jelove sode so v rimskem času na podoben način uporabljali povsod po Evropi (Tegel, osebna komunikacija). Iz kasnejšega obdobja so se ohranili ostanki lesenih cevi iz jelke. Naredili so jih tako, da so v jelove tramove vzdolžno izvrtali luknje premera nekaj centimetrov (Tegel, osebna komunikacija). V takem primeru je bila kolesivost zaželena, saj je olajšala vrtanje.

Na Oddelku za lesarstvo smo raziskali tudi precej jelovega lesa iz zadnjega tisočletja, o čemer smo že poročali (ČUFAR / LEVANIČ 1998, LEVANIČ / ČUFAR 2000). V preglednici 3 je predstavljen izbor reprezentativnih objektov, kjer je bil vgrajen les jelke, ki smo ga dendrokronološko datirali. V preglednici navajamo leto najmlajše branike na objektu, z zvezdico pa je označen les, ki še vedno rabi svojemu namenu v konstrukciji. Les iz 16. stoletja je bil v glavnem najden v ostankih tramov iz predhodnih konstrukcij ali v dekorativnih, poslikanih in neposlikanih stropih (slika 3). Pri tem so bili na primer stropni tramovi iz Tavčarjeve hiše odžagani med eno izmed prenov stavbe in ne opravljajo več svoje vloge, poslikani strop v Dvoru je bil po nam znanih podatkih restavriran in je vgrajen na prvotnem mestu. Poslikani strop v gradu Pišece so odkrili naključno, saj je bil dolgo prekrit z novejšim



Slika 3: Jelovina v konstrukcijah: (a, b) dvorec Novo Celje, kjer so datirali ostrešje in stropne konstrukcije (datum zadnje branike 1758); (c, d) grad Pišece, poslikani strop (datum zadnje branike 1574) in talna konstrukcija (datum zadnje branike 1754).

Fig. 3: Fir wood in constructions: (a, b) Novo Celje Manor with dated roof and floor constructions (date end 1758), (c, d) Pišece Castle, painted ceiling (date end 1574) and floor construction (date end 1754).

stropom, njegova trenutna usoda pa nam ni znana. Podobno je bilo nekaj lesa iz 17. stoletja zamenjanega, nekaj pa ga je še vedno v uporabi. Med konstrukcijami iz 18. stoletja, kjer les po več kot 250 letih še v celoti opravlja svojo nalogo, naj omenimo predvsem cistercijanski samostan Stična (VOVK, 2003) in dvorec Novo Celje (ŠOLINC, 2003).

Pregled konstrukcij priča, da je sicer neodporna jelovina lahko zelo trajna, kadar je pravilno uporabljena. S tem mislimo predvsem na konstrukcijske rešitve, kjer je les zaščiten pred vlago in zamakanjem.

Naše raziskave kažejo, da so bila ostrejša in konstrukcije samostanov, gradov, palač in cerkva v preteklosti pogostejše

Preglednica 3: Lesene konstrukcije iz jelovine, datirane na Oddelku za lesarstvo. Datum ponazarja leto nastanka zadnje branike na objektu.

Table 3: *Wooden constructions made of silver fir dated at the Department of Wood Science and Technology. Date-end represents the calendar year in which the outermost tree-ring of the object was formed.*

Kraj, objekt <i>Location, facility</i>	Del konstrukcije <i>Part of construction</i>	Datum <i>Date End</i>	Objava <i>Published</i>
Ljubljana, arheološko najdišče / <i>archaeological site</i>	vodni zbiralnik / <i>water reservoir</i>	4 A.D.	-
Vrhnika, arheološko najdišče / <i>archaeological site</i>	sodi, ponovno uporabljeni za vodnjak / <i>water well - reused barrels</i>	10 A.D.	-
Ljubljana, Tavčarjeva hiša / <i>Tavčar House</i>	ostanki tramov bivše nadstropne konstrukcije / <i>remains of former storeyed construction</i>	1511	-
Dvor, cerkev / <i>church</i>	poslikani strop / <i>painted ceiling*</i>	1574	-
Bizeljsko, Pišece, grad / <i>castle</i>	poslikan strop / <i>painted ceiling</i>	1574	-
Ortnek, graščina / <i>castle</i>	pržižnica / <i>pulpit</i>	1617	-
Begunje, Drnča dvorec / <i>manor</i>	nosilci stropa / <i>ceiling joists</i>	1626	-
Ljubljana, Turjaška palača / <i>Auersperg Palace</i>	stropniki v različnih sobah zamenjani ob prenovi leta 2000 / <i>ceiling joists removed in 2000</i>	1641	GASER 2003
Kranj, župna cerkev / <i>parish church</i>	leseni oltar / <i>wooden altar*</i>	1649	-
Grad Šteberk, Narodni muzej Ljubljana / <i>Šteberk Castle</i>	dekorativni strop iz gradu, danes v muzeju / <i>castle ceiling now in museum</i>	1661	ČUFAR / LOZAR ŠTAMCAR 2004
Ljubljana, Tavčarjeva hiša / <i>Tavčar House</i>	dekorativni strop / <i>ceiling*</i>	1680	-
Novo mesto, Kapiteljska kašča / <i>Kapitelj granary</i>	lesene konstrukcije / <i>wooden constructions</i>	1691	-
Stična, samostan, peričina hiša / <i>monastery - washerwoman house</i>	ostrešje / <i>roof construction*</i>	1711	VOVK 2003
Stična, samostan, cerkev / <i>monastery church</i>	ostrešje / <i>roof construction*</i>	1712	VOVK 2003
Ljubljana, Turjaška palača / <i>Auersperg Palace</i>	stropniki v različnih sobah zamenjani ob prenovi leta 2000 / <i>ceiling joists removed in 2000</i>	1715	GASER 2003
Stična, samostan, opatova kapela / <i>monastery, abbot's chapel</i>	ostrešje / <i>roof construction*</i>	1748	VOVK 2003
Stična, samostan, oddelek za goste / <i>monastery, guest rooms</i>	ostrešje / <i>roof construction*</i>	1747	VOVK 2003
Begunje, Drnča dvorec / <i>manor</i>	nadstropne konstrukcije / <i>floor constructions</i>	1750	-
Kranj, grad Kieselstein / <i>castle</i>	nadstropne konstrukcije / <i>floor constructions</i>	1750	-
Grebenje, kozolec / <i>hay rack</i>	konstrukcija (brez stebrov)* / <i>construction*</i>	1751	LEVANIČ / ČUFAR 2000
Bizeljsko, Pišece, grad / <i>castle</i>	nadstropne konstrukcije / <i>floor constructions</i>	1754	-
Novo Celje, graščina / <i>manor</i>	nadstropne konstrukcije, ostrešje / <i>floor and roof constructions*</i>	1758	ŠOLINC 2003
Piran, župnišče / <i>parochial house</i>	konstrukcije / <i>constructions</i>	1827	-
Sv. Primož nad Kamnikom, cerkev sv. Primoža in Felicijana / <i>church</i>	ostrešje / <i>roof*</i>	1848	PERČIČ 2002; PERČIČ / ČUFAR / ZUPANČIČ 2004
Lovrenc na Pohorju	Kasjakova hiša / <i>Kasjak House*</i> gospodarsko poslopje / <i>farm building*</i>	1852 1887	STOPAJNIK 1997, LEVANIČ / ČUFAR 1998

(-) neobjavljeno / *unpublished*

(*) konstrukcija je še v uporabi / *construction still in use*

narejena iz jelovine kot iz smrekovine, od konca 19. stoletja naprej pa je smrekovina postala pogostejša. To velja predvsem za osrednjo Slovenijo, Notranjsko, Dolenjsko, Štajersko in primorska mesta. Jelovino so uporabljali na območjih, kjer uspevajo jelovi gozdovi, pogosto pa je bila pripeljana na območja, kjer jelka ne uspeva.

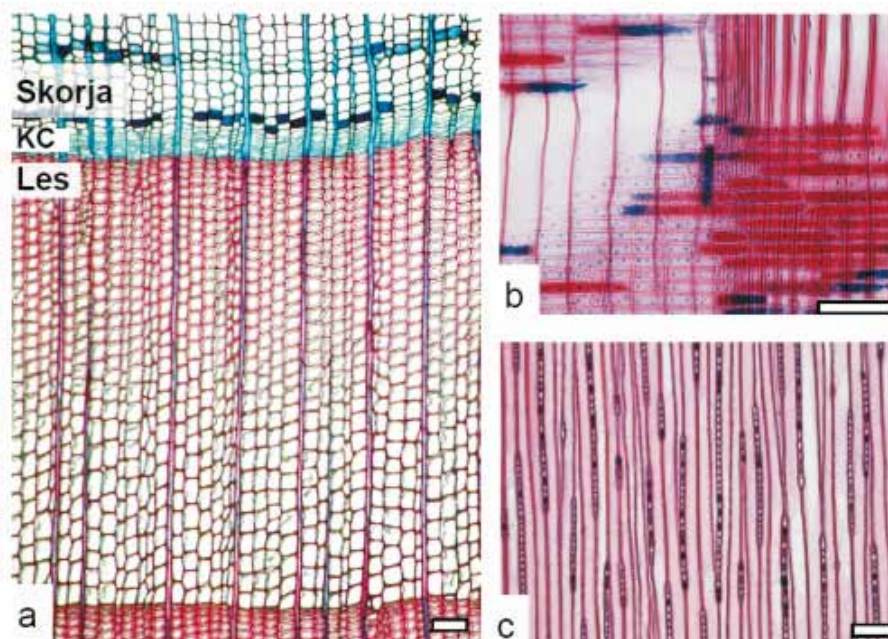
Dober primer za to je uporaba jelovine ob morju. V Kopru, Izoli in Piranu smo datirali številne stavbne konstrukcije (npr. ČUFAR / LEVANIČ 1998, LEVANIČ / ČUFAR 2000). Jelovino so uporabljali tudi v ladjedelništvu, na primer za jambore ladij. Več virov navaja, da so na Rakitni posekali jelko za 64 m dolg jambor, ki so ga leta 1894 peljali v Trst po jamborni cesti (npr. PAHOR / HAJNAL 1981). Jelova debla so uporabljali tudi za drevake - čupe, ki so bile v okolici Trsta v uporabi še v sredini 20. stoletja. V enem izmed poročil je navedeno, da so les za čupo kupili v okolici Pivke (VOLPI LISJAK 1995).

LES KOT TKIVO ŽIVIH DREVES WOOD AS TISSUE IN LIVING TREES

Les (sekundarni ksilem) nastane z delovanjem vaskularnega kambija. Na celičnem nivoju je les jelke pretežno sestavljen iz aksialnih traheid, ki so urejene v radialnih nizih. Traheide v posameznem nizu izvirajo iz iste kambijeve inicialke in imajo podobne tangencialne dimenzije. Zaradi raz-

lične radialne rasti v procesu diferenciacije se celice v istem nizu razlikujejo predvsem po radialnih dimenzijah, ki praviloma upadajo od ranega proti kasnemu lesu. Poleg tega imajo traheide ranega lesa tanke celične stene in velike lumne, v kasnem lesu pa so celične stene debele in lumni manjši (slika 4). Pri jelki rani les običajno postopno prehaja v kasni les. Ob letnici se občasno pojavlja tudi aksialni parenhim, ki ni običajen. Trakovno tkivo je homocelularno, sestavljeno iz trakovnih parenhimskih celic, ki jih povezujejo enostavne piknje, horizontalne stene trakovnih celic so močno piknjave. Kot že omenjeno, les jelke ne vsebuje normalnih smolnih kanalov (GROSSER 1977, SCHWEINGRUBER 1990, SCHOCH *et al.* 2004, ČUFAR 2006), ob poškodbi kambija pa se lahko pojavijo travmatski smolni kanali (slika 5c).

V obdobju 1985-1996 smo na Oddelku za lesarstvo sodelovali pri preučevanju propadanja jelke, ki je vključevalo predvsem raziskave lesa in skorje. Rezultati so bili pregledno povzeti v ČUFAR (1997). Ena glavnih značilnosti prizadetih jelk je bilo bistveno zmanjšanje prirastka in izpad branik (npr. TORELLI / ČUFAR / ROBIČ 1986, TORELLI *et al.* 1999, LEVANIČ 1996). Za ilustracijo slika 5a prikazuje normalno približno 3 mm široko braniko, slika 5(b in d) pa izjemno ozke in nesklenjene branike. Z uporabo modelov mortalitete smo ugotovili, da je izpad prirastka dober napovednik bližajoče se smrti drevesa. Kadar pri velikih odraslih jelkah izpad prirastka na prsni višini traja 10 let, je smrt skoraj neizbežna



Slika 4: Les jelke, mikroskopska zgradba: (a) prečni, (b) radialni in (c) tangencialni prerez. KC - kambijeve cona. Merilne daljice - 100 μ m.

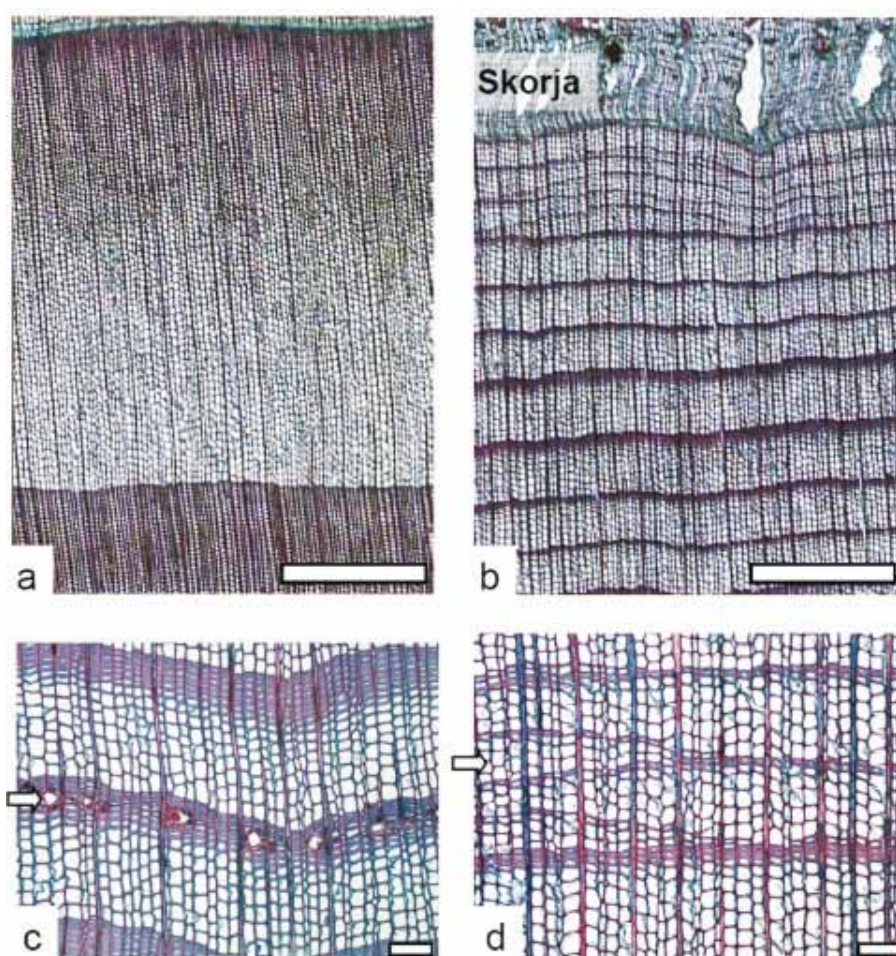
Fig. 4: Wood of silver fir, microscopic structure: (a) cross-, (b) radial, and (c) tangential section. Les - wood, KC - cambial zone, Skorja - bark. Bars 100 μ m.

(BIGLER *et al.* 2004), saj med drugim kambij ne proizvede dovolj lesnega tkiva za oskrbo drevesa z vodo in za zagotavljanje kapacitet za skladiščenje hrane.

Ker je zmanjšanje prirastka povezano z delovanjem kambija, smo v zadnjih letih podrobneje raziskali različne vidike nastajanja lesa pri jelki (GRIČAR / ČUFAR / SCHMITT 2003, SCHMITT *et al.* 2003, GRIČAR *et al.* 2005, GRIČAR / ČUFAR 2008, GRIČAR 2006, 2007a, 2009). Za spremljanje nastajanja lesa med rastno sezono sta bili uporabljeni metodi pining in vzorčenje intaktnih tkiv (GRIČAR 2006, 2007a, GRIČAR / OVEN / ČUFAR 2006, GRIČAR *et al.* 2007). Pri zdravih jelkah na Ravniku je bilo tako v letu 2003 ugotovljeno, da se je kambijeva aktivnost začela konec aprila in je trajala štiri mesece in pol, maksimalna celična produkcija pa je bila zabeležena okoli 21. junija, ko je dan najdaljši. Diferenciacija zadnje nastalih celic v braniki se je nadaljevala tudi potem, ko so se delitve v kambiju že zaključile. Uporaba transmisijskega elektronskega mikroskopa (TEM) je omogo-

čila tudi natančen vpogled v odlaganje slojev celične stene, kombinirana uporaba TEM in UV-mikrospektrofotometrije (UMSP) pa tudi spremljanje poteka procesa lignifikacije (GRIČAR 2001, GRIČAR / ČUFAR / SCHMITT 2003, GRIČAR / ČUFAR 2004, GRIČAR *et al.* 2005, GRIČAR 2006, 2007a). Ker les v glavnem sestavljajo celične stene in lumni, glavna gradnika celičnih sten pa sta celuloza in lignin, se v procesu nastajanja lesa določijo glavne lastnosti lesa.

Kambij poleg lesa proizvaja tudi sekundarni floem, ki je del skorje (slika 4a) (OVEN 1993, GRIČAR 2007b), zato v zadnjem času narašča tudi pomen raziskav nastajanja floema. Za tovrstne raziskave je uporabna predvsem metoda vzorčenja intaktnih tkiv (GRIČAR 2006, 2007a, GRIČAR *et al.* 2007). Novejše raziskave nastajanja floemske branike so pokazale, da se dinamika nastajanja floema razlikuje od dinamike nastajanja ksilema. Delitve v kambiju se na ksilemski in floemski strani začnejo in končajo istočasno, že pred reaktivacijo kambija pa se na floemski strani prične diferenciacija v



Slika 5: Les jelke, mikroskopska zgradba, prečni prerez: (a) široke branike, (b) ozke branike, (c) travmatski smolni kanali (puščica), (d) branika izklinjena oz. manjka (puščica). Merilne daljice (a, b) - 1 mm, (c, d) 100 μ m.

Fig. 5: Wood of silver fir, microscopic structure, cross-sections: a - wide rings, b - narrow rings, c - tangential row of traumatic resin canals (arrow), d - incomplete or missing ring (arrows). Skorja - bark. Bars (a,b) 1 mm, (c, d) 100 μ m.

1-2 plasteh floemskih derivatov kambija (GRIČAR / OVEN / ČUFAR 2005, GRIČAR / ČUFAR 2008). To kaže, da ima drevo že ob začetku vegetacijske dobe nove celice floema za prevajanje hrane, nastale pri fotosintezi. Ker floemska branika praviloma deluje samo eno leto, je vsakoletni nastanek novega floema ključen za preživetje drevesa.

V normalnih razmerah pri jelki v enem letu nastane bistveno več ksilema kot floema. Ksilem prevaja vodo. Pri jelki prevajanje vode poteka po več zunanjih branikah beljave. Širina ksilemskih branik je v veliki meri odvisna od zunanjih dejavnikov (npr. klime) v letu nastanka branike in od zdravstvenega stanja dreves. V skrajno neugodnih razmerah lahko nastanek ksilema izostane, vendar to (predvsem kadar izostane ena sama branika) ni usodno za preživetje drevesa.

Floem prevaja asimilate in floemske branike obdržijo sposobnost prevajanja eno do največ dve leti, zato je vsakoletni nastanek floemske branike nujen za preživetje drevesa. V neugodnih razmerah zato drevo »investira« najprej v nastanek floema in šele nato v nastanek ksilema.

Kambij navadno proizvede več ksilema kot floema. Pri prizadetih jelkah, kjer nastane malo ksilema ali ta celo ne nastane, pa se razmerje med nastalim ksilemom in floemom lahko spremeni, tako da v skrajnem primeru nastane več floema kot ksilema (KRŽE 2006, KRŽE /GRIČAR/ ČUFAR 2007, GRIČAR/ KRŽE / ČUFAR 2009).

Ker sta širina in zgradba floemskih branik odvisni od zdravstvenega stanja dreves, bo preučevanje floema v bodoče lahko pripomoglo k boljšemu razumevanju fiziologije dreves. Najnovejše študije kažejo, da preučevanje širine floemskih branik, njihova zgradba, razmerje med širino floemske in ksilemske branike ter širino kambija dajo informacije o stanju dreves, ki bi lahko bile pomembne za gospodarjenje z jelko. Za študij floema moramo odvzeti tkiva iz živih dreves in pripraviti preparate za opazovanje pod mikroskopom. Vzorčenje tkiv je destruktivno in drevo poškoduje, priprava preparatov, merjenje ter interpretacija rezultatov pa so zahtevni in zamudni. Vse to je trenutno glavna omejitev za širšo uporabo predstavljenih metode.

POVZETEK

SUMMARY

We present the wood of European silver fir (*Abies alba* Mill.) in accordance with GROSSER / TEETZ (1985), SIST EN 350-2 (1994), ČUFAR (2006), and WAGENFÜHR (2007). Fir wood is normally light-coloured, yellow-white

with greyish tone. The light coloured heartwood cannot be differentiated from the sapwood by colour. Freshly cut logs can contain wet-heart with increased moisture content (MC) and unpleasant odour. Growth rings are distinct, latewood can be distinguished from earlywood. Transition from earlywood to latewood is gradual. Knots are round and hard. Wood does not contain normal resin canals. Ray tissue is homogeneous, cross-field pits are taxodioid.

Fir wood has medium density and relatively good mechanical properties. It can be used for a great variety of products. Value and usefulness of wood are reduced due to low resistance against decay and deterioration, frequent occurrence of wet-heart, and ring shakes. Wood properties are only slightly different than those of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). Each of the species also contains characteristics that make it appropriate for some specific end-uses.

Drying of fir wood can be performed without problems. Due to the frequent presence of wet-heart, it should not be dried together with spruce. Machinability is fairly good, but not as good as in spruce. The uptake of liquid media (like varnishes and glues) is in the place of wet-heart different than in sapwood. The wood is only slightly durable (durability class 4). Impregnability of sapwood is fairly good, impregnability of heartwood satisfactory. pH of wood is 5.5 to 6.1. The most common and specific wood defects are wet-heart and ring shakes.

The use of fir wood is similar to the use of spruce, but spruce is nowadays generally more favoured for many purposes. Both species can be used for furniture, construction timber, roof constructions, shingles, frames, walls, ceilings, inner and outer coverings, facades, windows, doors, flooring, form-boards, wood based panels (e.g. plywood, fibre and particle boards), masts and pulp and paper. Fir is more favoured than spruce when resin is not desired and when higher resistance to acids and bases is required. It is well suited for wooden containers (packaging), hydraulic constructions (e.g. piles, port constructions, flood gates, water ducts). Its advantages are straight cylindrical stems, fairly good mechanical properties at relatively low density, wide use, availability, and acceptable price.

The dendrochronologically dated archaeological and historical facilities give us an insight into the past use of fir wood. Already in prehistory, the properties of fir wood were well known, therefore it was favoured in different hydraulic constructions as exemplified by dendrochronologically dated wood from salt and copper mines in the Austrian Alps

(GRABNER *et al.* 2007, PICHLER / NICOLUISSI / GULDENBERG 2009). At the Department of Wood Science and Technology, we dated the wood used for water reservoir (in Ljubljana) and wells (in Vrhnika), made of re-used barrels. Dating of wood to 4 A.D. and 10 A.D. confirmed that it was used in the Early Roman period.

We present a selection of dated wooden constructions made of silver fir from the 16th, 17th, 18th and 19th centuries. Among them, roof and floor constructions and ceilings predominate. Some of them are still in use. The constructions that have been in use for more than 250 years show that properly used fir wood can be very durable indeed.

The microscopic structure of wood is defined by processes in cambium where it is formed. We present microscopic structure of wood and review some of the latest results regarding wood formation in fir from various Slovenian sites (e.g. GRIČAR / ČUFAR / SCHMITT 2003, SCHMITT *et al.* 2003, GRIČAR *et al.* 2005, GRIČAR / ČUFAR 2008, GRIČAR 2006, 2007a, 2009). The importance of wood formation processes for wood as functional tissue in living trees and wood as a renewable material is discussed. As the cambium also produces the secondary phloem, we finally discuss the importance of phloem for understanding the physiology of fir (GRIČAR / OVEN / ČUFAR 2005, GRIČAR / ČUFAR 2008, KRŽE 2006, KRŽE / GRIČAR / ČUFAR 2007, GRIČAR / KRŽE / ČUFAR 2009). Recent investigations have shown that the studies of width and structure of phloem and the ratios between phloem and xylem rings and cambial zone can provide information on tree conditions, which can be highly useful for forest management (GRIČAR / KRŽE / ČUFAR 2009).

ZAHVALA

Avtorja se zahvaljujeva Javni agenciji za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS) za finančno podporo najinega dela v okviru programske skupine Lesarstvo in programa P4-0015.

VIRI

REFERENCES

BIGLER, C. / GRIČAR, J. / BUGMANN, H. / ČUFAR, K. 2004. Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management*, 199: 183-190

ČUFAR, K. 1990. Električna upornost tkiv, prirastne značilnosti in odziv na poškodbe pri zdravih in obolelih jelkah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 167 s.

ČUFAR, K. 1997. Umiranje jelke (*Abies alba* Mill.) v Sloveniji: pregled raziskav katedre za tehnologijo lesa. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 52: 165-186

ČUFAR, K., 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 185 s.

ČUFAR, K. / LEVANIČ, T. 1998. Referenčne kronologije za dendrokronološko datiranje v Sloveniji - stanje 1997. *Arheološki vestnik*, 49: 63-73

ČUFAR, K. / LOZAR ŠTAMCAR, M. 2004. Dendrokronološko datiranje lesenega stropa iz dvorca Šteberk na Cerkniskem. *Argo*, 47 (2): 74-80

ČUFAR, K. / VELUŠČEK, A. 2004. Dendrokronološke raziskave na koliščarski naselbini Hočevarica = Dendrochronological research of the Hočevarica pile dwelling settlement. V: VELUŠČEK, A. (ur.), Hočevarica : eneolitiko kolišče na Ljubljanskem barju = an eneolithic pile dwelling in the Ljubljansko barje, Opera Instituti archaeologici Sloveniae, 8. Ljubljana, Inštitut za arheologijo ZRC SAZU: 274-280

GASER, M. 2003. Dendrokronološke raziskave lesa iz Turjaške palače v Ljubljani. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 51 s.

GRABNER, M. / KLEIN, A. / GEIHOFFER, D. / RESCHREITER, H. / BARTH, F. E. / SORMAZ, T. / WIMMER, R. 2007. Bronze age dating of timber from the salt-mine at Hallstatt, Austria. *Dendrochronologia*, 24 (2-3): 61-68

GRIČAR, J., 2001. Lignifikacija traheid zdravih in prizadetih jelk (*Abies alba*). Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 69 s.

GRIČAR, J., 2006. Vpliv temperature in padavin na ksilogenezo pri jelki (*Abies alba*) in smreki (*Picea abies*). Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 181 s.

GRIČAR, J., 2007a. Ksilo- in floemogeneza pri beli jelki (*Abies alba* Mill.) in navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 106 s.

GRIČAR, J. 2007b. Sekundarni floem pri navadni jelki in navadni smreki. *Les*, 59 (3-4): 56-60.

GRIČAR, J. 2009. Sezonska dinamika debelinske rasti dreves. *Gozdarski vestnik* 64 (4): 195-201

GRIČAR, J. / ČUFAR, K., 2004. Uporaba transmisijske elektronske mikroskopije ter UV-mikrospektrofotometrije za določanje lignina v celični steni iglavcev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 73: 89 - 104

GRIČAR, J. / ČUFAR, K. / SCHMITT, U., 2003. Diferenciacija terminalnih traheid kasnega lesa pri navadni jelki v dormantnem obdobju. *Les* 55 (12): 412-415

GRIČAR, J. / ČUFAR, K. / OVEN, P. / SCHMITT, U., 2005. Differentiation of terminal latewood tracheids in silver fir trees during autumn. *Annals of Botany*, 95: 959-965

GRIČAR, J. / OVEN, P. / ČUFAR, K., 2005. Sezonska dinamika ksilogeneze in floemogeneze pri navadni jelki (*Abies alba* Mill.). *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 78: 57-68

GRIČAR, J. / OVEN, P. / ČUFAR, K., 2006. Metode za raziskave sezonske dinamike kambijeve aktinosti. *Les*, 58: 272-277

GRIČAR, J. / ZUPANČIČ, M. / ČUFAR, K. / OVEN, P. 2007. Wood formation in Norway spruce studied by pinning technique and intact tissue sampling method. *Wood research*, 52 (2): 1-9

GRIČAR, J. / ČUFAR, K. 2008. Seasonal dynamics of phloem formation in Silver fir and Norway spruce as affected by drought. *Russian Journal of Plant Physiology* 55 (4): 538-543

GRIČAR, J. / KRŽE, K. / ČUFAR, K. 2009. Number of cells in xylem, phloem and dormant cambium in Silver fir (*Abies alba*), in trees of different vitality. *IAWA Journal*, 30 (2): 121-133

GROSSER, D. 1977. *Hölzer Mitteleuropas*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer: 208 s.

GROSSER, D. / TEETZ, W. 1985. *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung). Vorkommen, Baum- und Stammform, Holzbeschreibung, Eigenschaften, Verwendung*. Central Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft m.b.H. und Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.

KRŽE, L. / GRIČAR, J. / ČUFAR, K. 2007. Razmerje med ksilemskim in floemskim prirastkom pri jelki (*Abies alba* Mill.). *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 84: 3-10

- KRŽE, L. 2006. Razmerje med ksilemskim in floemskim prirastkom pri različno vitalnih jelkah (*Abies alba* Mill.). Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 48 s.
- LESAR, B. / HUMAR, M. / OVEN, P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. *Les*, 60 (11/12): 408-414
- LEVANIČ, T., 1996. Dendrokronološka in dendroekološka analiza propadajočih vladajočih in sovladajočih jelk (*Abies alba* Mill.) v dinarski fitogeografski regiji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 166 p.
- LEVANIČ, T. / ČUFAR, K. 1998. The chronology of the silver fir (*Abies alba* Mill.) from Pohorje, Slovenia. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 55: 135-149
- LEVANIČ, T. / ČUFAR, K. 2000. Dendrokronološko datiranje objektov v Sloveniji = Dendrochronological dating of wooden objects in Slovenia. *RES., Dela, Papers*, 4/1999: 38-47
- OVEN P. 1993. Anatomija skorje in njen odziv na mehanska poškodovanja pri zdravih in prizadetih jelkah (*Abies alba* Mill.). Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 97 s.
- OVEN P. 1997. Odziv sekundarnega floema in ksilema ter kambija na mehanske poškodbe bele jelke (*Abies alba* Mill.), navadne smreke (*Picea abies* Karst.), rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) in evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.). Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 167 s.
- PAHOR M. / HAJNAL I. 1981. Po jamborni cesti --- v mesto na peklu. Prešernova družba, Ljubljana, 264 s.
- PERČIČ, D. 2002. Dendrokronološke raziskave kompleksa stavb na Sv. Primožu nad Kamnikom. Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 53 s.
- PERČIČ, D. / ČUFAR, K. / ZUPANČIČ, M. 2004. Dendrokronološke raziskave lesa iz stavb pri Sv. Primožu nad Kamnikom. *Kamniški zbornik*, 17: 269-274
- PICHLER, T. / NICOLUSSI, K. / GOLDENBERG, G. 2009. Dendrochronological analysis and dating of wooden artefacts from the prehistoric copper mine Kelchalm/Kitzbühel (Austria). *Dendrochronologia*, 27 (2): 87-94
- SCHMITT, U. / GRÜNWARD, C. / GRIČAR, J. / KOCH, G. / ČUFAR, K., 2003. Wall structure of terminal latewood tracheids of healthy and declining silver fir trees in the dinaric region, Slovenia. *IAWA Journal*, 24: 41-51
- SCHOCH, W. / HELLER, I. / SCHWEINGRUBER, F. H. / KIENAST F. 2004. Wood anatomy of Central European Species. – Online version, 2004: <http://www.woodanatomy.ch>
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1990. Microscopic wood anatomy, Mikroskopische Holzanatomie. Birmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen: 226s
- SIST EN 350-2 (1994) Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.
- STOPAJNIK, M. 1997. 284 let dolga jelova kronologija z območja Pohorja. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 47 s.
- ŠOLINC, S. 2003. Dendrokronološke raziskave lesa iz stavb na širšem celjskem območju. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 59 s.
- TORELLI, N. 1998. Rastne napetosti v drevesu in lesu. *Les*, 50 (4): 91-95
- TORELLI, N. 2003. Ojedritev – vloga in proces. *Les*, 55(11): 368-379
- TORELLI, N., KRIŽAJ, B., OVEN, P. 1994. Barrier zone (Codit) and wound-associated wood in beech (*Fagus sylvatica* L.). *Holzforchung Holzverwertung*, 46 (3): 49-51
- TORELLI, N. / SHORTLE, W.C. / ČUFAR, K. / FERLIN, F. / SMITH, K.T. 1999. Detecting changes in tree health and productivity of silver fir in Slovenia. *European Journal of Forest Pathology*, 29: 187-197
- TORELLI, N. / ČUFAR, K. / ROBIČ, D. 1986. Some wood anatomical, physiological and silvicultural aspects of silver fir dieback in Slovenia (NW Yugoslavia). *IAWA Bulletin new series* 7: 343-350
- TORELLI, N. / ČUFAR, K. / ROBIČ, D. 1989. Sluzne celice v skorji in travmatski smolni kanali v lesu kot možna simptoma umiranja jelke. *Gozdarski vestnik*, 47 (4): 163-167
- TORELLI, N. / GORIŠEK, Ž. / OVEN, P. / MERELA, M. 2005. Mokro srce pri jelki (*Abies alba* Mill.). *Les* 57 (1/2): 4-10
- TORELLI, N. / SINJUR, I. / GORIŠEK, Ž. 2007. Biologija mokrega srca pri navadni jelki (*Abies alba* Mill.) in njegove lastnosti. *Gozdarski vestnik*, 65 (10): 443-460
- VOLPI LISJAK, B. 1995. Slovensko pomorsko ribištvo skozi stoletja OD Trsta do Timave. Mladika, Trst, 349 s.
- VOVK, K. 2003. Dendrokronološke raziskave lesa iz samostana v Stični. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 67 s.
- WAGENFÜHR, R., 2007. *Holzatlas*, 6. izd. Fachbuchverlag im Carl Hanser Verlag, Leipzig: 816 s.