

Prezentacije suvremenih znanstvenih metoda istraživanja drva

Na Šumarskom je fakultetu u ožujku 2010. gostovao mladi znanstvenik Christian Lehringer iz Njemačke. U sklopu tog studijskog boravka Christian Lehringer i znanstveni novak Šumarskog fakulteta Vjekoslav Živković, dipl. ing., održali su predavanja sa znanstvenom tematikom, vezanom za njihova istraživanja u sklopu izrade doktorskih disertacija.

Christian Lehringer provodi istraživanja o mogućnostima povećanja permeabilnosti drva selektivnim djelovanjem pojedinih gljiva i enzimskom modifikacijom drva pod mentorstvom prof. dr. Holgera Militza iz Göttingena i dr. Klaus Richtera iz Züricha. Gostovanje je organizirano u sklopu projekta *Oplemenjivanje i modifikacija površine drva* i stalne suradnje grupe prof. dr. sc. Hrvoja Turkulina sa Švicarskim saveznom institutom za ispitivanja materijala i istraživanja (EMPA), s ciljem primjene metode mikrovlačnih ispitivanja, za koju je Šumarski fakultet međunarodni centar izvrsnosti, a koju su već prije provodili doktoranti prof. dr. Militza.

Tijekom predavanja o temi specifičnih aspekata anatomije drva Lehringer je predstavio izabrane rezultate različitih nedavnih istraživačkih aktivnosti usmjerenih uglavnom na detekciju specifičnih anatomskih i kemijskih obilježja reakcijskog drva te mogućnosti povećanja permeabilnosti slabo permeabilnih vrsta drva.

Drugim predavanjem pod naslovom *Primjena mikrovlačne metode u analitičkim ispitivanjima drva* Živković je napravio pregled metode mikrovlačnih ispitivanja za koja Šumarski fakultet od nedavno posjeduje kompletnu infrastrukturu – par stolnih kidalica *Pulmac*, koje u kombinaciji s mikroskopskim tehnikama također omogućuju proučavanje učinka kemijskih promjena uzrokovanih modifikacijama ili (foto)degradacijom materijala.

O čemu je zapravo riječ

Različitim metodama modifikacije drva moguće je proširiti područja primjene drva poboljšanjem njegovih svojstava – trajnosti, hidrofobnosti, tvrdoće ili postojanosti prema UV svjetlosti. Da bi se to postiglo, često je potrebno ostvariti penetraciju izabranog zaštitnog sredstva u drvo (sredstvo modifikacije). Upravo je zato potrebno povećati permeabilnost strukture drva, jer svaka vrsta drva nije jednako prikladna za impregnaciju. Neke su četinjače, poput smrekovine (*Picea abies* L. Karst) i jelovine (*Abies alba* Mill.), vrlo slabo permeabilne zbog aspiracije ograđenih jažica tijekom procesa sušenja, što kasnije bitno otežava (ograničava) penetraciju (transport) tekućina među susjednim traheidama. Aspiracija jažica može biti uzrokovana emboli-

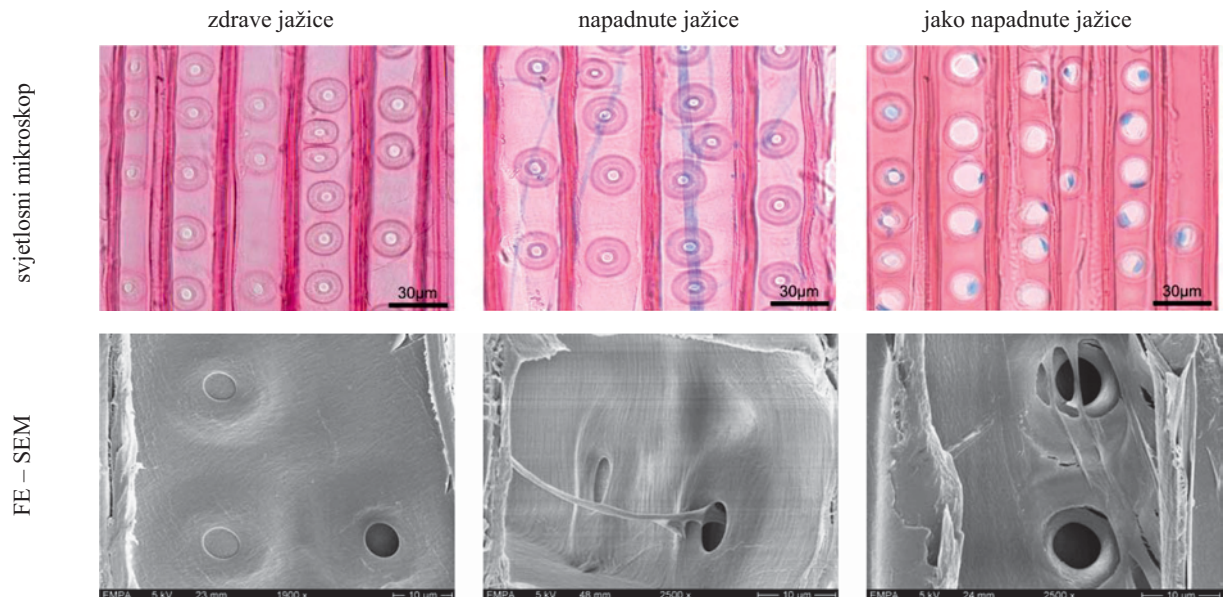
jom u bjeljici ili lignifikacijom marga (mrežaste opne koja se privije uz nadsvođenje jažice) u živom stablu tijekom procesa osušavanja, ali mnogo češće nastaje tijekom sušenja drva. Rezultat je mala i nedovoljna penetracija impregnacijskog sredstva, čak i uz primjenu tlačnih metoda impregnacije. Kako bi se ublažio spomenuti neželjeni učinak i postigla bolja permeabilnost materijala, kao jedna od metoda istražuje se mogućnost kontroliranog nastajanja dodatnih otvora za prolazak tekućine među stanicama (*engl.* bioincizing). Metoda podrazumijeva izlaganje drva gljivi bijele truleži (*Physisporinus vitreus* (Pers.) P. Karst.), koja uzrokuje selektivno propadanje membrana ograđenih jažica i jednostavnih jažica parenhima trakova, ali bez znatnijega negativnog utjecaja na mehanička svojstva materijala.

Kako se dokazuje selektivno propadanje materijala

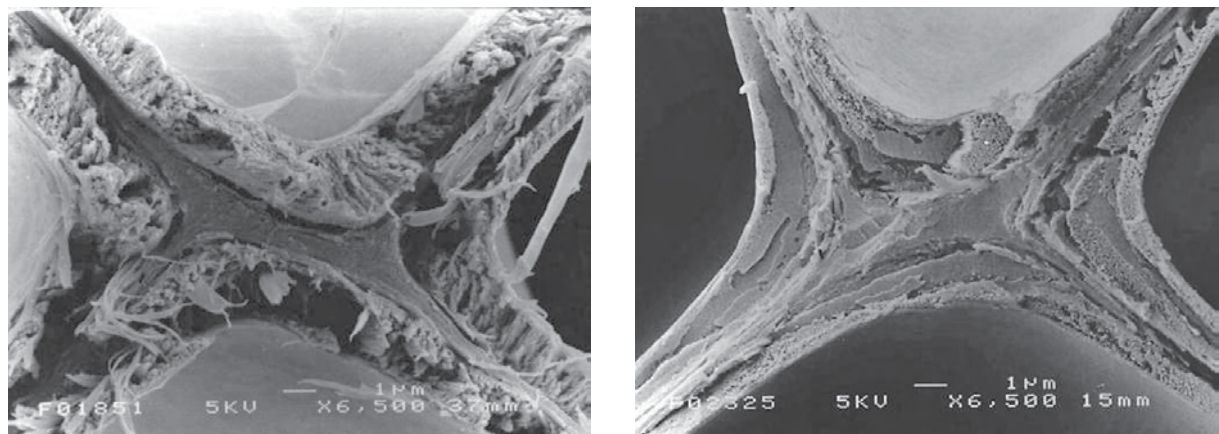
Iako ne omogućuju izravnu kvantifikaciju dobivenih rezultata, različite mikroskopske metode daju vrlo jasnu sliku strukturnih promjena. Ipak, prije primjene tih metoda, moguće je definirati kriterije prema kojima se, ovisno o intenzitetu promjena, rezultati svrstavaju u skupine, čime se osigurava njihova barem djelomična kvantifikacija. To praktično znači da se detaljnim pregledom, često i stotinā uzoraka, uočavaju i bilježe obilježja kao što su urednost stanične strukture, intenzitet aktivnosti gljiva ili broj oštećenih jažica. Primjer je istraživanje učinkovitosti gljive bijele truleži *Physisporinus vitreus* na povećanje permeabilnosti smrekovine. Svjetlosnim i elektronskim mikroskopom promatrana su tri granična stanja traheida (sl. 1): *zdrave jažice* – normalna stanična struktura, bez aktivnosti gljiva; *napadnute jažice* – vidljiva aktivnost hifa na jažicama, hife rastu kroz jažice i probijaju otvore kroz njih, uz kružna obojenja vanjskog ruba marga; *jako napadnute jažice* – torus i membrana jažice su razgrađeni, porus je znatno većeg promjera od uobičajenoga i istrzan.

Dragocjene informacije, primjerice, o strukturnim promjenama drva izloženog utjecaju atmosferilija moguće je također dobiti elektronskom mikroskopijom, koja često izravno reflektira prirodu promjena i same kemijske promjene.

Neizložene traheide ranog drva smrekovine pokazuju žilav i razvlakljen lom (sl. 2). Vide se izvučeni snopići i radijalne aglomeracije mikrofibriila (prirodne nakupine mikrofibriila orijentirane poprečno na staničnu stjenku). Za razliku od prirodnog drva, stanične stijenke drva izloženog UV svjetlosti i visokoj relativnoj vlažnosti pokazuju krtost i delaminaciju u području središnje lamele (sl. 2. desno).



Slika 1. Izgled ograđenih jažica prije i nakon pet odnosno sedam tjedana inkubacije gljivom *Physisporinus vitreus* (Lehringer et al., 2010)



Slika 2. Izgled traheida neizloženoga (lijevo) i izloženoga ranog drva smrekovine (desno) (Turkulin et al., 1997)

Mikroskopom s ultraljubičastim svjetlosnim zrakama moguće je vrlo precizno pratiti promjene sadržaja lignina tijekom vremena izlaganja drva. Skeniranje poprečnog presjeka probe obavlja se uz pomoć ultravioletnog mikrospektrofotometra (UMSP) pri konstantnoj valnoj duljini od 278 nm, što je ujedno najveća apsorpcija lignina listača. Sadržaj lignina se nakon skeniranja očituje u obliku dvodimenzionalne slike od 14 boja koje predočuju 14 razreda intenziteta apsorpcije.

Slika 3.a) prikazuje uobičajenu raspodjelu lignina po poprečnom presjeku stanične stijenke, pri čemu je najveći udio vidljiv u središnjoj lameli i primarnom sloju stijenke (zeleno i ljubičasto obojenje). Nakon devet tjedana inkubacije (sl. 3.b), a pogotovo nakon 32 tjedna (sl. 3.c) vidljivo je izrazito smanjenje intenziteta apsorpcije, a time i udjela lignina u staničnim stijenka-ma.

Fluorescentna mikroskopija

Smanjenje fluorescencije odražava selektivnu delignifikaciju materijala uzrokovanu djelovanjem *P. vitreus* (sl. 4). Karakteristična delignifikacija srednjeg podsloja sekundarnog sloja stanične stijenke uzroko-

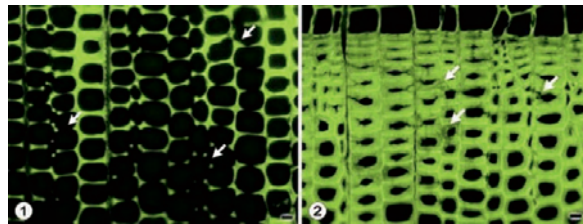
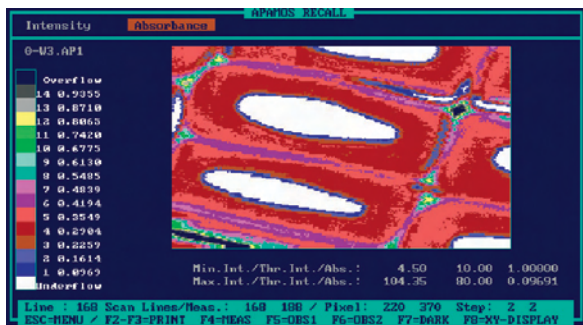
vana gljivom uzročnicom bijele truleži počinje iz lumena i širi se prema središnjoj lameli. Istodobno je lokalno uočena i meka trulež, koja se očituje u obliku tunelâ nastalih djelovanjem hifa u uzdužnom smjeru (strelice).

Mikrovlačna ispitivanja

Stolne kidalice *Pulmac* omogućuju mjerenja čvrstoća loma i istezanja do loma, na temelju čega se određuju ne samo prekidne čvrstoće, nego i modul elastičnosti. Poseban osvrt posvećen je mogućnostima detektiranja vrlo „fina“ promjena strukture materijala zbog promjena uzrokovanih fotodegradacijom ili modifikacijama različitim sredstvima koje pokatkad, iako mjerljive ovom metodom, još uvijek nisu jasno uočljive drugim metodama.

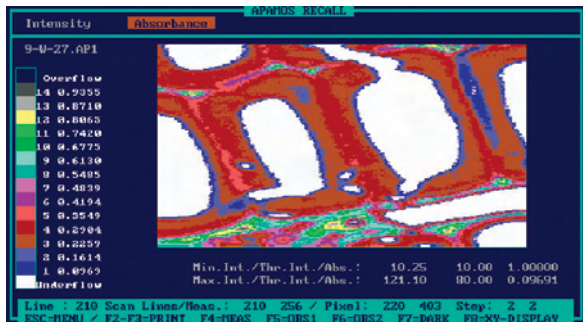
U osnovi, kemijske promjene komponenti drva, nastale djelovanjem UV svjetlosti, oslabljuju lateralne veze celuloznih komponenti (mikrofibrila i stanica), čime utječu na prijenos naprezanja. U kasnijim razdobljima izlaganja svjetlosni i fotooksidativni procesi oslabljuju i same jedinice celuloze. Mehaničko svojstvo koje vrlo osjetljivo i pouzdano odražava spome-

3.a) Početno stanje

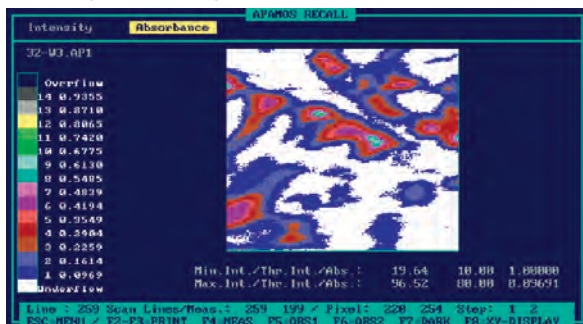


Slika 4. Poprečni presjek smrekovine nakon devet tjedana inkubacije gljivom *Physisporinus vitreus*: 1 – selektivna delignifikacija; 2 – hife probijaju tunele i uzrokuju meku trulež u sekundarnim stijenkama traheida; vrijeme inkubacije: devet tjedana (crtica – predodžuje dužinu od 10 μm) (Lehringer et al., 2010)

3.b) Stanje nakon devet tjedana



3.c) Stanje nakon 32 tjedna

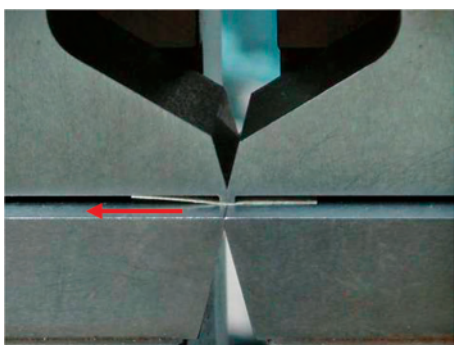


Slika 3. Sadržaj lignina prije i nakon devet odnosno nakon 32 tjedna inkubacije gljivom *P. vitreus* (foto: Lehringer)

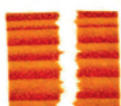
nute promjene jest vlačna čvrstoća u smjeru vlakana. Stoga je polazna pretpostavka da mikrovlačna čvrstoća odražava kemijske promjene drvnih komponenti tijekom izlaganja atmosferskim utjecajima ili tijekom inkubacije gljivama odnosno upućuje na promjene postignute kakvim procesom modifikacije. Pri ovakvoj analizi propadanja drva probni uzorci moraju biti tako malih dimenzija kako bi promjene u površinskoj cjelovitosti mogle biti velike u odnosu prema dimenzijama uzoraka i tako dati realan (mjerljiv) rezultat. Stoga, a i radi optimalnog korištenja mikrovlačne stolne kidalice, najčešće su debljine uzoraka 50 do 80 μm. Dvije su varijante ispitivanja mikrovlačne čvrstoće – ispitivanje na nultom i ispitivanje na desetmilimetarskom rasponu hvatišta.

Pri ispitivanju na nultom rasponu hvatišta ispitne su čeljusti početno u dodiru (5.a1). To znači da praktički svi mikrofibrili u poprečnom presjeku premošćuju razmak između čeljusti, pa je test mjera čvrstoće mikrofibrila. S obzirom na to da su mikrofibrili najjača komponenta čvrstoće drvene strukture, vlačna čvrstoća na nultom rasponu veća je od vrijednosti vlačne čvrstoće pri ispitivanju na određenom rasponu. Čvrstoća mikrofibrila najbolje odražava mehanička svojstva celuloze, dok vrijednosti dobivene ispitivanjima na desetmilimetarskom rasponu (5.b1) daju informacije o ukupnim

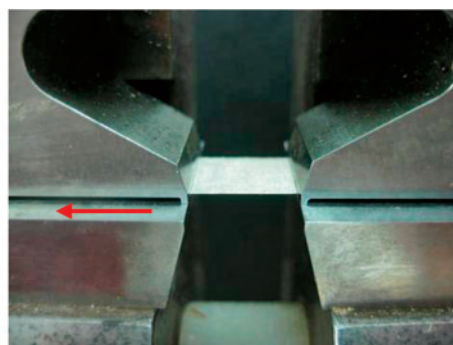
5.a)1.



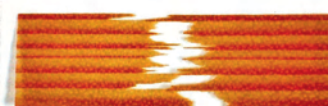
5.a)2.



5.b)1.



5.b)2.



Slika 5. Ispitne čeljusti stolne kidalice *Pulmac* (5.a1. i 5.b1) i probe ispitane na nultom (5.a2) i desetmilimetarskom rasponu čeljusti (5.b2). Strelica označava pomak čeljusti tijekom ispitivanja (foto: Lehringer i Živković).

svojstvima materijala – ne samo o svojstvima mikrofibri-
brila nego i svojstvima veziva (lignina i hemicelulo-
ze).

Zaključna razmatranja

Pažljiv izbor metoda omogućuje ciljanu analizu
specifičnog problema, a njihova dobra kombinacija
osigurava nedvojbeno utvrđivanje i dokazivanje uoče-
nih pojava. Više detalja i rezultate primjene mikrovlačne
i drugih metoda objavit ćemo u posebnim člancima u
idućim brojevima časopisa.

Literatura

1. Derbyshire, H.; Miller, E.R.; Turkulin, H., 1995: Investi-
gations into the photodegradation of wood using micro-
tensile testing. Part 1: The application of microtensile
testing to measurement of photodegradation rates. Holz
Roh Werkstoff 53(6): 339-345.

2. Lehringer, C.; Hillebrand, K.; Richter, K.; Arnold, M.;
Schwarze, F.W.M.R.; Militz, H., 2010: Anatomy of
bioincised Norway spruce wood. International Biodete-
rioration and Biodegradation. doi:10.1016/j.ibiod.2010.
03.005
3. Lehringer, C.; Gierlinger, N.; Koch, G., 2008: Topoche-
mical investigation on tension wood fibres of *Acer* spp.,
Fagus sylvatica L. and *Quercus robur* L.. Holzforschung
62: 255-263.
4. Turkulin, H.; Sell, J., 1997: Structural and fractographic
study on weathered wood – an application of FE SEM
microscopy to the “thin strip” method. Forschungs- und
Arbeitsbericht 115/36, EMPA Abteilung Holz.

Vjekoslav Živković, dipl. ing.