

# UPORABA LAKAZ NA LIGNOCELULOZNIH MATERIALIH

## Laccase applications on lignocellulose materials

*Izvleček: Lakaze imajo sposobnost oksidiranja fenolnih in nefenolnih ligninu podobnih spojin, med temi tudi nevarnih biocidov. Zaradi teh sposobnosti so zelo uporabne v različnih biotehnoloških procesih. Lakaze in sistemi lakaznih mediatorjev (ang.: LMS - laccase mediated systems) se med drugim uporabljajo tudi za odstranjevanje barvil iz lesnih in tekstilnih materialov ter iz odpadnih vod. V zadnjih 20 letih se je večina raziskav in aplikacij lakaze ter LMS nanašala na papirno in tekstilno industrijo. Danes ta encimski proces predstavlja nove perspektive v modifikaciji lignocelulozних materialov, kot je obdelava lesa z lakazami, s čimer dosežemo premrežitev in kovalentno vezavo nizkomolekularnih snovi na lignocelulozno površino.*

*Ključne besede: aktivacija lignocelulozne površine, lakaza, lignocelulozni material*

*Abstract: Laccases have the ability to oxidize both phenolic and non-phenolic lignin related compounds as well as environmental pollutants with similar molecular structure. This makes them very useful for their application to several biotechnological processes. Laccases and laccase mediated systems (LMS) can also help remove phenolic contaminants and dyes from wood-based materials and water. In past 20 years most of the published research and application of laccase/LMS was related to pulp and paper industry, today these enzymatic processes provide new perspectives for modification of wood surface, since laccases can induce cross-linkage and covalent coupling of low molecular weight compounds onto lignocelulosic surfaces.*

*Key words: activation of lignocellulosic surface, laccase, lignocellulose material*

### 1. UVOD

Lignocelulozni materiali postajajo izredno pomembni in perspektivni trajnostni materiali, dobljeni predvsem iz olesenelih rastlin. Zaradi neopornosti na različne biotske in abiotske dejavnike se lahko deformirajo in razgradijo. Te pomanjkljivosti lahko preprečimo z zaščito oz. impregnacijo, kar pa povzroči še večje težave. Biocidi in površinski premazi so lahko škodljivi za okolje, modificiran les pa ima slabše mehanske lastnosti ter v stiku z vlago ni odporen na razgradnjo. Tako kemična zaščita lesa izgublja pomen, predvsem zaradi okoljske ozaveščenosti ljudi. Po-

leg tega se biocidi izpirajo iz lesa, zato je ena od možnosti uporaba encimskih biotehnoloških postopkov.

Lakaze so raznolike fenol-oksidadze, ki katalizirajo mono-elektronsko oksidacijo fenolov in aromatskih ali alifatskih aminov do reaktivnih radikalov. V odvisnosti od reakcijskih razmer, lakaze lahko sodelujejo pri razgradnji ligninskih fenolnih monomerov in tudi pri njihovi polimerizaciji (Baldrian in sod., 2006). Ker imajo lakaze relativno nizek redoks potencial (<0,8 V), je njihovo delovanje omejeno na oksidacijo fenolnih komponent lignina, saj imajo nefenolne komponente redoks potencial nad 1,3 V. V naravi organizmi uporabljajo sisteme lakaz in nizkomolekularnih mediatorjev (LMS), kjer mediatorji služijo kot prenašalci elektronov in oksidirajo večje molekule lignina, ki zaradi steričnih lastnosti ne morejo dostopati do aktivnega mesta encima. Lakaze oksidirajo mediatorje v dokaj stabilne radikale, ti zapustijo encim in potujejo po substratu, tako omogočijo posredno oksidacijo snovi, ki v principu niso substrati lakaze (Canas in Camarero, 2010).

\* univ. dipl. inž. kem. in kem. tehn., Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1001 Ljubljana, e-pošta: maja.vaukner@bf.uni-lj.si

\*\* univ. dipl. biotehn., Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1001 Ljubljana, e-pošta: ajda.ulcnik@bf.uni-lj.si

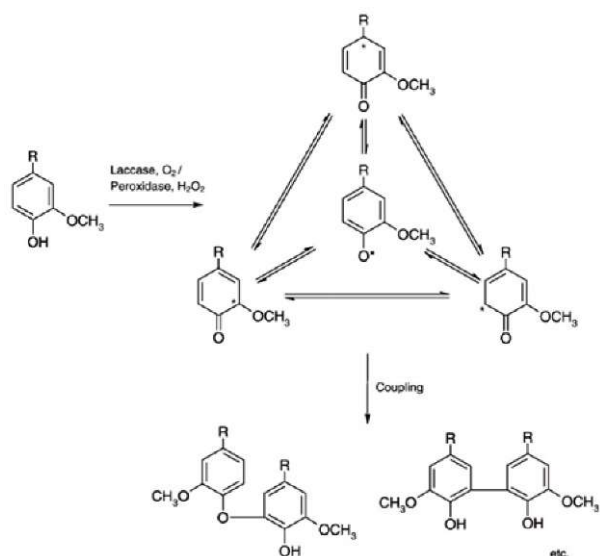
\*\*\* prof. dr., Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1001 Ljubljana, e-pošta: franc.pohleven@bf.uni-lj.si

\*\*\*\* dr., ILTRA d.o.o., Celovška cesta 268, 1000 Ljubljana, e-pošta: crtomir.tavzes@iltra.si

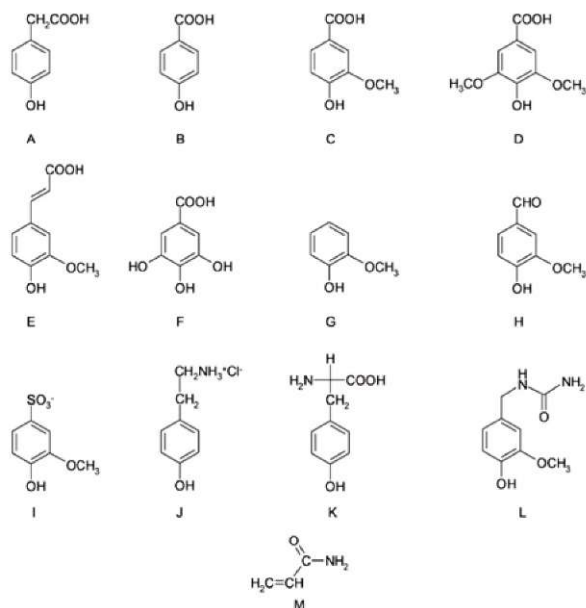
Encimska tehnologija omogoča okolju prijazne metode modificiranja površine lesa, papirne kaše in drugih lignoceluloznih materialov (LM) z vezavo (ang.: *biografting*) fenolov ter ostalih molekul. Preučevanje uporabe lakaze na LM je pokazalo zelo raznolike aplikacije fenoloksidaze, kot so povečanje trdnosti papirja, mikrobovna odpornost, UV-stabilnost in požarno zaščito, ki jih dosežemo z vezavo nizkomolekularnih snovi na lignin, da to dosežemo, je potrebno aktivirati površino. Poročajo tudi o povečanju hidrofobnosti in reaktivnosti površine (Kudanga in sod., 2010a, b). Aktivacija površine lignoceluloznih polimerov z biotehnološkimi postopki predstavlja proizvajalcem lesnih kompozitov velik izziv, saj jim strogi okoljski predpisi narekujejo zmanjšanje formaldehidnih emisij in svetujejo k povečanemu recikliranju izdelkov. Kemijska modifikacija površine lesa je zanimiva tudi z vidika izboljšanja kompatibilnosti lesa z ostalimi materiali pri proizvodnji hibridnih produktov, kot so lesno plastični kompoziti (Sellers in sod., 2001). V tem preglednem članku smo zbrali obstoječe uporabe in najnovejše raziskave uporabe lakaze na lignoceluloznih materialih.

## 2. »BIOGRAFTING« NIZKOMOLEKULARNIH SNOVI NA LIGNOCELULOZNI MATERIAL

»Biografting« je okolju prijazen biotehnološki/encimski proces za premrežitev in kovalentno vezavo funkcionalnih molekul (primeri potencialnih aromatskih spojin na sliki 2) na površine lignoceluloznih materialov. Namen metode je funkcionalizacija površine LM, kot so doseganje anti-mikrobnosti in hidrofobnosti površin ter izboljšanje ad-



**Slika 1. Reakcije fenolnih radikalov na lignoceluloznih substratih, obdelanih z encimi lakaze ali peroksidaze. (Prirejeno po: Widsten in Kandelbauer, 2008b)**



**Slika 2. Primeri nizkomolekularnih snovi, vezanih na LM s pomočjo lakaze (A) PAA; (B) 4-HBA; (C) vanilna kislina; (D) siringinska kislina; (E) ferulična kislina; (F) galična kislina; (G) guajakol; (H) vanilin; (I) guajakol sulfonat; (J) 3-hidroksitiramin hidroklorid; (K) tirozin; (L) 4-hidroksi-3-metoksibenzilurea; (M) akrilamid (Prirejeno po: Widsten in Kandelbauer, 2008a)**

hezije pri proizvodnji papirja in kompozitov (Widsten in sod., 2008a). S tem postopkom vezave molekul na površino LM ali na izoliran lignin so potrebni normalni pogoji in ponavadi ni treba uporabiti organskih topil. Temelji na biokemijskih reakcijah, ki potekajo po principu radikalskih reakcij, katalizira jih lakaza s pomočjo nizkomolekularnih mediatorjev (LMS) ob prisotnosti kisika (slika1). Narejenih je bilo že veliko raziskav vezave tehničnega lignina in različnih aromatskih monomerov, modifikacije površine tekstilnih vlaken z namenom vezave barvil ali doseganja odpornosti na bakterije (Lund in sod., 2001; Chandra in sod. 2002; Grönqvist in sod., 2006; Fackler in sod., 2008; Kudanga in sod., 2010a, b).

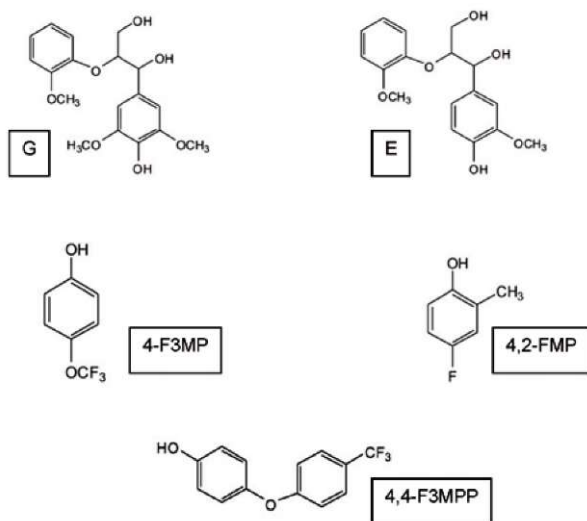
Nekatere snovi, ki so jih uporabili kot vezavne aromatske molekule, so hkrati tudi naravni mediatorji. Beseda »naravni« se ne nanaša samo na izvor (lignocelulozni material, sadje, semena) ampak govori tudi o tem, da je vloga snovi, kot so vanilna kislina (slika 2C), siringinska kislina (slika 2D), ferulična kislina (slika 2E) in galična kislina (slika 2F), sodelovanje pri naravni razgradnji ligninskih polimerov z glivami povzročiteljicami bele trohnoobe (Canas in Camarero, 2010).

## IZBOLJŠANJE ADHEZIJE LM V PROIZVODNJI KOMPOZITOV

Lesni kompoziti vsebujejo približno 10 % adhezivnih lepil, ki so večinoma škodljiva zdravju. Pri proizvodnji in uporabi izdelka so emisije formaldehidne smole kancerogene. Problem predstavlja tudi reciklaža materiala po uporabi izdelka. Ekonomična in zdravju bolj ugodna alternativa je proizvodnja kompozitov brez sintetičnih smol. Predobdelava lesnih vlaken z lakazo povzroča na površini vlaken nastanek fenoksi radikalov, ki kasneje v postopku stiskanja vlaknenih plošč sodelujejo pri vezavi med vlakni. Procese, ki temeljijo na omenjenem principu, so patentirali Kharazipour in sod. (1993) ter Qvintus-Leino in sod. (2003). Drug alternativni pristop predstavlja dvokomponentni sistem, pri katerem se sintetične smole zamenjajo s tehničnim ligninom, ki je predhodno obdelan z lakazo. Primera tehničnega lignina sta kraft lignin in lignosulfonat. Vendar pri slednjem MDF vlaknene plošče ne izpolnjujejo zahtev, predpisanih v evropskem standardu glede mehanske trdnosti in dimenzijske stabilnosti, saj je lignosulfonat topen v vodi. Problem predstavljajo tudi stroški, povezani s porabo velikih količin tehničnega lignina (Widsten in Kandelbauer, 2008b)

## IZBOLJŠANJE HIDROFOBOSTILM

Kudanga in sod. (2010a, b) se v zadnjih letih ukvarjajo z vezavo alkil aminov in fluorofenolov na lignocelulozni



Slika 3. Siringilglicerol β-guajacil eter (G) in Guajacilglicerol β-guajacil eter (E) predstavljata ligninski modelni spojini, na katere so Kudanga in sod. (2010) vezali fluorofenole: 4-(trifluorometoksi)fenol (4-F3MP), 4-fluoro-2-metilfenol (4,2-FMP) in 4-(4-(trifluorometil)fenoksi)fenol (4,4.F3MPP) z namenom izboljšanja hidrofobnosti LM. (Prirejeno po Kudanga in sod., 2010b)

material s pomočjo lakaz, da bi povečali hidrofobnost. Poskuse z lakazo, izolirano iz *Trametes hirsuta*, so izvajali na furnirju iz bukovine (*F. sylvatica*) in na ligninskih modelnih spojinah (Slika 3).

Lakaza uspešno oksidira uporabljene ligninske dimere, od izbranih fluorofenolov pa samo 4-fluoro-2-metilfenol (Slika 3). Avtorji predvidevajo, da ostala dva glede na hidroksidno skupino nimata orto substituenta, ki bi služila kot donor elektronov in zato lakaza brez mediatorjev ni sposobna oksidirati takšnih spojin. Medsebojne vezave so možne, če lakaza prepozna vsaj eno spojino kot substrat ter se tvorijo radikali in za nadaljnje reakcije ni več potrebna aktivnost encima. Z masno spektroskopijo (LC-MS) in nuklearno magnetno resonanco (NMR) so ugotovili, da lakaza začne reakcijo na para hidroksilni skupini spojine E in G (slika 3) ter tvori radikal, ki nadalje služi kot mediator oksidacije 4-(4-(trifluorometil)fenoksi)fenol (Slika 3). Vpliv fluorofenolov na hidrofobnost lesa so merili s kontaktnimi koti vodne kapljice na obdelanem in neobdelanem materialu. Dokazali so 65,5 % povečanje kontaktnega kota ob vezavi 4,4-F3MPP, pri vezavi 4,2-FMP 9,6 % in pri 4-F3MP 28,6 % (Slika 3). Skladna s povečanjem kontaktnega kota je tudi vsebnost fluora, ki so ga za posamezne fluorofenole določili z XPS analizo (ang.: X-ray Photoelectron Spectroscopy). S fluorofenoli, ki niso substrati za lakazo, so dosegli večjo vezavo in večje izboljšanje hidrofobnosti. To bi lahko pripisali tvorbi radikalov ligninskih modelnih snovi, ki nadalje služijo kot prenašalci nesparjenih elektronov in so vključeni v različne verižne reakcije (homomolekularni polimerizaciji, oligomerizaciji in tvorbi kinonov) (Kudanga in sod., 2010b).

Isti avtorji so v drugi raziskavi dokazali povečanje hidrofobnosti furnirja, na katerega so vezali dodecilamin, kontaktni kot vode se je povečal za 84,2 %. Raziskave so obetavne, saj se dodecilamin uporablja tudi v zaščitnih pripravkih za les. Ima namreč fungicidno učinkovitost, kaže pa tudi zaščito pred termiti. S pomočjo lakaze so dokazali kovalentno vezavo fluorofenolov na površino lesa. Najbolj pomembno je, da atom fluora ne sodeluje pri kovalentni vezavi med molekulami, kar poveča vpliv na hidrofobnost. Prednost te okolju prijazne zaščite je dejstvo, da se vezane molekule ne spirajo (Kudanga in sod., 2010a).

## 3. UPORABA LAKAZE V PAPIRNI INDUSTRIJI

Pri bio-mehčanju gre za predobdelavo lignoceluloznega materiala kot je lesno žaganje, z glivami bele lesne trahnobee ali z encimi. Prednosti uporabe encimov je zmanjšana poraba energije, večji izkoristek mlinov pri mehničnem mletju LM, povečanje trdnostnih lastnosti papirja, izboljšanje prinosa in manjši vpliv na okolje. Dyer in Ragauskas (2004) sta dokazala, da je za povečanje delignifikacije

materiala najbolj uspešna uporaba lakaze v kombinaciji z mediatorjem 1-hidroksibenzotriazolom (HBT). Petit in Co-nil (2002) sta s kombinacijo mediatorja in encima zmanjšala porabo energije za 20 %. Vpliv na mehanske lastnosti kaše in svetlost papirja je bil tudi pozitiven. Izboljšanje lastnosti kaše pripisujejo modifikaciji površine vlaken in povečanju veznega potenciala (slika 4).

Uporaba lakaze brez mediatorja pri biobeljenju ni primerna, ker lahko oksidira samo direktno dostopne fenolne hidroksilne skupine do fenoksi radikalov, ne more oksidirati nefenolnih ligninskih molekul, ker zaradi velikosti encima ne more prodrati v celično steno. Zato se uporablja v kombinaciji z mediatorji. Uspešno uporabljen proces biobeljenja z mediatorjem HBT se imenuje Lignozym®. Zaradi visoke selektivnosti sta uporabna tudi violuronska kislina (VA) in N-hidroksiacetanilid (NHA), medtem ko 2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-oksil (TEMPO) ni dovolj selektiven za lignin in zniža viskoznost kaše. Kompleks lakaze in mediatorja (LMS) ni dovolj učinkovit kot samostojen proces, zato se uporablja v kombinaciji s klasičnimi procesi biobeljenja v smislu zmanjšanja količine uporabljenih škodljivih kemikalij. Različni avtorji poročajo o 24 % zmanjšanju klorovega dioksida in do 15 % zmanjšanju porabe vodikovega peroksida. Pri reciklaži časopisnega papirja je potreben postopek odstranjevanja črnila. Sedanji postopki temeljijo na mehanski, termični in kemični obdelavi. Obstajajo patenti, ki temeljijo na odstranjevanju črnila z encimi (Call, 1991 in Franks, 2000). Vendar so Hager in sod. (2002) dokazali, da samostojna uporaba LMS ni primerna za razgradnjo črnila, povzročila je rumeno obarvanje, ki ga ni bilo mogoče odstraniti niti z vodikovim peroksidom.

Obdelava papirne kaše za povečanje mehanskih lastnosti papirja temelji na uporabi lakaze za polimerizacijo nizkomolekularnih fenolov s kašo pred izdelavo papirja. Seveda so tudi tukaj rezultati boljši ob uporabi LMS, še boljši pa v kombinaciji s toplotno obdelavo.

Pri izdelavi papirja se pojavlja tudi problem smol, ki vsebuje terpene, sterole, sterilestre in trigliceride. Smole zmanjšujejo trdnostne lastnosti papirja, vplivajo na delovanje strojev in povečajo porabo energije. Mehанизem modifikacije lipofilnih ekstraktivov z lakazo pri kontroli smole ni znan, je pa ob uporabi lakaze in HBT dokazano do 25 % zmanjšanje vsebnosti smole. Ker je mediator HBT zelo drag in okolju neprijazen, znanstveniki iščejo naravno alternati-



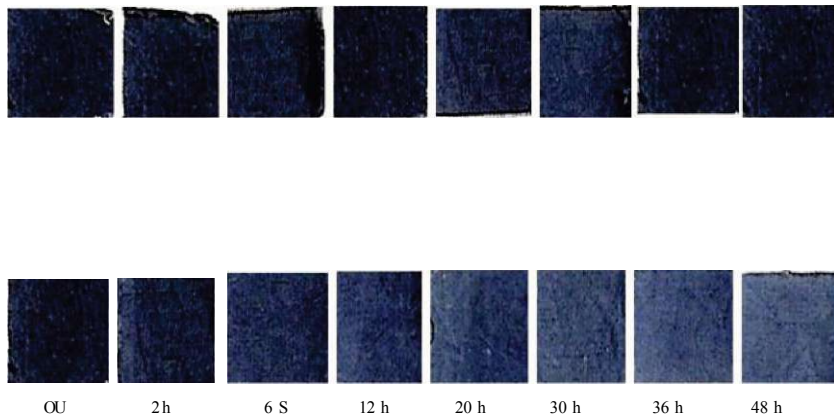
**Slika 4. Uporaba lakaze v papirni industriji (www.biotechblog.org).**

vo. Največ si obetajo od siringaldehida in acetosiringona (Widsten in Kandelbauer, 2008a).

Obdelava procesne in odpadne vode v papirni industriji s pomočjo lakaz se sicer ne nanaša direktno na lignocelulozni material, vendar prinaša dobre rešitve za odstranitev toksičnih snovi iz onesnaženih voda. Pri proizvodnji papirne kaše se izločajo fenolne snovi iz lesa, pri beljenju kaše pa se uporabljajo kemikalije, ki vsebujejo klor in tako se v vodo izločajo zelo toksični klorofenoli in ostali organokloridi. Lakaze se uporabljajo kot katalizatorji polimerizacije klorofenolov in nekloriranih lesnih fenolov in na ta način razstrupljajo odpadne vode (Widsten in Kandelbauer, 2008a).

#### 4. UPORABA LAKAZ V TEKSTILNI INDUSTRIJI

Podobno kot v papirni industriji tudi v tekstilni uporablja-jo lakaze za čiščenje odpadnih voda, ki vsebujejo barvila. Ta so sestavljena iz aromatskih spojin in so v večini kance-



**Slika 5. Uporaba lakaze v tekstilni industriji, za beljenje denima. Sprememba barve denima s časom ob uporabi ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etil-benzotiazolin-6-sulfonska kislina)) v prvi vrstici, lakaze (druga vrstica) in souporaba mediatorja ABTS in lakaze v tretji vrstici (www.scielo.org.mx).**

rogena ter zelo obstojna. Na tržišču obstaja približno 100 000 različnih komercialno dostopnih barvil, ki so po kemijski zgradbi zelo raznolika. Na leto se proizvede okrog 700 000 ton barvil. Encime uporabljajo tudi za sintezo določenih barvil in za beljenje tekstila (slika 5). 1996 je dansko podjetje Novozym poslalo na tržišče lakaze za obdelavo denima z imenom DeniLite®. Produkt predstavlja prve industrijsko uporabne lakaze za beljenje, ki delujejo s pomočjo mediatorja. Za razgradnjo barvila indigo je indijsko podjetje Zytex leta 2001 razvilo formulacijo Zylite®, ki temelji na LMS in deluje zelo specifično (Couto in sod., 2006).

## 5. BIOREMEDIACIJA

Zaradi pretirane in nekontrolirane uporabe nevarnih in stabilnih pesticidov v preteklosti so ti danes v okolju prisotni v znatnih količinah. Njihova prisotnost škodljivo vpliva na živa bitja. Za odstranjevanje ksenobiotikov iz onesnaženih območij obstaja več različnih tehnik. Ena izmed njih je bioremediacija, kjer za razgradnjo uporabimo žive organizme oziroma njihove encime. Poleg široke uporabe lakaz za obdelavo lignoceluloznih materialov lahko te encime uporabimo tudi za čiščenje območij, onesnaženih z različnimi biocidi. Lakaze uspešno katalizirajo razgradnjo policikličnih organskih ogljikovodikov, polikloriranih bifeniлов, eksplozivov, barvil in organoklornih pesticidov (Couto in Herrera, 2006; Alcalde, 2007). Z lakazami lahko uspešno razgradimo tudi nekatera organska zaščitna sredstva za les, na primer lindan, klorirane fenole (na primer pentaklorofenol; PCP) ali kreozotno olje (Majcherczyk in sod., 1998; Singh in Kuhad, 1999; Humar in Pohleven, 2005). Večina biocidov za zaščito lesa spada med obstojna onesnaževala, ki se v naravi težko razgradijo. Odslužen zaščiten les lahko zažgemo v posebnih sežigalnicah, kar je precej drago, zato je uporaba lesnih gliv oziroma njihovih encimov mnogo primernejša (Mai, 2004).

## 6. ZAKLJUČEK

Zaradi skrbi za okolje in človeka so razvijajoče se lakazne tehnologije zelo perspektivne. Uporaba lakaz je izredno raznolika, ne samo v predelovalni industriji, ampak tudi v prehranski, okoljski in kozmetični industriji ter celo v nanobiotehnologiji.

Kljub temu, da že obstajajo komercialni LMS, to raziskovalno področje še ni doživelo vrhunca. Izvor lakaz in kombinacije z različnimi mediatorji danes predstavljajo neskončne možnosti. Izziv je predvsem iskanje naravnih mediatorjev, katerih pridobivanje je okolju prijazno in cenejše v primerjavi s sintetičnimi. Problem predstavlja tudi velikost molekul lakaz, izoliranih iz gliv, zato jih v zadnjem času poskušajo pridobiti iz bakterij. Te so manjše, bolj ak-

tivne in stabilne pri višjih temperaturah in višjih pH (Sharma et al., 2007). Seveda ne smemo pozabiti optimizacije novih encimskih tehnologij in predvsem kompatibilnost z že obstoječo opremo v industriji, saj postavitve nove proizvodnje predstavlja veliko investicijo. Vsekakor bodo lakaze v prihodnosti zanimive za znanstvene kot tudi aplikativne namene.

## ZAHVALA

Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega projekta »Biološki procesi obdelave lignoceluloznih materialov« (L4-3641) in Programske skupine les in lignocelulozni kompoziti (PS 54-0015), ki ju financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS.

## VIRI:

1. **Alcalde M. (2007)** Laccases: Biological functions, molecular structure and industrial applications. V: *Industrial Enzymes*. Polaina J (Ur.), MacCabe AP (Ur.), Springer, Dordrecht, 461-476
2. **Baldrian P. (2006)** Fungal laccases - occurrence and properties. *FEMS Microbiol. Rev.* 30, 215-242
3. **Call H.-P. (1991)** Process of treating waste paper by enzymatic deinking. *Eur Pat Appl EP447672*; September 25, 1991.
4. **Canas A. I., Camarero S. (2010)** Laccases and their natural mediators: Biotechnological tools for sustainable eco-friendly processes. *Biotechnology advances*, 28: 694-705
5. **Chandra R. P., Ragauskas A. J. (2002)** Evaluating laccase - facilitated coupling of phenolic acids to high-yield kraft pulps. *Enzyme and microbial technology*, 30: 855-861
6. **Couto S. R., Herrera J. L. T. (2006)** Industrial and biotechnological applications of laccases: A review. *Biotechnology advances* 24: 500-513
7. **Dyer T. J., Ragauskas A. J. (2004)** Laccase: a harbinger to kraft pulping. *ACS Sym Ser* 889: 339-362
8. **Fackler K., Kuncinger T., Ters T., Srebotnik E. (2008)** Laccase-catalyzed functionalization with 4-hydroxy-3-methoxybenzylurea significantly improves internal bond of particle boards. *Holzforschung*, 62: 223 -229
9. **Franks N. E. (2000)** Methods for deinking and decolorizing printed paper. *Int Pat Appl W00015899*; March 23, 2000.
10. **Grönqvist S., Rantanen K., Alén R., Mattinen M.-L., Buchert J., Viikari L. (2006)** Laccase catalysed functionalization of TMP with tyramine. *Holzforschung* 60, 503-508
11. **Hager A., Nellessen B., Puls J. (2002)** On the applicability of laccases for deinking. *Proceedings of PTS-CTP deinking symposium*, 34:1-10
12. **Humar M., Pohleven F. (2005)** Biotehnologija v lesarstvu. *Les*, 57: 316-321
13. **Kharazipour A., Huettermann A., Kuehne G., Rong M. (1993)** Process for glueing wood chips and articles produced by this process. *Eur Pat Appl EP0565109*; October 13, 1993.
14. **Kudanga T., Prasetyo E. N., Sipila J., Guebitz G. M., Nyanhongo G. S. (2010a)** Reactivity of long chain alkylamines to lignin moieties: Implications on hydrophobicity of lignocellulose materials. *Journal of Biotechnology*, Article in press, BIOTEC-5507
15. **Kudanga T., Prasetyo E. N., Widsten P., Kundelbauer A., Jury S., Heathcote C., Sipila J., Weber H., Nyanhongo G. S., Guebitz G. M. (2010b)** Laccase catalyzed covalent coupling of fluorophenols increases lignocellulose surface hydrophobicity. *Bioresource*

Technology, 101: 2793-2799

16. **Lund M., Ragauskas A. J. (2001)** Enzymatic modification of kraft lignin through oxidative coupling with water soluble phenols. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 55, 699-703
17. **Mai C., Kües U., Militz H. (2004)** Biotechnology in the wood industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63: 477-494
18. **Majcherczyk A., Johannes C., Hüttermann A. (1998)** Oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) by laccase of *Trametes versicolor*. *Enzyme and Microbial Technology*, 22: 335-341
19. **Petit-Conil M., Samar S., Niku-Paavola M.L., Sigoillot J.C., Asther M., Anke H. (2002)** Potential of laccases in softwood-hardwood high-yield pulping and bleaching. *Prog Biotechnol.* 21: 61-71
20. **Sellers T. (2001)** Wood adhesive innovations and applications in North America. *Forest Prod. J.* 51: 12-22
21. **Sharma P., Goel R., Capalash N. (2007)** Bacterial Laccases. *World Journal of Microbiology and biotechnology*, 23: 823-832
22. **Singh B. K., Kuhad R. C. (1999)** Biodegradation of lindane (g-hexachlorocyclohexane) by the white-rot fungus *Trametes hirsutus*. *Letters in Applied Microbiology*, 28: 238-241
23. **Widsten P., Kandelbauer A. (2008a)** Laccase application in the forest products industry: A review. *Enzyme and microbial technology*, 42: 293-307
24. **Widsten P., Kandelbauer A. (2008b)** Adhesion improvement of lignocellulosic products by enzymatic pre-treatment. *Biotechnology Advances*, 26: 379-386

## O AVTORICI PRISPEVKA MAJA VAUKNER GABRIČ, UNI. DIPL. INŽ. KEM. IN KEM. TEHN.

Maja Vaukner Gabrič (rojena 1981) je raziskovalka na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (BF UL). Leta 2007 je zaključila dodiplomski študij na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru, smer Biokemijska tehnika. Po zaključenem študiju je bila zaposlena na Fakulteti za kmetijstvo in biosistemske vede Univerze v Mariboru, kjer se je ukvarjala z razvojem živalskih funkcionalnih celičnih modelov v okviru evropskega projekta Pathogen-Combat in bila izvoljena v naziv visokošolska sodelavka Asistentka za mikrobiologijo, molekularno biologijo, biokemijo in biotehnologijo. Leta 2009 se je zaposlila na Oddelku za lesarstvo BF UL in se vpisala na interdisciplinarni podiplomski študij bioznanosti, znanstveno področje les in biokompoziti. V znanstvenoraziskovalnem delu se je usmerila v aktivacijo in funkcionalizacijo lesne površine z encimi. Sodeluje v programski skupini Les in lignocelulozni kompoziti in opravlja pedagoško delo kot visokošolska sodelavka z nazivom Asistentka za področje patologije in zaščite lesa.



### Opravičilo

V znanstvenem članku Mirana Merharja in Bojana Bučarja z naslovom Vloga cepilne frakture v procesu formiranja odrezka pri ortogonalnem odrezavanju v 5. številki revije Les je prišlo do tehnične napake pri postavitvi. Popravljen članek je objavljen na spletnih straneh ZLS. Za napako se opravičujemo.

Uredništvo