

UDK: 630\*844.1

# Biotehnologija v lesarstvu

## *Biotechnology in wood industry*

avtorja **Miha HUMAR\*** in **Franc POHLEVEN**, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, \*e-pošta: miha.humar@bf.uni-lj.si

### izvleček/Abstract

**Biotehnologija** je ena izmed panog, ki se je razvila konec prejšnjega stoletja in predstavlja številne možnosti aplikacije v tem stoletju. Uveljavila se je že v živilski in farmacevtski industriji. Tudi lesarjem biotehnologija nudi številne izzive za nove tehnologije, ki jih še ne znamo najbolje izkoristiti. V prispevku so predstavljene nekatere možnosti obdelave in predelave lesa: izboljšanje penetracije zaščitnih pripravkov, biotehnološka zaščita lesa, lepljenje, bioremediacija, mikoles, modrenje lesa ... Opisane so prednosti posameznih biotehnoloških postopkov in izzivi, ki nas čakajo pri prenosu eksperimentov v industrijsko merilo.

**Biotechnology** is one of the branches that developed at the end of past century and offer several opportunities in present century as well. It is established technology in food and pharmaceutical industry. However, biotechnology offers numerous opportunities to wood industry as well. In the present paper, the most important solutions for wood processing and treatment are introduced, namely: improvement of preservative penetration, biocontrol, gluing, bioremediation, myco-wood, denim-wood ... The most important advantages and issues that need to be overcome before scale up into industrial scale.

**Ključne besede:** biotehnologija, lesne glive, glive razkrojevalke, les

**Key words:** biotechnology, wood decay fungi, wood

### Uvod

Biotehnologija je v zadnjih letih dosegla velik razvoj, ki ga prekaša edino razvoj informacijskih tehnologij. S svojimi številnimi možnostmi in visoko profitno stopnjo je biotehnologija še vedno ena najbolj perspektivnih panog. V tem obdobju se je razvilo tudi nekaj uspešnih biotehnoloških podjetij v Sloveniji (Raspor, 1996). Verjamemo, da biotehnologija ponuja številne priložnosti tudi lesarjem, ki smo jih zaenkrat še premalo izkoristili. V tem stoletju bo veliko težav povezanih z odpadki, ki smo jih nakopičili v preteklem stoletju. Glive pa ponujajo odlično možnost, kako na eleganten in okolju prijazen način rešiti tudi to težavo.

V prispevku so opisane nekatere možnosti, ki jih omogočajo lesne glive za obdelavo in predelavo lesa. V te name ne lahko uporabimo tako glive razkrojevalke kot tudi glive modrivke ter plesni. Za vse je značilno, da izločajo nespecifične ekstracelularne encime, ki so v primerjavi z drugimi encimi zelo stabilni (Mai *et al.*, 2004). Ti encimi imajo široko možnost uporabe tako v papirni in tekstilni industriji kot tudi v lesarstvu.

### Biotehnološki postopki v zaščiti lesa

#### Izboljšanje penetracije zaščitnih pripravkov v les

Les večine evropskih drevesnih vrst je neodporen proti lesnim škodljivcem. Zato ga moramo zaščititi in tako povečati njegovo odpornost. Največji delež lesa danes impregniramo z vodotopnimi pripravki ali s kreozotnim oljem. Najučinkovitejšo zaščito dosežemo, če sredstvo po celotnem prerezu enakomerno prepoji les. Žal pri večini naših drevesnih vrst zaradi neugodne anatomske zgradbe to ni vedno mogoče. Najpomembnejša anatomska dejavnika, ki zmanjšata impregnabilnost lesa sta otiljenje in aspiracija pikenj. Pri iglavcih pa se med sušenjem pikenjske membrane še dodatno zapolnijo z ekstraktivnimi snovmi, lipidi, voski, smolami ... Vse to otežuje penetracijo zaščitnih pripravkov v les (Richardson, 1993).

V preteklosti so to težavo skušali rešiti s predpripravo lesa: parjenjem, vrezovanjem lesa, uporabo laserjev ... (Richardson, 1993). Te metode so sicer izboljšale penetracijo biocidov v les, vendar niso zagotovilo za popolno prepajitev lesa.

Pikenjske membrane in torusi so večinoma sestavljeni iz pektinov, hemiceluloz in celuloze (Fengel in Wegener, 1989). Z uporabo komercialnih encimov (pektinaz in celulozaz) so že pred 30 leti skušali izboljšati impregnabilnost lesa (Adolf, 1975). Permeabilnost smrekovine so izboljšali z

uporabo encimskih koktajlov, ki so izboljšali prodiranje zaščitnih pripravkov prek pikenjskih membran ter smolnih kanalov. Žal je ta postopek relativno počasen in drag. Minimalen čas delovanja encimov je štiri tedne. Poleg tega je postopek zahteval kontrolirano temperaturo in vlažnost lesa v sterilnem okolju, kar je za prakso nesprejemljivo. Idealno bi bilo, če bi lahko encime primešali zaščitnim pripravkom in na ta način skrajšali postopek. Žal ta rešitev v praksi še ni bila izvedena (Militz in Homan, 1993).

Prav tako pa številni mikroorganizmi lahko izboljšajo impregnabilnost lesa (Suolahti in Wallen, 1958). Permeabilnost hlodovine iglavcev, ki je bila nekaj mesecev izpostavljena bakterijam, je bistveno boljša. Bakterije so razgradile pektin pikenjskih membran. Kakorkoli, zaradi dolgotrajne izpostavitve in zahtevne inokulacije obdelava z bakterijami ni nikoli zaživela v praksi.

Poleg bakterij so tudi številne plesni in glive modrivke sposobne prerasti beljavo, ne da bi pri tem vplivale na mehanske lastnosti lesa. Najbolj učinkovite so se izkazale glive iz rodu *Trichoderma*, še posebej *T. viride* in *T. aureoviride*. Z izločanjem velike količine celulozaz, pektinaz in amilaz lahko razgradijo depozite na pikenjskih membranah oziroma pikenjske membrane. Po štirih tednih izpostavitve hlodovine zelenim plesnim (*Trichoderma*) se je impregnabilnost beljave smrekovine izboljšala za 100 do 150 %. Žal pa te glive niso povečale impregnabilnosti jedrovine niti po štirih mesecih izpostavitve (Rosner *et al.*, 1998).

Messner in sodelavci (2002) so penetracijo zaščitnih pripravkov v les skušal izboljšati z izpostavitvijo glivam bele trohnobe, ki selektivno razkrajajo predvsem lignin (*Dichomitus squulens* in *Phanerochaete chrysosporum*). Že po dveh tednih izpostavitve se je im-

pregnabilnost smrekovine bistveno izboljšala, mehanske lastnosti lesa pa se niso opazno poslabšale.

Številne impregnacijske postaje v Avstriji in Nemčiji so že skušale uvesti opisano metodo v večje merilo. Največjo oviro predstavlja strokovna zahtevnost postopka in dodatne investicije, kar proizvodnja izdelkov z nizko dodano vrednostjo težko prenese.

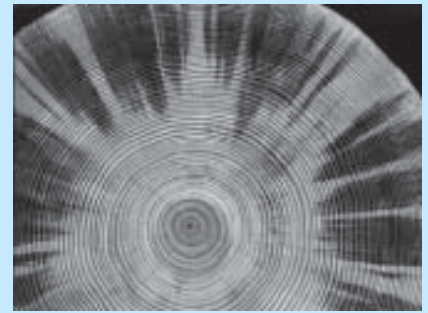
## Biotehnoški postopki zaščite lesa

### Biotehnoška zaščita hlodovine

Po poseku je hlodovina najbolj dovzetna za okužbo z glivami, še posebej z modrivkami (slika 1). Z uporabo biocidov lahko uspešno preprečimo razvoj modrivk na sveži hlodovini, vendar je uporaba biocidov nezaželena.

Ideja biotehnoške zaščite lesa po poseku je, da preventivno okužimo les z antagonističnimi mikokulturami, ki ne obarvajo lesa. Ti organizmi z rastjo porabijo vsa lahko dostopna hranila, poleg tega pa izločajo še številne metabolne produkte ter mikotoksine, ki zmanjšajo verjetnost pojava trohnenja. Najpogosteje se uporabljajo albino sevi gliv modrivk (*Ophiostoma sp.*), kvasovke (*Galactomyces geotrichum*) ali bakterije (Graf, 2001). V ZDA, Kanadi in Južnoafriški republiki se v praksi že uporablja takšen albino mutant (Cartapip 97), ki je bil razvit za odstranjevanje smole iz lesa, namenjenega za izdelavo celuloze (Behrendt in Blanchete, 2001). Največja slabost tega postopka je, da je uporaba mutiranih sevov v naravnem okolju v skladu z evropsko zakonodajo nezaželena.

Drugi primer je biotehnoška zaščita hlodovine pred glivami razkrojevalkami. V tem primeru okužimo les z izolati, ki imajo močno antagonistično delovanje, pa čeprav povzročajo obar-



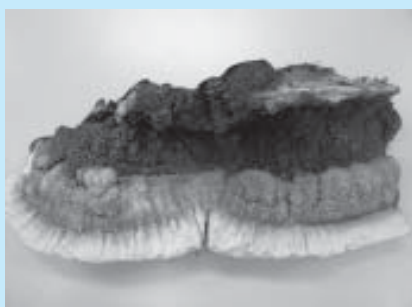
□ Slika 1. Pomodrel borov hloed  
Figure 1. Blue stained pine log



□ Slika 2. Nesporno plodišče glive iz rodu *Trichoderma*  
Figure 2. Nonsexual reproduction organ fungi belonging to order *Trichoderma*

vanje. Najpogosteje se uporabljajo plesni iz rodu *Trichoderma* (slika 2). Žal te glive obarvajo les, zato se večinoma uporabljajo kot biotehnoška zaščita lesa, kjer obarvanje ni moteče. Na ta način preprečimo okužbo lesa z glivami, po drugi strani pa te glive izboljšajo penetracijo zaščitnih pripravkov v les (Brown, 2002). Žal je delo z glivami iz rodu *Trichoderma* zelo zahtevno, saj spore lahko povzročajo veliko zdravstvenih težav: dermatitis, infekcijo pljuč, težave z dihanjem, alergije ... (Husman, 2004).

V laboratorijskih pogojih so številni antagonistični organizmi preprečili obarvanje in razkroj lesa. Žal pa se takšna zaščita med terenskimi testi ni izkazala najbolje. Kljub temu znanstveno in strokovno zanimanje za biotehnoško zaščito ni usahnilo, saj je še vedno moč zaznati velik interes industrije, za njihovo aplikacijo (Mai *et al.*, 2004).



□ Slika 3. Plodišče sive hišne gobe  
Figure 3. Fruit body of *Serpula lacrymans*



□ Slika 4. Odpadni impregnirani železniški pragovi  
Figure 4. Waste impregnated railway ties

## Biotehnološka zaščita lesnih izdelkov

Gradbeni les je pogosto najbolj izpostavljen okužbi s sivo hišno gobo (*Serpula lacrymans*) (slika 3). Humphries s sodelavci (2001) je dokazal, da nekateri izolati *Trichoderme* lahko preprečijo okužbo lesa s to gobo. Tudi ko je podgobje *Trichoderme* odmrlo, so v lesu še vedno ostali metaboliti, ki zavirajo okužbo z glivami razkrojevalkami. Kakorkoli, ti izolati delujejo preventivno, gobe pa ne uničijo, če je ta že prerasla les. Glavni antagonistični mehanizem *Trichoderme* so hlapne organske spojine (HOS), ki jih sproščajo med rastjo. Inhibitorno delujejo na večino gliv rjave trohnobe. HOS so večinoma heptanal, oktanal, nonanal in dekanal (Bruce *et al.*, 1991).

Žal z biotehnološkimi postopki ne moremo zagotoviti popolne zaščite lesa. Vsekakor pa zaščita z antagonističnimi organizmi podaljša življenjsko dobo lesenih izdelkov. Na trgu je pod komercialnim imenom BINAB FYT že dostopna suspenzija spor in peletov hif naslednjih gliv: *T. polysporum*, *T. harzianum* in *Scytalidium sp.* Ta suspenzija zaščiti les pred glivami rjave trohnobe, po drugi strani pa ne prepreči razvoja glive pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*) (Bruce *et al.*, 1991).

V termitskih predelih ZDA in Francije številni raziskovalci iščejo primerne antagonistične glive, ki bi uspešno zaščitile les pred napadom termitov. Najbolj obetajoči sta entomopatogeni glivi *Beauveria bassiana* in *Metarhizium anisopliae*. V laboratorijskih pogojih je glivna okužba povzročila smrt od 50 do 100 % kolonije. Z glivami lahko okužimo celotno kolonijo naenkrat, kar je zelo zahtevno, saj moramo najprej podzemno kolonijo sploh odkriti. Poleg tega se na istem območju lahko nahaja več kolonij in nikoli ne moremo biti prepričani, če smo uničili ciljno kolonijo. Elegantnejša je rešitev, da postavimo pasti in okuženi osebki termitov postopno okužijo celoten termitnjak. Glavna ovira pa je dobro razvit obrambni mehanizem termitnjaka, ki v hipu izloči inficirane osebkke. Zato sporam dodajamo atraktante, ali pa v pasti nastavimo tako nizko koncentracijo spor, da je termiti na vhodu v termitnjak ne zaznajo (Le Bayon *et al.*, 2000).

## Bioremediacija odpadnega zaščitenega lesa

Večina klasičnih zaščitnih sredstev za les je strupenih tudi po tem, ko je zaščiten les umaknjen iz uporabe. Običajno sežiganje ali prosto odlaganje takšnega lesa ni dovoljeno, sežiganje v za to

namenjenih inceneratorjih pa je relativno drago. Lesne glive in bakterije predstavljajo okolju prijazno rešitev mikoremediacije oziroma bioremediacije. Za les, zaščiten s pripravki na osnovi bakra (CCA, CCB, CCF, Cu-amin, bakrov naftenat) uporabljamo glive rjave trohnobe, za les, zaščiten z organskimi pripravki (slika 4) (kreozotno olje, Lindan ali PCP) pa glive bele trohnobe (Humar in Pohleven, 2003).

Glive bele trohnobe s svojimi encimi (oksidazami) razgrajujejo najbolj širok spekter ksenobiotikov. Da bi jih lahko uspešno mineralizirale, potrebujejo primarni vir ogljika ter primanjkljaj katerega od hranilnih virov, ki sproži izražanje ligninolitičnih encimov (v naravi to omogoči ligninolizo). Bioremediacija z glivami bele trohnobe ni ne hitra in ne izjemno učinkovita, je pa temeljita in nespecifična, kar je izjemna prednost (Tavzes, 2003). Za uspešno bioremediacijo so se najbolj obnesli organizmi z nespecifičnim delovanjem, kot so glive in bakterije, ki so jih izolirali iz zaščitenega lesa v uporabi. Glive bele trohnobe lahko s svojimi encimskimi in neencimskimi mehanizmi razkrajajo številne PAH spojine, saj je njihova struktura zelo podobna strukturi lignina. Večina raziskav razstrupljanja lesa, zaščitenega z organskimi pripravki, je bila izvedena na lesu, zaščitenem s kreozotnim oljem ali s pentaklorofenolom (PCP). Z izpostavitvijo zaščitenega lesa tolerantnim izolatom gliv dosežemo, da ti razgradijo les in biocide v lesu v okolju nenevarne produkte.

Med 89 testiranimi glivami bele trohnobe je največjo sposobnost razkrajanja PAH spojin imela gliva *Bjerkandera adusta* (Messner in Böhmer, 1998). Bakterije so nekoliko tolerantnejše, vendar ne morejo razgraditi aromатов več kot štirimi obroči, medtem ko nekatere glive bele trohnobe takšne

spojine brez težav mineralizirajo. Mejna vrednost PAH v lesu je za glive bele trohnobe okoli  $3900 \mu\text{g}_{\text{PAH}}/\text{g}_{\text{lesa}}$ . Ta vrednost pa je približno desetina koncentracije PAH spojin v povprečnem železniškem pragu. Večina postopkov remediacije odpadnih železniških pragov je zato dvostopenjskih. Zaščiten les najprej izpostavimo bakterijam, ki razgradijo PAH spojine z manj obroči, v drugi stopnji pa glive razgradijo še tiste z več obroči (Messner in Böhmer, 1998).

Uporaba PCP je v večini evropskih držav že prepovedana, vendar je trajnost lesa od 30 do 50 let. Zato bo v naslednjih letih odpaden, s PCP zaščiten les, povzročil veliko težav. Večina lesnih gliv ima mehanizme, s katerimi lahko razkrojijo PCP, če koncentracija tega biocida ni previsoka. Najbolj učinkovite so naslednje glive: *Trichoderma viride*, *Coniophora puteana* in *Trametes hirsuta*. V laboratoriju je v štirih tednih *T. hirsuta* razgradila kar 84 % PCP. Ko pa so skušali prenesti proces v večje merilo, je bila ta gliva bistveno manj učinkovita. V osmih tednih je razgradila le 30 % PCP. Glavni vzrok za manjšo učinkovitost je bilo preveliko samogretje materiala, ki je onemogočalo rast glivi (Mai *et al.*, 2004).

Poleg PCP in kreozotnega olja so se za zaščito lesa uporabljale tudi številni drugi biocidi; DDT, lindan, piretroidi ... Lesne glive so sposobne razgraditi tudi te. Najbolj vsestranski glivi, ki lahko razkrajata zelo širok spekter biocidov, sta *Trametes versicolor* in *Pleurotus ostreatus* (Lee *et al.*, 1992). V našem laboratoriju pa se je kot izredno učinkovita izkazala tudi *Hypoxylon fragiforme* (Pezdir, 2005).

Bioremediacija odpadnega lesa, zaščitenega z anorganskimi biocidi, je bila v reviji Les že predstavljena (Humar in Pohleven, 2003). Zato bo v tem prispevku opisana le na kratko. Najpomembnejši anorganski pripravki so sestavljeni

iz mešanice različnih soli. Najpogostejši kombinaciji sta vodna raztopina bakrovih, kromovih in arzenovih (CCA) ali borovih spojin (CCB). Ker so anorganski biocidi nerazgradljivi, jih moramo iz lesa izprati. Izpiranje omogočimo, če odpadni zaščiten les izpostavimo glivnim izolatom, ki so tolerantni na bakrove pripravke. Največ tolerantnih gliv pripada rodu *Antrodia*. Te glive izločajo velike količine oksalne kisline, ki s kromom oziroma arzenom tvori dobro topne oksalate in jih po izpostavitvi izperemo iz lesa. Po drugi strani pa nastanejo tudi v vodi netopni kompleksi bakrovega oksalata. Če želimo tudi te izprati iz lesa, moramo uporabiti vodno raztopino amoniaka. Po štirih tednih izpostavitve odpadnega lesa glivam, lahko iz lesa izperemo okoli 97 % kromovih, 98 % arzenovih in 80 % bakrovih spojin.

Mikoremediacije odpadnega, z anorganskimi pripravki zaščitenega lesa, do sedaj še nismo uspeli prenesti v industrijsko merilo. Največ težav povzroča kontaminacija s plesnimi (*Aspergillus sp.* in *Trichoderma sp.*) ter preveliko pregrevanje med procesom (Amartey *et al.*, 2003).

Poleg tehnoloških omejitev širši razmah mikoremediacije trenutno zavirajo tudi ekonomski vzroki. Pred 15 leti, ko so se strokovnjaki prvič zavedli težav z odpadnim zaščitenim lesom, je bila cena sežiganja odpadnega zaščitenega lesa relativno visoka (500 EUR/t) (Ribeiro *et al.*, 2000). Pri tako visokih cenah uničenja so bili biotehnološki postopki ekonomsko veliko sprejemljivejši kot danes, ko je cena za uničenje odpadnega zaščitenega lesa stokrat manjša (Peek, 2004).

## Biotehnološki postopki predelave lesa

### Lepljenje lesa z lignolitičnimi encimi

V lesarstvu se največ lepil porabi za

različne kompozite. Lepljenje poteka pri visoki temperaturi ter tlaku. Lepilo poveže les, furnir ali iveri v nov material. V lesu ima lignin podobno vlogo kot lepilo pri ploščah. Lignin med seboj povezuje celulozne mikrofibrile, podobno kot lepilo povezuje iveri oziroma lesna vlakna.

V industriji ivernih plošč so že pred leti skušali nadomestiti del fenola v fenol-formaldehidnih lepilih z lignosulfonati. To so poceni stranski produkti, ki nastanejo v papirni industriji. V tem sistemu je bil formaldehid še vedno potreben, saj je deloval kot vezni člen med lignosulfonati in lesom. Premreženje lahko dosežemo tudi z radikalsko reakcijo, ki jo sprožimo z oksidativnimi encimi lesnih gliv (lakazami in peroksidazami). Nastali prosti radikali omogočijo ponovno premreženje in nastanek kvalitetnega lepilnega spoja. Lakaze lahko pridobimo relativno poceni s fermentacijo odpadne sulfite raztopine, ki vsebuje zadostne količine enostavno dostopnih ogljikovodikov. Iverne plošče, izdelane po opisani metodi, so imele mehanske lastnosti primerljive z običajnimi ploščami, nabrekanje in dimenzijska stabilnost pa je bila zaradi hidrofobnosti lignina izboljšana (Hüttermann *et al.*, 2001).

V laboratorijskem merilu in polindustrijskem merilu se je ta postopek do slej obetavno obnesel. Zaradi visokih razvojnih stroškov pa razvojne raziskave še intenzivno potekajo (Mai *et al.*, 2004).

### Uporaba lignina (z glivami razkrojenega lesa) kot lepilo

V številnih študijah so skušali uporabiti lignin iz različnih tehnoloških procesov pridobivanja celuloze kot delno nadomestilo za fenol v fenol-formaldehidnih lepilih. Takšen lignin ima zaradi nizke vsebnosti prostih fenolnih skupin nizko reaktivnost. Lig-



□ Slika 5. Z glivami rjave trohnobe razkrojen les  
*Figure 5: Brown rotted wood*



□ Slika 6. Z modrivkami obdelana borovina, dostopna pod komercialnim imenom Denim-pine (<http://www.denimpine.ca>)  
*Figure 6. Pine wood exposed to blue stain fungi, commercially available as Denim-pine (<http://www.denimpine.ca>)*

nin, ki ga pridobimo z lesnimi glivami rjave trohnobe (slika 5), ima bistveno boljše lastnosti. V fenol-formaldehidnih lepilih so lahko s takšnim ligninom nadomestili kar 35 % fenolnih komponent. Mehanske lastnosti takšnih plošč so bile primerljive z mehanskimi lastnostmi plošč, zlepljenimi s tradicionalnimi lepili (Mai *et al.*, 2004).

Lepila z dodatki lignina so preizkusili tudi za izdelavo vezanih plošč. V tem primeru so bile mehanske lastnosti



□ Slika 7. Gobe šitake (*Lentinus sp.*), vzgojene na bukovem štoru  
*Figure 7. Shitake (*Lentinus sp.*) mushrooms cultivated on beech log*

slabše kot pri ploščah, zlepljenih s konvencionalnimi lepili. Kakorkoli, dodajanje z glivami proizvedenega lignina v lepila verjetno ne bo zaživel v praksi, saj je proizvodnja takšnega lignina relativno dolgotrajna. Z glivami pridobljen lignin moramo tudi vedno okarakterizirati in ustrezno prilagoditi industrijski postopek, kar v velikoserijskih proizvodnjah ni sprejemljivo (Jin *et al.*, 1991).

### Izboljšanje obdelavnosti lesa

Sekanje, vlaknjenje in iverjenje lesa zahtevajo relativno veliko energije. Tritedenska izpostavitve sekancev glivam bele (*Trametes hirsuta*) in glivam rjave trohnobe (*Gloeophyllum trabeum*, *Coniophora puteana* in *Fomitopsis pinicola*) prihrani kar 40 % energije, potrebne za iverjenje. V tem času so glive razkrojile manj kot štiri odstotke lesne mase. Iverne plošče, izdelane iz glivam izpostavljenih sekancev, so imele primerljive mehanske lastnosti kot običajne plošče. Po drugi strani pa so imele MDF plošče, izdelane iz takšnih sekancev, trikrat boljše upogibno trdnost in trikrat večji modul elastičnosti. Debelinski nabrek je bil

zmanjšan za 60 do 70 % (Körner *et al.*, 2001). Omenjeni postopek v praksi že uvajajo v nekaterih tovarnah celuloze.

### Miko les

Bukov les, izpostavljen glivam bele trohnobe *Pleurotus ostreatus* ali *Trametes versicolor*, so imenovali "Myco-wood" ali "Myco-holz". Odvisno od časa izpostavitve glivam se glede na namen uporabe uravnavajo gostota in mehanske lastnosti lesa. Lesu se zaradi delovanja gliv močno izboljša obdelavnost. Največ miko-lesa so porabili za svinčnike, barvice, ravnila, modelarstvo in laboratorijsko opremo. Med letoma 1958 in 1965 so v bivši Demokratični republiki Nemčiji izdelali 55 milijonov miko-svinčnikov. Trenutno v industriji te tehnologije ne uporabljajo. Nekaj proizvajalcev svinčnikov in barvic razmišlja o ponovnem zagonu proizvodnje (Wainwright, 1992).

### Uporaba pomodrelega lesa

Pomodrel les je zaradi estetskih razlogov nezaželen. V skandinavskih državah, Kanadi in ZDA pa ga skušajo uveljaviti tudi za izdelavo unikatnih izdelkov. Prvič so pomodrel les na tržišču predstavili v Kanadi. Po hudi suši so njihove gozdove napadli številni podlubniki in beljavarji, ki so z glivami modrivkami okužili velike količine hlobovine. Gozdarji hlobovine niso želeli prodati v cenene industrijske namene. Iz lesa so hoteli iztržiti kaj več. Domislili so se, da bi pomodrel les predstavili kot modni artikel (<http://www.northerncaucus.bc.ca/2160/2244>). Pomodrel les so na trgu ponudili pod različnimi komercialnimi imeni, najpogosteje kot denim-wood ali denim-pine. Reklamna kampanja je bila izjemno uspešna, zato so pomodrel les začeli "proizvajati" tudi sami. Les bora so okužili s suspenzijo spor gliv modrivk in po nekaj tednih so dobili enakomerno obarvan material. Iz

pomodrele borovine danes izdelujejo spominke, pohištvo, talne in stenske obloge (slika 6).

### Kompostiranje in gojenje gob

Kompostiranje je eden izmed najstarejših biotehnoloških postopkov predelave lesne surovine. Uporablja se še danes, vendar ne v takšnem obsegu. Iz lesa želimo pridobiti kaj več kot le kompost. Gojenje gliv je na prvi pogled zelo podobno kompostiranju. Pri tem dobimo tako plodišča-gobe kot preostanek, ki ga lahko predelamo v kompost. Gobe lahko gojimo v prehrabene ali pa v medicinske namene (slika 7).

### Biotehnološki postopki v papirni industriji

Na koncu bi omenili še nekaj postopkov biotehnološke predelave lesa, ki niso strogo povezani z lesarstvom. Prvo področje je papirna industrija. Lesne glive se uporabljajo v številnih postopkih izdelave papirja. Najpogosteje se omenja biobeljenje (biobleaching), biopulpanje (biopulping), razgradnja smol in čiščenje odpadnih vod. Lesne glive v teh postopkih lahko nadomestijo številne, okolju neprijazne kemikalije. Na tem področju potekajo številne raziskave, ki obetajo alternativne tehnološke izboljšave.

### SKLEP

Biotehnološki postopki v lesarstvu pomenijo velik izziv. Biotehnologija je visokotehnološka panoga, ki omogoča izdelavo izdelkov z višjo dodano vrednostjo in nadomestitev številnih okoljsko spornih postopkov s primernejšimi. Številne rešitve so še vedno uporabljene zgolj v laboratorijskem merilu, po drugi strani pa jih je kar nekaj primernih za preslikavo v večje merilo. Žal pa prenos v industrijsko merilo ni poceni, zato ga kapitalsko šibka lesna industrija velikokrat ne zmore. □

### literatura

- Adolf, F.P. 1975** Über eine enzymatische Vorbehandlung von Nadelholz zur Verbesserung der Wegasamkeit. *Holzforschung* 29: 181-186
- Amartey, S.A.; Humar, M.; Pohleven, F. 2003** Recycling of CCA/CCB treated wood waste through bioremediation : a review. *Drev. vysk* 48: 1-12
- Babuder, G.; Pohleven, F.; Brelih, S. 1996** Selectivity of synthetic aggregation pheromones LinopraxR and PheropraxR in the control of the bark beetles (*Coleoptera Scolytidae*) in a timber storage yard. *J. appl. entomol.* 120: 131-136
- Behrendt, C.J.; Blanchete, R.A. 2001** Biological control of blue stain in pulpwood: mechanisms of control used by *Phelebiopsis gigantea*. *Holzforschung* 55: 238-245
- Brown, A. 2002** Biological control of decay fungi in seasoning utility poles. COST E22, <http://www.bfah.de/cost22.htm>
- Bruce, A.; King, B.; Highley, T.L. 1991** Decay resistance of wood removed from poles biologically treated with *Trichoderma*. *Holzforschung* 45: 307-311
- Fengel, D.; Wegener, G. 1989** Wood; Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin, New York, Walter de Gruyter, 603
- Graf, E. 2001** Biologische und biotechnologische Verfahren gegen holzbewohnende Pilze - eine Übersicht. *Holz Roh Werkst* 59: 356-362
- Hammel, K.E. 1996** Fungal degradation of lignin. V: Driven by nature: Plant litter quality and decomposition. Gadisch, G., Giller, G. (eds) Madison (WI), CAB International, 33-45
- <http://www.denimpine.ca>
- <http://www.northerncaucus.bc.ca/2160/2244>
- Humar, M.; Pohleven, F. 2003** Razstrupljanje odpadnega s CCA ali CCB pripravki zaščitenega lesa z lesnimi glivami. *Les* 55: 89-94
- Husman, T.M. 2004** Clusters of autoimmune diseases in microbial exposure in moisture damaged buildings. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 113: 59
- Hüttermann, A.; Mai, C.; Kharazipour, A. 2001** Modification of lignin for the production of new compounded materials. *Appl Microbiol Biotechnol* 55: 387-394
- Jin, L.; Nicholas, D.D.; Schultz, T.P. 1991** Wood laminates glued by enzymatic oxidation of brown-rotted lignin. *Holzforschung* 45: 467-468
- Körner, I.; Kühne, G.; Pecina, H. 2001** Unsterile Fermentation von Hackschnitzelneine Holzbehandlungsmethode für die Faserplattenherstellung. *Holz Roh Werkst* 59: 334-341
- Le Bayon, I.; Ansard, D.; Brunet, C.; Girardi, S.; Paulmier, L. 2000** Biocontrol of *Reticulitermes santonensis* by entomopathogenic fungi—improvement of the contamination process. International Research Group on Wood Preservation (IRG/WP 00-10359), Stockholm
- Lee, D.H.; Takahashi, M.; Tsunoda, K. 1992** Fungal detoxification of organoiodine wood preservatives. Part 1. *Holzforschung* 46: 81-86
- Mai, C.; Kües, U.; Militz, H. 2004** Biotechnology in the wood industry. *Appl Microbiol Biotechnol* 63: 477-494
- Messner, K.; Böhmer, S. 1998** Evaluation of fungal remediation of creosote treated wood. International Research Group on Wood Preservation (IRG/WP 98-50101/26), Stockholm
- Messner, K.; Fackler, K.; Srebotnik, E.; Hinterstoisser, B.; Steinwender, M. 2002** Biotechnological wood modification. V: Vienna University (ed) Proceedings of the international symposium on wood based materials, part 2. Vienna University, Vienna, 45-59
- Militz, H.; Homan, W.J. 1993** Vorbehandlung von Fichtenholz mit Chemikalien mit dem Ziel der Verbesserung der Imprägnierbarkeit. *Holz Roh Werkst* 51: 14-20
- Peek, R.D. 2004** Nemške izkušnje ravnanja z lesnimi ostanki / German experience on wood residues. V *Les za pohištvo ali kurjavo*, Ljubljana, 14-25
- Pezdirč, N. 2005** Vpliv zgradbe policikličnih aromatskih ogljikovodikov in polikloriranih fenolov na rast glive *Hypoxylon fragiforme*. Diplomsko delo. Ljubljana, 90
- Raspor, P. 1996** Biotehnologija. Osnovna znanja. Ljubljana, BIA d.o.o. 801
- Ribeiro, A.B.; Mateus, E.P.; Ottosen, L.M.; Bech-Nielsen, G. 2000** Electrolytic removal of Cu, Cr, and As from chromated copper arsenate treated timber waste. *Environmental Science and Technology* 34: 784-788
- Richardson, B.A. 1993** Wood Preservation. Second edition. London, Glasgow, E & FN Spon, 226
- Rosner, B.; Messner, K.; Tucker, E.; Bruce, A. 1998** Improved preservative penetration of spruce after pre-treatment with selected fungi. I: fungal pre-treatment of pole sections. International Research Group on Wood Preservation (IRG/WP 98-40117), Stockholm
- Suolahti, O.; Wallen, A. 1958** Der Einfluss der Nasslagerung auf das Wasseraufnahmevermögen des Kiefernspindelholzes. *Holz Roh Werkst* 16: 8-17
- Tavzes, Č. 2003** Proučevanje encimskih in neencimskih procesov razgradnje lesa. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 138