

Termično inaktiviranje lesne površine

Thermal inactivation of wood surface

avtor dr. **Milan ŠERNEK**, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, 1000 Ljubljana

izvleček/Abstract

Opisan je pojav neaktivne lesne površine, ki nastane zaradi izpostavitve lesa visokim temperaturam. Navedeni so dejavniki in njihov vpliv na površinske lastnosti lesa. Razloženi so fizikalni in kemijski mehanizmi, ki so lahko vključeni v inaktiviranje lesne površine. Pojasnjen je vpliv termičnega inaktiviranja lesne površine na lepljenje z lepili na vodni osnovi.

The article describes a phenomenon of wood surface inactivation induced by exposure to high temperatures. The influence of relevant factors on surface properties of wood is explained. Possible physical and chemical mechanisms, which can be involved in the inactivation phenomenon, are discussed. The article elucidates the effect of the thermal inactivation of a wood surface on bonding with water-based adhesives.

Ključne besede: površina lesa, sušenje furnirja, ekstraktivi, kontaktni kot, adhezija

Keywords: wood surface, veneer drying, extractives, contact angle, adhesion

Uvod

Trdnost lepilnega spoja je odvisna od kohezije utrjenega lepila, kohezije lepljencev in predvsem od adhezije, ki nastane v procesu lepljenja med lepilom in lepljencem. Kohezija (cohesion) je privlačnost med osnovnimi gradniki snovi (atomi ali molekule) in jo imenujemo tudi mehanska trdnost materiala (USDA 1999). Med lepljenjem je možnost za spreminjanje kohezijskih lastnosti lepilnega spoja majhna, saj je kohezija večji del določena z izbiro lesa, lepila in parametrov lepljenja. Variiranje v trdnosti lepilnega spoja je zato predvsem posledica različne adhezije med lepilom in lepljencem. Adhezija (adhesion) pomeni površinski fenomen in predstavlja privlačnost oziroma prijemnost med površinami snovi. Definirana je kot stanje, v katerem sta dve površini povezani med seboj zaradi delovanja površinskih sil (USDA 1999). Pri lepljenju lesa lahko te sile nastanejo na osnovi treh mehanizmov. To so (Gollob in Welons 1990):

1. Mehanska povezava, ki je rezultat penetracije in sidranja lepila v lumne lesnih celic, v celične stene lesa ter v razpoke v strukturi lesa.
2. Fizikalna privlačnost, ki je rezultat privlačnih sil na nivoju molekul. Teh sil je več vrst (npr.

van der Waalsove sile in vodikova vez). Njihov nastanek in jakost je odvisna od omočitve celičnih sten lesa z lepilom in njegove absorpcije v les.

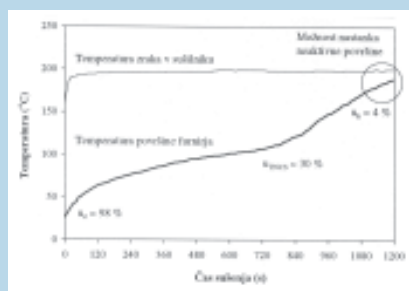
3. Kemijska vez (kovalentna) med molekulami lepila in lesa, ki lahko nastane med utrjevanjem lepila. Kovalentne vezi nastanejo pri lepljenju lesa z lepili, ki zamrežijo. Čeprav pojav te vrste adhezije med lepilom in lesom ni pogost, je z vidika trdnosti najbolj zaželen. Energija kemijske vezi je namreč deset in večkrat večja od energije fizikalne vezi (Pizzi 1994).

Ker je adhezija površinski pojav, so lastnosti in stanje površine lesa kritičnega pomena pri oblikovanju kvalitetne lepilne vezi. Sveže obdelana (odprta) površina lesa navadno zagotovi zadostno adhezijo, ker taka površina obdrži večino molekulskih privlačnih sil, ki so material prvotno držale skupaj (Marra 1992). Zaradi številnih privlačnih sil se lahko molekule na površini lesa v procesu lepljenja povežejo z molekulami lepila in zagotovijo trden lepilni spoj. Lom takega lepilnega spoja običajno poteka po lesu, saj je dosežena adhezija večja, kot je kohezija lesa. Lom po lesu je zaželen in je s praktičnega vidika sinonim za kvalitetno lepljenje v lesarstvu.

V mnogih primerih pa ne lepimo sveže obdelanih površin lesa ampak površine, ki so med tehnološkimi procesi utrpeli najrazličnejše fizikalne, kemične in mehanske spremembe. Zaradi tega se privlačne sile na površini lesa razpršijo in izginjajo. Takšna površina lesa se težko lepi, lepilni spoji pa se odpirajo že pri manjših obremenitvah, saj maloštevilne in šibke površinske sile ne zagotavljajo razvoja močne adhezije z molekulami lepila. V takih primerih govorimo o neaktivni lesni površini (inactivated wood surface). Inaktiviranje je definirano kot fizikalno-kemična modifikacija lesne površine, ki se odraža v slabi omočitvi lesa z lepilom, v nezadostnem razlivanju lepila, v slabi penetraciji lepila v celične stene lesa in v nepopolnem utrjevanju lepila (USDA 1999).

Nastanek neaktivne lesne površine

Vir za nastanek neaktivne površine je lahko zrak, toplota, svetloba, kemična obdelava, mehanska obdelava, nečistoče in les sam (Marra 1992). Tipični procesi, pri katerih pride do inaktiviranja površine, so staranje lesa, sušenje lesa ter mehanska in termična obdelava lesa. Izrazito neaktivna površina se pojavi, kadar je les izpostavljen visokim temperaturam. V lesni industriji se to lahko zgodi pri sušenju furnirja in iverja ter pri vročem lepjenju lesnih tvoriv, kot so furnirne, iverne in vlaknene plošče. Ker pa po stiskanju lesna tvoriva običajno brusimo (npr. kalibriranje) in s tem odstranimo neaktivno površino, je nadaljnje lepljenje (npr. furniranje) učinkovito. Mehanska odstranitev neaktivne površine pa zaradi oblike in dimenzij ni običajna oziroma ni mogoča pri sušenem luščenem furnirju. Zato ostaja površina furnirja neaktivna in je vključena v lepilni spoj pri proiz-



□ Slika 1. Porast temperature na površini furnirja med sušenjem (Šernek 2002)

vodnji furnirnih plošč (Sellers 1985). Če je bilo inaktiviranje površine izrazito, se lepilni spoji odpirajo kljub uporabi kvalitetnih lepil. Nizko trdnost, oziroma šibko adhezijo, izkazujejo predvsem površine furnirja, ki so bile presušene. Termično inaktiviranje lesne površine je namreč povezano s končno fazo sušenja, ko je vlažnost lesa nizka, temperatura površine lesa pa se približa temperaturi zraka v sušilniku. Takšno stanje je na sliki 1 označeno s krogom.

Slika 1 prikazuje porast temperature na površini furnirja južnega bora (*Pinus taeda*) med njegovim sušenjem od začetne vlažnosti ($u_z = 98\%$) do končne vlažnosti ($u_k = 4\%$). Konvekcijsko sušenje v sušilniku je potekalo pri $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatura zraka (tanjša krivulja) je bila na začetku sušenja sicer nižja, vendar je hitro naraščala in je bila po nekaj minutah praktično konstantna. Temperatura površine luščenega furnirja (debelejša krivulja) je ves čas naraščala, vendar je bila relativno nizka, dokler je bila vlažnost lesa nad točko nasičenja celičnih sten (u_{TNCS}). Pri tej vlažnosti les vsebuje prosto in vezano vodo. Prosta voda se med sušenjem, kot masni tok ali kot parna difuzija, giblje s sredine na površino lesa, kjer izpareva (Siau 1995). Hladilni efekt, ki je nastal zaradi porabe energije za izparevanje vode,

je zadrževal čezmerno naraščanje temperature na površini furnirja. Ko pa je vlažnost furnirja padla pod TNCS ($u < 30\%$), je les vseboval samo vezano vodo. Ta je med nadaljnjim sušenjem difundirala skozi celične stene lesa na površino furnirja in tam izparevala. Ker pa je difuzija vezane vode skozi les počasnejša kot masni tok vode, se je izparevanje s površine lesa zmanjšalo, s tem pa se je zmanjšal tudi hladilni efekt. Površina furnirja se je zato čedalje bolj segrevala, tako da se je njena temperatura na koncu sušenja približala temperaturi zraka v sušilniku. V tej končni fazi sušenja se pogosto zgodi, da temperatura površine doseže kritično vrednost, pri kateri se pojavijo bistvene fizikalno-kemične spremembe, ki vodijo v neizogibno inaktiviranje lesne površine. Kritična temperatura za inaktiviranje lesne površine se spreminja glede na drevesno vrsto in je odvisna od številnih dejavnikov.

Vpliv drevesne vrste

Inaktiviranje lesne površine je odvisno od drevesne vrste, od njenih anatomske in fizikalnih lastnosti ter od kemične sestave lesa. Iglavci so navadno bolj nagnjeni k nastanku neaktivne površine kot listavci. Domneva se, da je to zaradi večje količine nepolarnih ekstraktivnih snovi v iglavcih (Christiansen 1990). Nepolarne snovi so hidrofozne (odbijajo vodo), zato negativno vplivajo na lepljenje z lepili na vodni osnovi. Inaktiviranje je pogostejše pri furnirju, ki je luščen iz jedrovine. Vlažnost jedrovine je običajno nižja kot vlažnost beljave, zato se jedrovina med sušenjem hitreje presuši, kar ustvari pogoje za inaktiviranje. Poleg tega pa jedrovina vsebuje več ekstraktivnih snovi kot beljava in je zato potencialno bolj občutljiva.

Vpliv temperature in časa

Inaktiviranje lesne površine je časovno odvisen proces, katerega intenziteta narašča s temperaturo. Pojavi se lahko tudi pri sobni temperaturi, vendar je za to potreben bistveno daljši čas. Za lepljenje je predvsem problematično inaktiviranje, ki nastane zaradi izpostavljenosti lesa visokim temperaturam. Pri sušenju furnirja ameriških iglavcev se kritične spremembe na površini lesa navadno začnejo pri temperaturi nad 160 °C (Christiansen 1990). Izpostavljenost taki temperaturi lahko povzroči delni razpad hemiceluloz (Fengel in Wegener 1989), zato se ne modificirajo samo površinske lastnosti lesa ampak se zmanjšata tudi higroskopnost lesa in absorpcija vode oziroma lepila v les.

Vpliv tehnike sušenja

Tehnika sušenja vpliva na nastanek neaktivne lesne površine, saj se parametri sušenja, kot so temperatura zraka, hitrost zraka in smer gibanja zraka, razlikujejo glede na vrsto sušenja (Carpenter 1999). Naraščanje sušilne hitrosti in vlažnostnega gradienta poveča možnost za inaktiviranje lesne površine. Način prenosa toplote (kondukcijski ali konvekcijski) s sušilnega medija na les prav tako vpliva na pogostost inaktiviranja lesa. Pri kontaktnem sušenju, kjer je površina furnirja v neposrednem stiku z vročimi valji ali ploščami, lahko površina lesa postane inaktivna zelo hitro. Pri konvekcijskem načinu pa se inaktiviranje pojavi šele, ko je vlažnost furnirja nizka, temperatura in hitrost zraka pa dovolj visoka.

Mehanizmi inaktiviranja lesne površine

Inaktiviranje lesne površine je običajno posledica delovanja več meha-

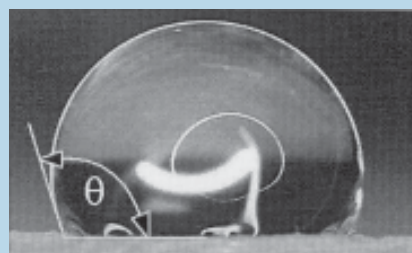
nizmov, pri čemer pa je vpliv enih bolj izrazit kot vpliv drugih. Mehanizmi inaktiviranja lesne površine so lahko fizikalne ali kemične narave. Mednje spadajo:

- migracija ekstraktivnih snovi na površino lesa,
- reorientacija molekul na površini lesa,
- zaprtje mikropor lesa,
- eliminacija hidroksilnih skupin s površine lesa,
- oksidacija in piroliza lesne površine in
- sprememba pH vrednosti.

Migracija ekstraktivnih snovi na površino lesa

Zmanjšanje omočitvenih sposobnosti lesne površine je velikokrat posledica migracije ekstraktivnih snovi na površino lesa (Christiansen 1990). Omočitev se pogosto ocenjuje z merjenjem kota Θ , ki nastane na stiku med kapljico tekočine in trdno površino. V angleščini se ta kot imenuje *contact angle* in ga različni avtorji prevajajo kot mejni kot (Strnad 1984), stični kot (Planinšek 1999), omakalni kot (Sovinc 2002) in kontaktni kot (Šernek 2002). Kadar je kontaktni kot velik, je omočitev slaba in obratno. Velik kontaktni kot, ki je prikazan na sliki 2, je tipičen za neaktivno lesno površino.

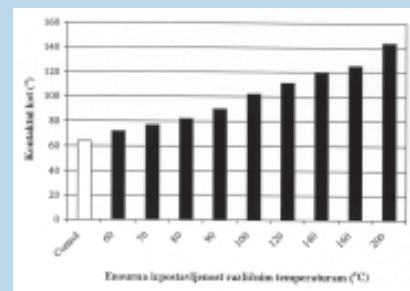
Podgorski (2000) je s sodelavci



□ Slika 2. Kontaktni kot (Θ) kapljice vode na neaktivni lesni površini (Šernek 2002).

ugotovil, da se kontaktni kot večja z naraščajočo temperaturo, ki ji je bil les izpostavljen (slika 3). Visoka temperatura namreč pospeši transport ekstraktivnih snovi iz notranjosti lesa na površino. Količina ekstraktivov, ki se koncentrirajo na površini lesa, je odvisna od temperature sušenja in vlažnostnega gradienta. Med sušenjem lesa potujejo v vodi topne ekstraktivne snovi na površino skupaj z vodo. Ko voda izpari, ostane nehlapien del ekstraktivnih snovi na površini lesa. V vodi netopne ekstraktivne snovi pa migrirajo na površino v plinasti obliki. Lahkohlapni del izpari, medtem ko snovi z višjo molekulsko maso kondenzirajo in se koncentrirajo na površini lesa. Podgorski in sod. (2000) so menili, da ekstraktivi prekrivajo površino v obliki tankega filma, ki zmanjšuje omočitev in preprečuje penetracijo lepila v celične stene, kar zmanjša trdnost lepilnega spoja.

Visoka koncentracija ekstraktivnih snovi na površini lesa pa vpliva na trdnost lepilnega spoja še na razne druge načine (Hse in Kuo 1988). Ekstraktivne snovi se lahko pomešajo z lepilom in zmanjšajo njegove kohezijske lastnosti. Oksidacija ekstraktivnih snovi poveča kislost, kar vpliva na hitrost utrjevanja lepila.



□ Slika 3. Odvisnost omočitve jelovine glede na izpostavitve različnim temperaturam (risba po Podgorski et al. 2000).

Ekstraktivi lahko blokirajo funkcionalne skupine na površini lesa in s tem znižajo možnost za nastanek privlačnih sil med molekulami lepila in lesa.

Ekstraktivne snovi so lahko polarne in nepolarne (Fengel in Wegener 1989). Površina lesa, ki vsebuje veliko nepolarnih ekstraktivnih snovi, postane odbijajoča za lepila na vodni osnovi. Nguyen in Johns (1979) sta ugotovila, da je izločitev nepolarnih snovi iz lesa z ekstrakcijo izboljšala omočitev duglazije. Čeprav so ekstraktivne snovi velikokrat vpletene v nastanek neaktivne lesne površine, niso pogoj za njen nastanek (Suchsland in Stevens 1968). Troughton in Chow (1971) nista našla neposredne povezave med inaktiviranjem lesne površine in količino ekstraktivnih snovi na površini lesa ter sta vzroke za inaktiviranje pojasnila z drugimi mehanizmi.

Reorientacija molekul na površini lesa

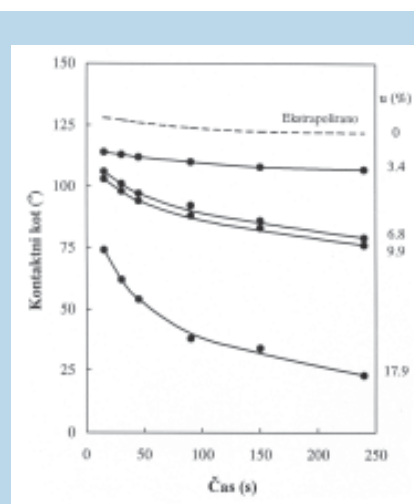
Inaktiviranje lesne površine je lahko posledica reorientacije molekul na njej. Znano je, da amorfnimi polimeri niso v termodinamičnem ravnovesju (Gunnels et al. 1994). Kadar je mobilnost teh polimerov mogoča, se molekule preuredijo tako, da imajo minimalno prosto površinsko energijo. Z manjšanjem proste površinske energije materiala pa se manjša tudi njegova omočitvena sposobnost. Reorientacija lahko vodi v nastanek hidrofobne površine, ki odbija vodo in lepila na vodni osnovi. Poleg tega pa reorientacija molekul na površini materiala zmanjša število reaktivnih skupin, ki so na voljo za kemično ali fizikalno vez pri lepljenju.

Znaten del amorfnih snovi v lesu predstavljajo hemiceluloze in lignin. Njuna molekulska preureditev je mogoča, kadar temperatura naraste

nad točko steklastega prehoda (T_g). Le-ta je zelo odvisna od vlažnosti lesa, in sicer z naraščajočo važnostjo strmo pada. Hemiceluloze imajo T_g od -23 do 200 °C (Kelly et al. 1987), lignin iglavcev od 65 do 85 °C in lignin listavcev od 90 do 105 °C (Glasser 2000). Molekulska preureditev na površini lesa je torej mogoča v proizvodnji lesnih tvoriv, kjer uporabljamo običajno take in višje temperature.

Zaprtje mikropor

Vzrok za slabo penetracijo lepila in s tem na nizko trdnost lepilnega spoja je lahko tudi zaprtje mikropor lesa, ki nastane zaradi sušenja. Med sušenjem se zmanjšuje število hidroksilnih skupin v celični steni lesa. Nekatere od teh sprememb so nepovratne, zato se zmanjšata higroskopskost in omočitvena sposobnost lesa. Wellons (1980) je ugotovil, da je težje omočiti les (visok kontaktni kot), ki ima nizko vlažnost. Zaradi boljše in hitrejše penetracije tekočine v les so časovne spremembe kontaktnega kota izrazitejše pri višji vlažnosti lesa (slika 4).



□ Slika 4. Kontaktni kot, odvisen od časa in vlažnosti lesa (risba po Wellons 1980)

Izločitev hidroksilnih skupin

Inaktiviranje lesne površine so pred leti povezovali z izločitvijo vode in nastankom eterske vezi (Christiansen 1991). Med sušenjem se hidroksilne skupine, ki se nahajajo med pari celuloznih molekul, združujejo v molekule vode, pri čemer se oblikuje etrska vez. Ta vez ima manjšo sposobnost za tvorbo vodikove vezi s polarnimi lepili kot so jo imele izločene hidroksilne skupine (Christiansen 1991), zato je adhezija pri lepljenju manjša.

Oksidacija in piroliza lesne površine

Oksidacija lesne površine in njena termična razgradnja sta mehanizma inaktivacije lesne površine, vendar šele pri izrazito visokih temperaturah. Troughton in Chow (1971) sta ugotovila, da sta oksidacija in piroliza lesne površine osnovna mehanizma pri nastanku neaktivne površine pri smreki, ki je bila izpostavljena temperaturi 220 °C. Tudi Fengel in Wegener (1989) poročata, da se izrazitejše spremembe v lesu zaradi oksidacije in pirolize navadno začnejo nad 200 °C.

Sprememba pH vrednosti in njen vpliv na utrjevanje lepila

Kemične spremembe na površini lesa vplivajo tudi na njegovo pH vrednost. Kisla ali bazična površina lahko pospeši ali zavre proces utrjevanja lepila (Pizzi 1994). Površina lesa drevesnih vrst zmerne pasu je navadno kisla s pH vrednostjo od 3,3 do 6,4 (Fengel in Wegener 1989). Kislost se običajno še poveča, kadar je les izpostavljen visokim temperaturam. To je lahko posledica termične razgradnje, ki vodi v nastanek kislin (Back 1991, Fengel in Wegener 1989) ali pa zaradi pospešene migracije obstoječih maščobnih in smolnih

kislin na površino lesa (Hse in Kuo 1988).

Kisla površina lesa je problematična predvsem pri utrjevanju lepil, ki utrjujejo v bazičnem mediju. Prenizka vrednost pH lesne površine lahko namreč zniža pH lepila na vrednost, kjer je kemična reakcija upočasnjena ali celo zaustavljena. Utrjevanje lepila je zato nepopolno in lepilna vez ima nizko trdnost. Subramanian (1984) je ugotovil, da kisla površina hrasta zmanjšuje trdnost resorcinolnega lepilnega spoja. Potrebni čas za utrjevanje fenolnega lepila se podaljšuje z naraščajočo koncentracijo kislih ekstraktivov na površini hrastovega lesa (Hse in Kuo 1988). Po drugi strani pa je lahko utrjevanje urea-formaldehidnega lepila, ki za potek polikondenzacije zahteva kisli medij, pospešeno zaradi nizke vrednosti pH na površini lesa.

Preventivni ukrepi in odstranjevanje neaktivne lesne površine

Nastanku neaktivne lesne površine se najlažje izognemo tako, da pri sušenju furnirja uporabljamo zmerne temperature, ki ne povzročajo bistvenih fizikalno-kemičnih sprememb. Furnir lahko izpostavimo visoki sušilni temperaturi samo na začetku sušenja, dokler je vlažnost lesa visoka. Ko se vlažnost približuje TNCS, je potrebno temperaturo sušenja znižati in skrbeti, da se furnir ne presuši. Ker začetna vlažnost furnirja zelo variira, se na koncu sušenja lahko zgodi, da so nekateri furnirski listi vseeno presušeni. Temu problemu se lahko izognemo z razvrščanjem furnirja v skupine glede na začetno vlažnost in s prilagajanjem sušilnih postopkov (režimov). Obstajajo tudi sredstva, ki jih nanesemo na površino furnirja pred sušenjem in tako preprečimo inten-

zivne kemične spremembe. Zadovoljivi rezultati so bili doseženi s tris (polyoxyethylen) sorbitan monooleatom (Christiansen 1991). Vodna raztopina te kemikalije, ki je bila nanesena na svež furnir duglazije, je preprečila nastanek neaktivne površine, vendar se uporaba te snovi v industriji ni uveljavila zaradi visokih stroškov za njeno proizvodnjo.

Velikokrat inaktiviranja lesne površine ne moremo preprečiti. V tem primeru je najbolje, da neaktivno površino lesa pred lepljenjem mehansko odstranimo. Ker je neaktivna le tanka plast lesa (nekaj mikronov), je za njeno uspešno odstranitev dovolj,

da prizadete površine skrtačimo, brusimo ali skobljamo. Ti postopki so sicer zelo učinkoviti, vendar pomenijo dodatni strošek, poleg tega pa jih ni mogoče vedno uporabiti (npr. pri ivereh, furnirju). Razviti so tudi razni postopki kemične obdelave neaktivne površine furnirja. Zadovoljivi rezultati so bili doseženi z vodno raztopino natrijeve baze, kalcijeve baze, dušikove kisline, vodikovega peroksida (Christiansen 1991) in boraksa (Chow 1975). Omočitev in adhezijo lahko izboljšamo tudi z dodatkom površinsko aktivnih snovi v lepilno mešanico ali z izbiro agresivnejšega lepila. □

literatura

1. Back, E.L. 1991. Oxidative activation of wood surfaces for glue bonding. *Forest Product Journal* 41(2):30-36.
2. Carpenter, M.W. 1999. Characterizing the chemistry of yellow-poplar surfaces exposed to different surface energy environments using DCA, DSC and XPS. Master's thesis, Morgantown, West Virginia University, 25-40.
3. Chow, S. 1975. Minimizing wood surface inactivation at high temperatures by boron compounds. *Forest Products Journal* 25(5):41-48.
4. Christiansen, A.W. 1990. How overdrying wood reduces its bonding to phenolformaldehyde adhesives: A critical review of the literature. Part I. Physical responses. *Wood and Fiber Science* 22(4):441-459.
5. Christiansen, A.W. 1991. How overdrying wood reduces its bonding to phenolformaldehyde adhesives: A critical review of the literature. Part II. Chemical reactions. *Wood and Fiber Science* 23(1):69-84.
6. Fengel, D., Wegener, G. 1989. *Wood chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin, 613 s.
7. Glasser, W.G. 2000. Classification of lignin according to chemical and molecular structure. In: *Lignin: Historical, biological, and materials perspectives*. ACS, Symposium Series 742, Washington, D.C., 216-238.
8. Gollob, L., Wellons, J.D. 1990. Wood adhesion. In: Skeist, I., editor. *Handbook of adhesives*. Van Nostrand Reinhold, New York, 598-610.
9. Gunnells, D.W., Gardner, D.J., Wolcott, M.P. 1994. Temperature dependence of wood surface energy. *Wood and Fiber Science* 26(4):447-455.
10. Hse, C.Y., Kuo, M. 1988. Influence of extractives on wood gluing and finishing-a review. *Forest Product Journal* 38(1):52-56.
11. Kelley, S.S., Rials, T.G., Glasser, W.G. 1987. Relaxation behavior of the amorphous components of wood. Chapman and Hall Ltd, 617-624.
12. Marra, A.A. 1992. *Technology of wood bonding: Principles in practice*. Van Nostrand Reinhold, New York, 454 s.
13. Nguyen, T., Johns, W.E. 1979. The effect of aging and extraction on the surface free energy of Douglas-fir and redwood. *Wood Science and Technology* 12:29-40.
14. Pizzi, A. 1994. *Advanced wood adhesives technology*. Marcel Dekker, Inc. New York, 289 s.
15. Planinšek, O. 1999. Določanje proste površinske energije trdnim snovem z metodo močenja in z inverzno plinsko kromatografijo: doktorsko delo, Fakulteta za farmacijo, Ljubljana, 6-7.
16. Podgorski, L., Chevet, B., Onic, L., Merlin, A. 2000. Modification of wood wettability by plasma and corona treatments. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 20:103-111.
17. Sellers, T. 1985. *Plywood and adhesive technology*. Marcel Dekker, Inc. New York, 661 s.
18. Siau, J.F. 1995. *Wood: Influence of moisture on physical properties*. Virginia Polytechnic Institute and State University, 227 s.
19. Sovinc, T. 2002. Vpliv viskoznosti MUF lepila na kot omakanja na primeru bukovine. Diplomsko delo. Oddelek za lesarstvo, Ljubljana, 3-8.
20. Strnad, J. 1984. Fizika. D. 1. Državna založba Slovenije, Ljubljana, 124-125.
21. Subramanian, R.V. 1984. Chemistry of adhesion. In: Rowell, R.M., editor. *The chemistry of solid wood*. ACS, Washington, D.C., 323-348.
22. Suchsland, O., Stevens, R.R. 1968. Gluability of southern pine veneer dried at high temperatures. *Forest Products Journal* 18(1):38-42.
23. Šernek, M. 2002. Comparative analysis of inactivated wood surfaces. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 179 s.
24. Troughton, G.E., Chow, S.Z. 1971. Migration of fatty acids to white spruce veneer surface during drying: Relevance to theories of inactivation. *Wood Science* 3(3):129-133.
25. USDA 1999. *Wood Handbook Wood as an engineering material*. United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA, 463 s.
26. Wellons, J.D. 1980. Wettability and gluability of Douglas-fir veneer. *Forest Product Journal* 30(7):53-55.