

Bakterijsko djelovanje na svojstva drva

THE EFFECT OF BACTERIA ON WOOD PROPERTIES

Mr. Radovan Despot, dipl. inž.
Šumarski fakultet, Zagreb

UDK 674.048; 674.038.4

Prispjelo: 18. siječnja 1993.
Prihvaćeno: 22. ožujka 1993.

Pregledni rad

Sažetak

U ovom radu je prikazano djelovanje bakterija na drvo i posljedice tog djelovanja. Opisani su svi oblici bakterijske razgradnje drva, neovisno o tome jesu li bakterije napadale vlažno ili zrakosuho, nezaštićeno ili kemijski zaštićeno drvo, uz akcent na bakterijama, koje kod četinjača, u anaerobnim uvjetima, razaraju membrane velikih ograđenih jažica i torusa traheida ranog drva. Rezultat takove bakterijske razgradnje je povećanje permeabilnosti drva, a u isto vrijeme, nesigurno smanjenje mehaničkih svojstava drva.

Ključne riječi: bakterije, drvo četinjača, permeabilnost.

Summary

In this paper the effect of bacteria action on wood and the results of the action are presented. All forms of bacterial degradation are described, regardless of whether the bacteria were active on wet or on air dry wood, on unprotected or chemically protected wood.

The main point of interest are anaerobic bacteria, which degrade softwood pit membranes and thoruses on earlywood tracheids. As a result of such bacterial degradation the permeability of wood is increased, whereas its mechanical properties are not significantly decreased.

Key words: bacteria, softwood, permeability.

OPĆENITO O DRVU

Drvo je materijal biogenog porijekla, čija je korisnost vrlo velika. Iako danas u svijetu postoji jaka tendencija zamjene drva ostalim materijalima, ono je i dalje važan, u mnogim slučajevima nezamjenjiv materijal.

S obzirom na svoje biogeno porijeklo, drvo je materijal specifično dobrih i loših osobina.

Prednosti drva kao sirovine za izradu proizvoda od drva i na bazi drva potječu iz činjenice da je drvo jedini materijal koji se može obnavljati prirodnim putem. S obzirom na malu gustoću, drvo ima odlična mehanička svojstva, a uz mali potrošak energije može se lako obrađivati. Uz odlična estetska i dobra izolacijska svojstva drvo kao izvor toplinske energije ima veliku kalorijsku vrijednost.

Loše osobine drva, odnosno proizvoda od drva i na bazi drva također su posljedica njegova biogenog podrijetla. Drvo je, naime, podjednako podložno biotičkoj i abiotičkoj razgradnji te gorenju.

UZROCI RAZARANJA DRVA

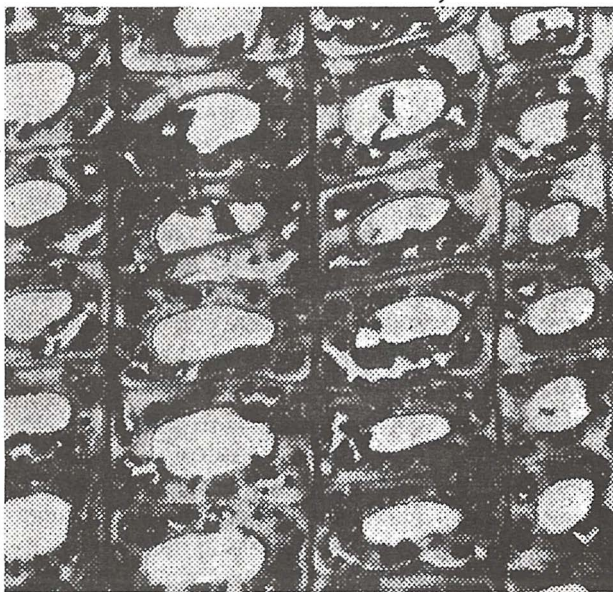
Abiotički uzroci razaranja koji simultano djeluju na drvo dijele se na one fizičke prirode (voda u sva tri agregatna stanja, UV-zrake sunčeva spektra, ekstremno visoke i niske temperature te vjetar), kemijske prirode (jake organske i anorganske kiseline i lužine) i mehaničke prirode (oštećenja izazvana djelovanjem prirodnih subjekata i ljudskim rukovanjem) (71).

Zbog činjenice da je drvo higrofilan materijal, ubrzanom navlaživanjem i sušenjem u drvu se postupno javljaju unutrašnja naprezanja, pojavljuju se mikropukotine i makropukotine, nastaje sukanje, vitoperenje i ostale greške. Na nezaštićenom drvu UV-zrake ponajprije razgrađuju lignin, slabije razaraju drvene polioze, a najmanje celulozu. U početku svjetlije drvo poprima tamniju boju, a tamnije drvo svjetlije, a na kraju drvo hidrolizom i djelovanjem vode poprimi sivkastu boju i površinski se razvlakni (16 i 60).

Biotički uzročnici razaranja drva su gljive uzročnici promjene boje, gljive uzročnici truleži, anaerobne i aerobne bakterije, ksilofagni insekti i marinski štetnici. Za razvoj gljiva uzročnika truleži, gljiva uzročnika promjene boja i ksilofagnih insekata moraju biti ispunjena tri osnovna uvjeta: drvo mora sadržavati dovoljno vlage, imati povoljnu temperaturu i dovoljno kisika, a za razvoj bakterija potrebna je količina kisika gotovo zanemariva.

Gljive (Mycophyta) pripadaju skupini nižih biljaka (Thallophyta). Svrstavaju se u red heterotrofnih organizama, što znači da ne mogu same proizvoditi hranu. Naime, one uz pomoć vlastitih enzima iz već postojeće rezervne i drvene tvari izvlače potrebnu hranu. Gljive uzročnici promjene boje hrane se isključivo rezervnom tvari nakupljenom u lumenima stanica, te stoga nisu velika opasnost za gubitak mehaničkih svojstava drva. Gljive uzročnici truleži, koje se osim rezervnom drvnom tvari hrane i drvnom tvari staničnih stijenki, pripadaju rodovima Basydiomycetes, Ascomycetes i

Fungi imperfecti, a s obzirom na boju napadnutog drva u završnom stadiju enzimske razgradnje dijele se na dvije osnovne skupine. Ako se gljiva u početku prehranjuje isključivo razgrađenim ligninom, a u kasnijim stadijima i razgrađenom celulozom, izazvat će bijelu trulež, karakterističnu uglavnom za listače. Razgrađuje li gljiva najprije celulozu, a kasnije i lignin, uzrokovat će smeđu trulež, koja je svojstvenija drvu četinjača (sl. 1). Osim podjele gljiva truležnica prema boji razgrađenog drva, odnosno prema načinu i smjeru razlaganja drvene tvari, u svjetskoj se literaturi spominje i podjela prema vlažnosti drva ustanovljenoj u posljednjem stadiju napada gljiva. Findley (23) spominje dva takva tipa truleži. Prvi naziva "suhom truleži" (dry rot), a drugi tip "mekom" ili "vlažnom truleži" (soft rot). Pojavu "suhe truleži" izazivaju gljive reda Basidiomycetes, a "mokru trulež" gljivice reda Ascomycetes i Fungi imperfecti. Liese (44) i Kirk (36) ustanovljuju da hife micelija gljiva uzročnika truleži ponajprije razgrađuju srednji podsloj sekundarnog sloja, prateći razvojem spiralnu orijentaciju mikrofibrila. Na taj se način stvaraju pukotine u staničnoj stijenci. Drvo napadnuto gljivama uzročnicima truleži gubi težinu, a zbog enzimima razorenih staničnih stijenki i mehanička svojstva (71).



Slika 1. Poprečni presjek drva na kojemu su u sekundarnom podsloju staničnih stijenki traheida vidljive hife gljive uzročnika truleži.

Pretisak iz: K. ST. G. Cartwright and W. P. K. Findlay: Decay of Timber and its Prevention. Forest Products Research Laboratory, London, Her Majesty's Stationery Office, 1958

Fig. 1 Transverse section showing hyphae in secondary layers of cell walls. Reprinted from: K. ST. G. Cartwright and W. P. K. Findlay, Decay of Timber and its Prevention. Forest Products Research Laboratory, London, Her Majesty's Stationery Office, 1958

Ksilofagni insekti najčešće razaraju drvo dok su u stadiju ličinki koje, hraneći se drvnom tvari, buše hodnike u drvu. Ovisno o vrsti insekta, hodnici mogu biti

neposredno ispod kore, isključivo u zoni bjeljike, a mogu dopirati duboko u srž. Drvu napadnutom insektima također slabe mehanička svojstva, a pojedine vrste insekata, poput kućne strizibube, drvotočaca i bjeljikara, mogu potpuno razoriti drvo. Marinski štetnici napadaju drvo u moru, najčešće drvene pilote i brodsku drvenu gadu. U drvo prodiru duboko stvarajući tunele (brodski crv), ili ga izjedaju površinski (Crustaceae) formirajući kanaliće (71).

Uklanjanjem vode iz drva procesom sušenja, drvo se može zaštititi od napada gljivica, ali se sušenjem katkada upravo ubrzava napad nekih insekata (bjeljikara). Stoga je drvo potrebno kemijski zaštititi od svih biotičkih uzročnika razaranja drva (16).

Za razliku od ksilofagnih gljiva i insekata, bakterijama je osim povoljne temperature i vlage dovoljna samo minimalna količina kisika koju mogu priskrbiti elementarno (aerobne bakterije) ili iz raznih oksida odnosno spojeva kisika (anaerobne bakterije) (1, 8, 9).

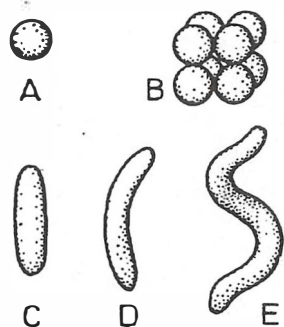
S obzirom na to da je intenzitet razaranja drva gljivama mnogo veći i vidljiviji od onoga što ga uzrokuju bakterije, te da su se bakterije i njihovo djelovanje mogle ustanoviti tek usavršavanjem optičkih instrumenata, shvatljivo je da su gljive bolje upoznate i bolje obrađene. Prisutnost bakterija u trulom drvu ustanovljena je još davno, ali je veće zanimanje za bakterije iskazano tek početkom pedesetih godina ovog stoljeća (39, 45).

Budući da se bakterije u optimalnim uvjetima razvijaju mnogo brže od insekata i gljiva i da su prisutne u živoj i neživoj prirodi te da, zahvaljujući svojim enzimima, mogu razarati i drvenu tvar, cilj je ovoga rada upoznavanje s osnovnim tipovima bakterija prisutnim u drvu, njihovim karakteristikama i načinom razaranja drvene tvari. Prije toga, reći ćemo nešto općenito o bakterijama.

BAKTERIJE

Bakterije su primitivni jednostanični organizmi, pretežno bez tipičnih plastida i bez prave stanične jezgre. Razred bakterija (Schizomycetes) pripada odjeljku Schizophyta, čije su vrste najniži oblik biljne organizacije. Bakterije žive pojedinačno ili povezane u cenobije. One, kao i svi ostali organizmi iz odjeljka Schizophyta, nemaju prave, ovojnicom omotane stanične jezgre, te se stoga svrstavaju u prokariote. Nasuprot tome, sve biljke koje imaju pravu staničnu jezgru svrstavaju se u eukariote (8, 9, 50, 63 i 75).

Bakterije su izvanredno malene (najsitnije su promjera tisućinke milimetra). Najveći broj vrsta je jednostaničan i morfološki slabo izdiferenciran. S obzirom na oblik, razlikujemo kuglaste (koke), štapićaste (bacile) i spiralne bakterije (vibrione i spirile) (sl. 2). Neke bakterije mogu stvarati i micelij nalik na onaj u gljiva. Jezgra "bakterijske stanice" (nukleoid), nije omotana jezgrinom ovojnicom. Genetički materijal, dezoksiribonukleinska kiselina (DNK) nalazi se slobodna u stani. Mediji u kojima bakterije žive jesu zrak i voda.



Slika 2. Oblici bakterija: A i B - koki; C - štapići (bacili); D - vibrio; E - spiril. Pretisak iz: Magdefrau i Ehrendorfer, Botanika, sistematika, evolucija i geobotanika, Školska knjiga, Zagreb, 1978

Fig. 2 Bacteria forms: A, B - cocci; C - rod-shaped (bacilli); D - vibrios; E - spirilla.

Reprinted from: Magdefrau - Ehrendorfer, Botanika, sistematika, evolucija i geobotanika (Botany, systematics, evolution and geobotany), Školska knjiga, Zagreb, 1978

Bakterijama koje žive na zraku konačni je akceptor elektrona u izmjeni tvari kisik. Te bakterije nazivamo aerobnim bakterijama. Analogno tome, anaerobne bakterije žive u vodi ili u uvjetima gdje elementarnog kisika nema, ili ga nema dovoljno, a akceptor elektrona u izmjeni tvari neki je oksidirani spoj (SO_4 - ili NO_3 -) (63, 64 i 75).

Bakterije se po pravilu razmnožavaju vegetativno, diobom ili dijepanjem jedne stanice na dvije nove, zbog čega su i dobile naziv "gljive cjepalice". U nepovoljnim uvjetima, određene vrste rodova *Bacillus* i *Clostridium* stvaraju spore. U povoljnim se uvjetima iz jedne bakterije cijepanjem za 24 sata stvori više bilijuna novih bakterija. Neke zelene i neke purpurne bakterije katkada imaju pigmente za asimilaciju. Nositelji tih pigmentata su fini listići građeni od tilakoida, ali kako nemaju pravog omotača, nisu pravi plastidi. Zbog toga bakterije ne možemo smatrati autotrofnim organizmima. U stanične uklopine mogu se ubrojiti intercelularne tvari koje se smatraju rezervnom tvari. U mnogim se bakterijama nakupljaju polisaharidi nalik na škrob ili glikogen. U bakterijama ima masnih zrnaca, neutralne masti i voska, a katkada i vakuola plina. Površina protoplasta sastoji se od osjetljive citoplazmatske opne (lipoproteidi), koja je semipermeabilna, a sadrži i određene enzime, a prema unutra stvara tvorevine slične mitohondrijima. Pravih mitohodrija, naime, u bakterija i nema. Citoplazmatska je ovojnica zbog turgora u stanici potisnuta čvrsto uz staničnu stijenku koja je obavija. Stanična stijenka bakterija debela je oko 20 nm i nije fibrilne strukture kao celulozna stijenka viših biljaka (75). Stanična stijenka o kojoj ovisi oblik bakterije sastoji se od muopeptida građanih od aminošećera i određenih aminokiselina, koji su glikozidno i peptidno povezani te tvore makromolekularnu mrežu - mreinski sacculus. Ako neke bakterije zbog mutacije ili kemijskih utjecaja izgube stijenku, u određenim okolnostima mogu živjeti i dalje, čak se i dijeliti kao neoblikovani goli protoplasti ovijeni samo citoplazmatskom opnom (50, 75). Kako se bak-

terije i mikroskopom teško mogu determinirati, radi lakšeg određivanja boje se različitim bojilima. Najpoznatije je bojenje Gramovom metodom, tj. bojom gencijana-violet. One bakterije kojima se boja nakon takvog bojenja može isprati alkoholom zovemo gram-pozitivnim bakterijama, a one koje zadrže boju i poslije ispiranja zovu se gram-negativnim (50, 75). Obje se vrste pojavljuju u drvu. U određenom stadiju mnoge bakterije imaju nježne plazmatske bičeve koji im omogućuju aktivno kretanje i mijenjanje smjera kretanja. Ti bičevi mogu biti u obliku pojedinačnoga terminalnog bića (monotrilno), u obliku snopića (lofotrilno), a mogu biti raspoređeni po cijeloj površini bakterije (peritrilno). Budući da bakterije imaju specifičan oblik, pojedinačni bičevi mogu biti raspoređeni polarno (na krajevima dulje osi tijela bakterije), ili lateralno (na "bokovima" odnosno dijelu tijela bakterije na koji je okomita manja os tijela bakterije) (8 i 9).

Ima mnogo vrsta i tipova bakterija. Uzrokuju različita vrenja, bolesti biljaka i životinja. Samo su neki materijali, poput plastike i voska, otporni na djelovanje bakterija. Svi ostali prirodni materijali mogu biti razgrađeni enzimskim djelovanjem bakterija (72).

BAKTERIJSKO DJELOVANJE NA SVOJSTVA DRVA

Do sada je otkriveno oko 1 600 vrsta bakterija, no samo jedan dio tih jednostaničnih organizama živi u drvu i hrani se drvnom tvari. Riječ je uglavnom o bakterijama koje pripadaju rodovima *Bacillus*, *Chlostridium*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* i *Mycobacterium* (36, 46, 67).

O promjenama svojstava drva kao posljedici djelovanja bakterija svoja su opažanja na bazi rezultata dugogodišnjih ispitivanja iznijeli brojni autori (1, 3, 10, 18-20, 25-26, 29-49, 51-58, 64-70, 72-74, 76-71). Među prvim važnijim radovima svakako je i Lieseov iz 1950. (39), u kojemu on utvrđuje da postoji znatna razlika između djelovanja gljiva uzročnika truleži i djelovanja bakterija. On tvrdi da bakterije svojim enzimskim djelovanjem mnogo manje oslabljuju mehanička svojstva drva nego gljive, koje mogu potpuno razoriti drvo. No bez obzira na tu konstataciju, Liese smatra da se enzimsko djelovanje bakterija mora detaljno proučiti. Smith (69) potvrđuje te tvrdnje baveći se djelovanjem bakterija na drvo s gospodarskog stajališta. Mnogi su znanstvenici ispitivali mehanička svojstva drva prethodno izloženog djelovanju anerobnih bakterija (10, 14, 18, 29, 40-44, 46, 74). Pri tome su katkada zabilježni i kontradiktorni rezultati. U jednom su ispitivanju (73) već nakon devet tjedana potapanja borovine u vodu znatno oslabljena mehanička svojstva drva, a u drugom se pak slučaju (10), pri ispitivanju smrekovine koja je 75 godina ležala potopljena u vodi, uoče nije smanjila čvrstoća na svijanje.

Klasične metode ispitivanja mehaničkih svojstava bakterijama napadnutog drva Efransjah i Kilbertus

(22) zamijenili su pouzdanom metodom provjere promjena svojstava uz pomoć ultrazvuka. Oni su smrekovo drvo potapali u vodi pet mjeseci. Prije toga su vodu onečistili bakterijom *Bacillus subtilis*. znajući na koji način ta bakterija razara drvo, očekivali su da će *B. subtilis* razoriti toruse ogradenih jažica traheida ranog drva i stanične stijenke jažica te oslabiti neka mehanička i fizička svojstva drva. Komparativno su se koristili uzrocima istog drva koje nisu natapali u vodi, odnosno koji nisu bili izloženi djelovanju bakterije *B. subtilis*. Nakon sušenja sve su uzorke podvrgli djelovanju ultrazvuka i ustanovili da on mnogo brže prolazi kroz bakterijama inficirane uzorke. Kasnijim je ispitivanjima mehaničkih i fizičkih svojstava drva neinficiranih i inficiranih uzoraka ustanovljeno da su uzorci natapani u vodi imali malo lošija mehanička i fizička svojstva od uzoraka zdravog drva, što je pretpostavljeno prije samog ispitivanja ultrazvukom. Ta je metoda svakako pouzdana, a uz to i jeftinija od klasičnih postupaka ispitivanja mehaničkih i fizičkih svojstava drva. Rogers i Baecker (64) pronašli su nove načine izolacije bakterija iz inficiranog drva, a na osnovi broja i vrsta bakterija utvrdili su stupanj promjena svojstava drva uzrokovanih djelovanjem bakterija. Bakterije mogu djelomično uništiti kvalitetu nezaštićenog sirovog i kemijski zaštićenog drva, ugrađenoga i neugrađenog drva. Pajaanen i Wiitanen (57) otkrili su bakterije i u plitkim slojevima bjeljike starih stupova nosača zgrada u Helsinkiju. U nekoliko je slučajeva zamijećeno da su bakterije bile glavni uzrok propadanja stupova. Sadržaj vode u navedenim je stupovima bio vrlo velik. Čvrstoća na tlak tih stupova bila je mnogo manja od propisane. Stupanj razaranja što su ga uzrokovale bakterije nije ovisio o gustoći drva. Bakterijski se napad kretao radialnim smjerom, od periferije prema središtu stupa. Stanične stijenke pojedinih traheida inficiranih stupova bile su potpuno razorene, ali je zamijećeno da su susjedne traheide bile potpuno zdrave. Kasno drvo unutar godova inficiranih stupova bilo je uništenije od ranog drva istih godova.

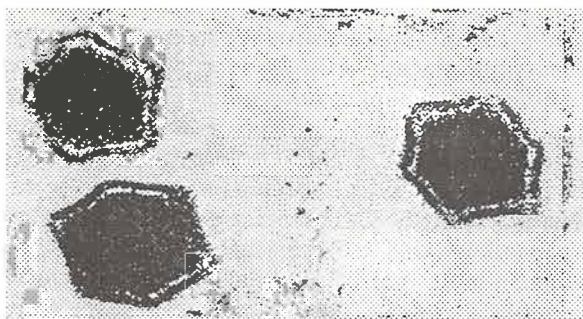
Drisko i O'Neil (17), Nilsson i Singh (56), Holt (30, 31, 32), Nilsson (52, 53, 54, 55), Greaves (25, 26, 27, 28, 29), Daniel (14, 15), Schmidt, Wolf i Liese W. (66) i ostali utvrdili su prisutnost više specifičnih tipova bakterija u drvu nezaštićenih i kemijski zaštićenih stupova, pilota i drvenih nosača. U daljnjem tekstu više ćemo pisati o tim tipovima bakterija. G.A. Willoughby i L.E. Leightley (80 i 81) proveli su ispitivanja kemijski zaštićenih eukaliptusovih stupova nosača. Uz pomoć optičkoga i elektronskog mikroskopa ustanovili su dva morfološki različita tipa oštećenja. Prvi je tip zamijećen u unutrašnjem podsloju sekundarnog sloja, s tendencijom kretanja prema lumenu dotične stanice. Drugi tip oštećenja bakterije uzrokuju probijajući unutrašnji podsloj sekundarnog sloja, krećući se prema srednjemu i vanjskom podsloju sekundarnog sloja stanične stijenke i ostavljajući pri tome primarni sloj netaknutim. Spajanjem pukotina u srednjem podsloju javljaju se oštećenja koja nisu zamjetna u ostalim podslojevima sekundarnog sloja ni u primarnom sloju



Slika 3. Oštećenja uzrokovana djelovanjem "pukotinastih bakterija" (Cavitation bacteria). a) i b) Pukotine na stijenkama traheida ranog drva. c) Proširene skupine pukotina na ogradenim jažicama traheida ranog drva. Pretisak iz: Nilsson, T., Cavitation bacteria, The International Research Group on Wood Preservation, Doc. No: IRG/WP/1235, 1984.

Figure 3 (a). Cavities in an earlywood tracheid. Figure (b). Numerous cavities in earlywood tracheids. Figure (c). Extensive formation of cavities at pit borders. Reprinted from: Nilsson, T.; Cavitation bacteria, The International Research Group on Wood Preservation, Doc. No: IRG/WP/1235, 1984

stanične stijenke. Zanimljivo je napomenuti da su oba tipa bakterija zamijećena u stupovima koji su prethodno bili zaštićeni kreozotnim uljem s dodatkom pentaklorofenola odnosno vodenim otopinama soli bakra, kroma i arsena. Na osnovi tih podataka, te na temelju osobnih istraživanja, Nilsson (56) naziva te bakterije, izazivače drugog opisanog tipa oštećenja, u skladu s oblikom oštećenja, pukotinastim bakterijama - cavitation bacteria. Taj je naziv nastao zbog želje da se zorno prikaže tip oštećenja koji nalikuje na pukotine (sl. 3).

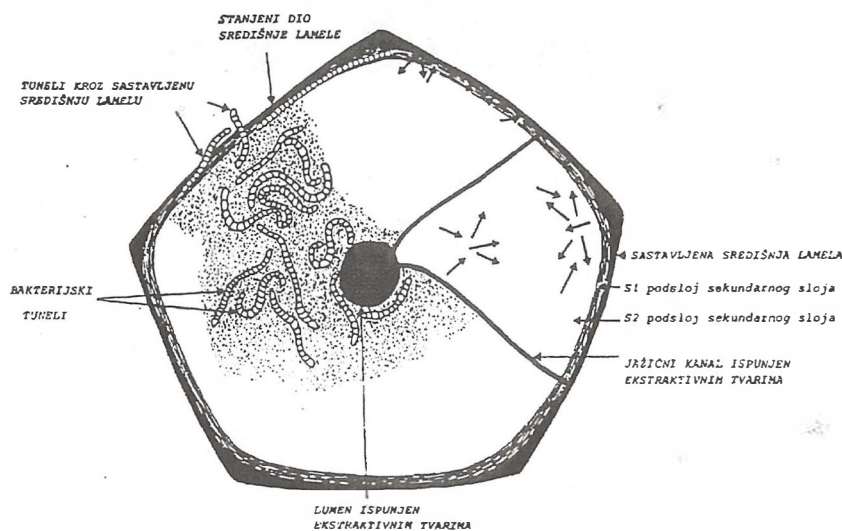


Slika 4. Šupljine oblikom slične kristalima dijamanta, nastale djelovanjem pukotinastih i tunelskih bakterija. Pretisak iz: Singh, A.P., Nilsson, T. and Daniel, G.F., Ultrastructure of the Attack of a Naturally Durable Timber by Tunnelling Bacteria. The International Research Group on Wood Preservation, Doc No: IRG/WP/1462, 1990

Figure 4. Diamond - shaped cavities.

Reprinted from: Singh, A.P., Nilsson, T. and Daniel, G.F.; Ultrastructure of the Attack of a Naturally Durable Timber by Tunnelling Bacteria. The International Research Group on Wood Preservation, Doc No: IRG/WP/1462, 1990

Bakterije uočene u tim pukotinama (šupljinama) bile su različitih oblika - okruglaste ili štapičaste. Rani stadij napada tih bakterija karakteriziran je pojavom malih, kristalima dijamanta sličnih šupljina ili pukotina (sl. 4). Uzdužna os tih pukotina ili šupljina okomita je na smjer protezanja mikrofibrila. S vremenom se broj malih šupljina povećava i one se stapaju u jednu ili više velikih, koje, nasreću, dopiru najdublje 10 mm od površine stupa. Osim navedenih pukotinastih bakterija, Nilsson (53, 54, 55) je prvi



Slika 5. Prikaz djelovanje "tunelskih bakterija" u S2 podsloju sekundarnog sloja stanične stijenke drva.

Pretisak iz: Singh, A.P., Nilsson, T. and Daniel, G.F., Ultrastructure of the Attack of a Naturally Durable Timber by Tunnelling Bacteria. The International Research Group on Wood Preservation, Doc No: IRG/WP/1462, 1990

Fig. 5. A diagram showing tunnelling bacteria attack of a fibre. Reprinted from: Singh, A.P., Nilsson, T. and Daniel, G.F.; Ultrastructure of the Attack of a Naturally Durable Timber by Tunnelling Bacteria. The International Research Group on Wood Preservation, Doc No: IRG/WP/1462, 1990

opisani tip bakterija nazvao erozijskim bakterijama - erosion bacteria, a sam je otkrio i imenovao treći tip bakterija nazvavši ih tunelskim bakterijama - tunneling bacteria.

Tzv. tunelske bakterije (sl. 5) uzrokuju oštećenja samih mikrofibrila. Za razliku od pukotinastih bakterija, početni stadij napada tunelskih karakterizira pojava malih sjajnih tunela (šupljina) čija je dulja os paralelna s mikrofibrilima. Kasniji stadiji napada vidljivi su kao diskretna područja raspadanja staničnih stijenki. Na periferijama tih područja vidljive su pojedinačne bakterije smještene u tunelima ili hodnicima. U završnom stadiju stijenke napadnutih stanica imaju granulastu strukturu. Sretna je okolnost to što i tunelske bakterije, poput pukotinastih, svojim enzimskim djelovanjem ne prodiru u drvo stupova dublje od 10 mm.

U svezi s erozijskim bakterijama Nilsson zamjećuje dva različita tipa oštećenja. Prvi tip, koji su zajedno opisali Holt i Nilsson (32, 52), javlja se na stijenkama traheida te na unutrašnjem podsloju sekundarnog sloja, a ima tendenciju širenja prema lumenu stanice. Taj je tip oštećenja lako uočljiv i sličan je djelovanju pukotinastih bakterija, samo su pukotine mnogo manje. Drugi tip navedenih bakterija uzrokuje jača ili slabija degradacija torusa ograđenih jažica, te sambo neznatnu eroziju stijenki traheida. Taj oblik bakterijskog napada sličan je onome što ga je mnogo prije Nilssona opisao Greaves (27).

Sva tri navedena tipa bakterija napadaju drvo samo površinski, uz napomenu da je napad erozijskih bakterija najslabiji. Westlake, Abraham i Roderick (78)

pronašli su bakterije u rudničkom drvu, te ih zbog njihove sposobnosti stvaranja metana nazivali metanskim bakterijama. Te bakterije redukcijom CO proizvode metan, koji u prevelikoj koncentraciji može izazvati eksploziju i požar u rudniku. Mousouras (51) registrira prisutnost anaerobnih bakterija i u moru, odnosno u drvenoj građi dvjesto godina starog potopljenog broda "Mary Rose", a Schmidt, Nagashima, Liese i Schmitt (68) izložili su drvo breze, topole, bora i smreke djelovanju 57 vrsta bakterija. Uzorke navedenih vrsta drva izlagali su bakterijama u laboratorijskim uvjetima i u jezerskoj vodi. Uspoređujući svojstva drva odabranih listača i četinjača, koje su prije toga bile izložene djelovanju anaerobnih bakterija, zamijetili su da je drvo listača napadnuto nekim gljivama uzročnicima truleži i bakterija, a drvo četinjača

isključivo napadaju bakterije. Mogući antagonizam odnosno sinergizam između gljiva i bakterija nije dokazan. Ispitivanjem je utvrđeno da se broj oštećenja na staničnim stijenkama, koja su rezultat djelovanja bakterija, povećava od unutrašnjega prema srednjem podsloju sekundarnog sloja stanične stijenke. Zamijećene su bakterije bile okružene amorfnom drvenom tvari u obliku granula i ležale su u sitnim pukotinama odnosno šupljinama.

Djelovanje bakterija, anaerobnih ili aerobnih, u biti se, dakle, svodi na njihovu sposobnost da, poput gljiva uzročnika truleži, svojim enzimima razgrađuju drvo. Krajnji rezultat takve enzimske razgradnje, koja nije ni približno toliko snažna kao ona što je uzrokuju gljive, jest povećana permeabilnost bjeljike (dubinska razgradnja parenhima i torusa velikih ograđenih jažica traheida bjeljike četinjača) ili površinsko razaranje nezaštićenoga i kemijski zaštićenog drva (pukotinaste, erozijske i tunelske bakterije).

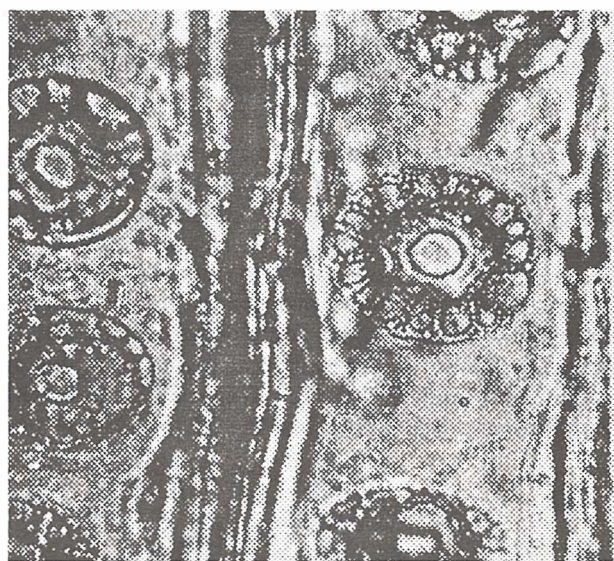
Uspoređujući međusobno fiziologiju gljiva i bakterija, Benko (6) i Baker (1) ustanovili su da se neke vrste bakterija izrazito antagonistički ponašaju spram nekih vrsta gljiva uzročnika promjene boje, što bi se moglo iskoristiti kao biološka zaštita drva od gljiva uzročnika promjene boje. Benko na hranjivoj podlozi, u jednakim Petrijevim posudama, jednu do druge, uzgaja koloniju bakterija i gljiva uzročnika "modrila". Varirajući 150 vrsta bakterija i 5 vrsta gljiva, ustanovila je da između pojedinih vrsta bakterija i gljiva postoje izraziti antagonizmi te da je taj antagonizam uvijek na štetu gljiva koje se "povlače" odnosno ugibaju.

Iz svega je očito da se bakterije u drvu mogu razvijati neovisno o vrsti drva i mediju u kojemu se ono nalazi i bez obzira na činjenicu je li drvo nezaštićeno ili kemijski zaštićeno. Također je uočeno da je stupanj enzimske razgradnje izazvan djelovanjem bakterija mnogo manji od onoga izazvanog djelovanjem gljiva. Temeljitim proučavanjem fiziologije i enzimskog procesa bakterijske razgradnje drva moguće je ukloniti eventualne negativne posljedice takvog djelovanja bakterija, a korisne istaknuti i primjenjivati pri povećanju korisnih svojstava drva, od kojih je permeabilnost jedan od najvažnijih uvjeta dobre kemijske zaštite (2, 4, 5, 7, 11, 12, 21, 24, 48, 58, 59).

BAKTERIJE - UZROČNICI POVEĆANJA PERMEABILNOSTI DRVA ČETINJAČA

Povećanje permeabilnosti drva četinjača postignuto djelovanjem anaerobnih bakterija u praksi je prvi put dokazano pedesetih godina u Skandinaviji. Kako su kapaciteti prerade bili maleni, stručnjaci su tada nastojali adekvatno zaštititi velike količine smrekovih i borovih stabala stradalih pri naletima vjetrova. Potapanje drva u vodu jeftin je i jednostavan oblik učinkovite preventivne zaštite drva. Stoga su se spomenuta stabla više mjeseci natapala u jezerskoj vodi. Većina je oblovine bila namijenjena izradi PTT-stupova, pilota i drvenih nosača, čija se djelotvorna

kemijska zaštita nakon prirodnog sušenja postiže samo primjenom tlačnih metoda impregnacije. Impregnacijskom su postupku podvrgnuti prethodno natapani stupovi, ali i oni koji su neposredno nakon rušenja odmah prirodno sušeni. Ustanovljenjem retencije zaštitnog sredstva u svim stupovima pokazalo se da je retencija zaštitnog sredstva bila veća u stupova potapanih u vodi. Uzrok pojačane retencije bila je veća permeabilnost postignuta djelovanjem anaerobnih bakterija. S obzirom na to da je povećanje retencije u natapanih stupova zamijećeno na velikom uzorku (nekoliko tisuća stupova), odbačena je mogućnost utjecaja strukture drva ili grešaka. Pritom je važno utvrditi da se mehanička svojstva drva koje je ležalo potopljeno u vodi nisu signifikantno smanjila.



Slika 6. Razgradnja ograđenih jažica uzrokovana djelovanjem bakterija. Pretisak iz: Liese, W., The Action of Fungi and Bacteria During Wood Deterioration. B.W.P.A. Annual Convention, 1970

Figure 6. Deterioration of Bordered pits due to bacterial action. Reprinted from: Liese, W., The Action of Fungi and Bacteria During Wood Deterioration. B.W.P.A. Annual Convention, 1970

Finci Soulahti i Wallen (70) tim su svojim pionirskim istraživanjem u bjeljici bora i smreke potopljenih u vodi ustanovili prisutnost bakterijskih kolonija. Utvrdili su da su bakterije izazvale znatno smanjenje pektina iz torusa i membrana ograđenih jažica traheida ranog drva. Gubitak pektina povećao je provodnost jažica. Torusi, naime, više nisu mogli tijesno prijanjati uz poruse. Bakterije su, hraneći se pektinima, uz pomoć djelovanja enzima pektinaze razgradile toruse, a time povećale lateralnu apsorpciju i prodiranje zaštitnog sredstva (sl. 6). Na osnovi tih spoznaja Elwood i Ecklund (20) otkrili su uzrok povećanog izlaska zaštitnog sredstva iz borovih piljenica zaštićenih filmogenim materijalom. Na tim su piljenicama, ispiljenim od borovih trupaca prethodno potopljenih u vodi, poslije sušenja i impregnacije te



Slika 7. Razgradnja staničnih stijenki traheida bjeljike bora uzrokovana djelovanjem bakterija.

Pretisak iz: Liese, W., *The Action of Fungi and Bacteria During Wood Deterioration*. B.W.P.A. Annual Convention, 1970.

Figure 7. Cell wall degradation of pine sapwood due to bacteria. Reprinted from: Liese, W., *The Action of Fungi and Bacteria During Wood Deterioration*. B.W.P.A. Annual Convention, 1970

premazivanja filmogenim materijalom nakon određenog vremena ispod sloja boje izbijali mjehuri. Ustanovljeno je da je ta povećana poroznost izravno povezana s postupkom konzerviranja trupaca u vodi. Borovi su trupci bili potopljeni u vodu koja je, a to je naknadno ustanovljeno, bila onečišćena bakterijama. Bakterije su lateralno i longitudinalno prodirale u bjeljiku polako razarajući ponajprije parenhimne stanice, a zatim i jažice traheida trakova. Povećana poroznost drva uvjetovala je i povećanu permeabilnost i upijanje. Pritom je ustanovljeno da za vrijeme enzimskog djelovanja bakterija nije nastao značajniji gubitak mehaničkih svojstava drva. Kulture bakterija izolirane su iz bjeljike potopljenih borova i inokulirane na zdravu bjeljiku natapanih trupaca, a zatim su provedeni testovi određivanja vrsta bakterija. Testovima je utvrđeno da su bjeljiku borova napale bakterije *Bacillus polymyxa*. Ta se bakterija uglavnom hranila hemicelulozama i pektinom, sastavnim komponentama kemijske grade torusa i stijenki jažica. Knuth i McCoy (37) potvrđuju navedene rezultate dokazujući da je enzimsko djelovanje bakterije *B. polymyxa* glavni uzrok povećane poroznosti i permeabilnosti bjeljike bora i smreke. Courtis (13) pomoću bakterija djeluje na bjeljiku bora, smreke, jele i duglazije. Pokusima je ustanovio da drvo napadaju dva tipa bakterija, koje je Nilsson kasnije nazvao pukotinastim odnosno erozijskim bakterijama. Rano je drvo pri tome bilo jače

razgrađeno nego kasno. Bakterije su preko unutrašnjeg podsloja prodirale u srednji podslaj sekundarnog sloja stanične stijenke, a samo je djelomično bio napadnut i primarni sloj stanične stijenke. Drvo natapano u toploj vodi, a zatim osušeno također je postalo permeabilnije. Lutz, Duncan i Sheffer (49) dokazali su tu tvrdnju provodeći ispitivanja na borovim furnirima. Ustanovili su da povećanju permeabilnosti pridonose bakterije koje su se ubrzano razvijale nakon hidrotermičke obrade drva parenjem. Liese i Karnop (43) podvrgavaju borove i smrekove trupce dvadesetdvomjesečnom potapanju u vodi. Determinacijom su otkrili četiri skupine bakterija. Izolirane kulture tih bakterija testirane su na bazi proizvodnje različitih šećera, alkohola i polisaharida, produkata njihove enzimske razgradnje. Zanimljiva je činjenica da ni u jednom slučaju nije zamijećen napad bakterija na lignificirane stijenke traheida. Greaves (26) i Wilcox (79) koriste se čistim izoliranim kulturama bakterija da bi povećanjem permeabilnosti mogli dokazati njihovo enzimsko djelovanje na drvo. Pokuse su provodili na bjeljici bora. Banks (3) u svom radu promatra utjecaj temperature vode i trajanja natapanja na povećanje permeabilnosti bjeljike borovih i smrekovih trupaca. Uzorke bjeljike potapao je u bakterijama onečišćenoj vodi pri temperaturama 10, 20 i 30 °C. Ustanovio je da pri temperaturi vode 10 °C bakterije djeluju veoma sporo, a pri temperaturama 20 i 30 °C to je djelovanje mnogo brže. Druge je uzorke dva dana namakao u bakterijski onečišćenoj vodi, a zatim ih umjetno sušio na istim temperaturama. Sušenjem na 10 °C nije se povećala permeabilnost drva. Pri temperaturi 20 °C bakterije su se brzo razvijale, a pri sušenju na temperaturi od 30 °C napad bakterija bio je toliko jak da je uzorkovao znatno povećanje permeabilnosti drva. Dunleavy i McQuire (18) te Dunleavy i Fogarty (19) bavili su se promjenama strukture sitkanske smreke nastalim tijekom natapanja njezinih stupova u vodu onečišćenu bakterijama. Usporedno s tim, male su uzorke iste vrste drva izlagali jednakim laboratorijskim uvjetima. Uspoređujući laboratorijske i terenske rezultate istraživanja, obje su ekipe dobile jednake rezultate. Razgradnjom drva uz pomoć bakterija povećala se permeabilnost u sva tri smjera: longitudinalnome, radijalnome i tangentnome. Napad bakterija bio je usmjeren isključivo na bjeljiku, a srž je praktično ostala netaknuta. Detaljnom mikroskopskom analizom svih uzoraka ustanovljeno je da su torusi i stijenke ograđenih jažica traheida bjeljike potpuno razgrađeni. Međutim, glavni uzrok povećanja permeabilnosti, pogotovo u radijalnom smjeru, bila je potpuna razgradnja jažica polja ukrštanja. Produženjem natapanja nisu se smanjivala mehanička svojstva drva. Na kraju je zaključeno da je destrukcija ograđenih jažica i jažica polja ukrštanja nastala zahvaljujući djelovanju bakterijskih enzima. Unglgl (73, 74) je u jezerskoj vodi tri mjeseca natapao smrekove trupčice. Poslije natapanja i sušenja u sušari te je trupčice, zajedno s nenatapanim, osušanim trupčicama, impregnirao kreozotnim uljem. Ustanovio je da je retencija zaštitnog sredstva u natapanim trupčicama od

50 do 179% veća od retencije ulja nenatapanih trupčica. Mehanička svojstva u vodi natapanog drva bila su neznatno slabija.

Iz toga proizlazi da pojedine bakterije (rodovi *Bacillus*, *Chlostridium*, *Pseudomonas* i *Mycobacterium*), svojim enzimima razgrađuju velike ograđene jažice traheida ranog drva bjeljike četinjača, povećavajući pri tome permeabilnost bjeljike te ostvaljajući ujedno srž netaknutom i nepermeabilnom. Tijekom te razgradnje mehanaička se svojstva bjeljike neznatno smanjuju. Te bi se spoznaje mogle iskoristiti pri rješavanju problema poboljšanja kemijske zaštite slabo permeabilnih vrsta drva čija se primjena zbog nedostatka prirodno trajnijih i permeabilnijih vrsta drva sve više povećava. To poglavito vrijedi za drvo jele odnosno smreke, koje je u nas isključiva sirovina za izradu elektrovodnih i PTT-stupova, građevne stolarije odnosno drvenih konstrukcija u građevinarstvu.

LITERATURA

- [1] Baker, F.K.; Cook, R.J.: Biological Control of Plant Pathogens, San Francisco, 1974.
- [2] Banks, W.B.: A Technique for measuring the lateral permeability of wood. *J. Inst. Wood Sci.*, No. 20, 1968.
- [3] Banks, W.B.: The effect of temperature and storage conditions on the phenomenon of increased sapwood permeability brought about by wet storage. *J. Inst. Wood Sci.*, No. 26, (Vol. 5, No. 2), 16-19, 1970.
- [4] Bauch, J.; Liese, W.; Berndt, H.: Biological investigations for the improvement of the permeability of softwoods. *Holzforchung*, 24, 199-205, 1970.
- [5] Bauch, J.; Berndt, H.: Variability of the chemical composition of pit membranes in bordered pits of gymnosperms. *Wood Sci. Techn.*, 7, 6-19, 1973.
- [6] Benko R.: Bacteria as possible organisms for biological control of blue stain. The Inter. Res. Group of Wood Preserv., Doc., No. IRG/WP/1339, 1988.
- [7] Bergman, O.: Factors affecting the permeability of softwood. A literature study. Institutionen för virkeslära, NrR89, Department of Forest Products, 50-51, 1973.
- [8] Bisset, A.K.: Bacteria. Third edition, E. and S. Livingstone, Edinburgh, London, 1963.
- [9] Bisset, A.K.: The Cytology and Life-History of Bacteria. Third edition, E. and S. Livingstone, Edinburgh, London, 1970.
- [10] Boutelje, J.B.; Bravery, A.P.: Observations on the bacterial attack of piles supporting a Stockholm building. *J. Inst. Wood Sci.*, 204, 47-57, 1968.
- [11] Comstock, L.G.: Longitudinal permeability of Green eastern hemlock. *For. Prod. Jour.*, Vol. XV, October 441-449, 1965.
- [12] Comstock, L.G.: Directional permeability of softwoods. *Wood and Fiber.*, Vol. 1, No. 4, 283-289, 1970.
- [13] Courtis, H.: Über den Zellwandabbau durch Bakterien in Nadelholz. *Holzforchung*, 20, 148-154, 1966.
- [14] Daniel, G.; Nilsson, T.: Ultrastructural and T.E.M.-edax studies on the degradation of CCA treated Radiata pine by tunneling bacteria. The Inter. Res. Group of Wood Preserv., Doc. No. IRG/Wp/1260, 1985.
- [15] Daniel, G.; Nilsson, T.: Ultrastructural observations on wood-degrading erosion bacteria. The Inter. Res. Group of Wood Preserv., Doc. No. IRG-Wp-1283, 1986.
- [16] Despot, R.: Trajnost drva kao građevnog materijala, Zbornik radova s prvoga znanstveno-stručnog skupa "Kvaliteta, održavanje i korištenje stambenog objekta", TCD u suradnji, Zagreb-Tuheljske Toplice, 111-122, 1990.
- [17] Drisko, R.B.; O'Neill, T.B.: Microbial decomposition of creosote. *For. Prod. Jour.* 16, 7, 31-34, 1966.
- [18] Dunleavy, J.A.; McQuire, J.A.: The effect of water storage on the cell-structure of sitka spruce (*Picea sitchensis*) with references to its permeability and preservation. *J. Inst. Wood Sci.*, 26, Vol. 5, No. 2, 20-28, 1970.
- [19] Dunleavy, J.A.; Fogarty, W.M.: The preservation of spruce poles using a biological pretreatment. *Res. Ann. Conv. B.W.P.A.*, 5-58, 1971.
- [20] Erickson, H.D.; Crawford, R.J.: The effect of several seasoning methods on the permeability of wood to liquids. *Proc. 55 th Ann. Meet. Am. Wood Preserv., Assn* 55, 210-220, 1959.
- [22] Efransjah, F.; Kilbertus, G.: Impact of water storage on mechanical properties of spruce as detect ultrasonics. *Wood Sci. Techn.*, 23, No. 1, (1989), 35-42.
- [23] Findley, W.K.P.: Dry rot and other timber troubles, 1953.
- [24] Fogog P.J.: Longitudinal air permeability of Southern Pine wood. *For. Abstr.*, 30, 4, No. 6410, 1969.
- [25] Greaves, H.: The occurrence of bacterial decay in copper-chrome-arsenic treated wood. *Appl. Microbiol.*, 16, 150-166, 1968.
- [26] Greaves, H.: Micromorphology of the bacterial attack of wood. *Wood Sci. Techn.*, 3, 150-160, 1969.
- [27] Greaves, H.: Microbial ecology of untreated and copper-chrome-arsenic treated stakes exposed in a tropical soil. The initial invaders. *Con. J. Microbial.*, 18, 1923-1931, 1972.
- [28] Greaves, H.: Bacterial uptake of elements from a copper-chrome-arsenic containing medium. *Material und Organism.*, 85-98, 1973.
- [29] Greaves, H.: Selected wood-inhabiting bacteria and their effect on strength properties and weights of *Eucalyptus regnans* F. Muell and *Pinus radiata* D. from sapwoods. *Holzforchung*, 27 (1973a), 20-26.
- [30] Holt, D.M.; Jones, E.B.G. & Furtado, S.K.J.: Bacterial breakdown of wood in aquatic habitats. *Rec. Annual Conference at British Wood Preservation Association*, 13-24, 1979.
- [31] Holt, D.M.: Bacterial breakdown of timber in aquatic habitats and the relationship with wood degradine fungi. Ph.D. Thesis. Portsmouth Polytechnic, Portsmouth, 1981.
- [32] Holt, D.M.: Bacterial degradation of lignified wood cell walls in aerobic and aquatic habitats. *J. Inst. Wood Sci.*, 9, 212-223, 1983.
- [33] Karnop, G.: Der Befall von wassergelagertem Nadelholz durch Bakterien mit besonderer Berücksichtigung des anaeroben Cellulose - Abbaus durch *Bacillus omelianskii*. Ph.D. Thesis, Univ. Hamburg, 110, 1967.
- [34] Karnop, G.: Morphologie, Physiologie und Schadbild der Nicht - Cellulose. Bakterien aus wasserlagerndem Nadelholz. *Material und Organism.*, 7, 119-132, 1972a.
- [35] King, B.; Eaton, R.A. & Baecker, W.A.A.: A Summary of current information on actinomycetes and wood. The Inter. Res. Wood Preserv., Doc. No. IRG-WP-177, 1978.
- [36] Kirk, K.T.: Effects of microorganisms on lignin. *Annual Review of Phytopathology*, Vol. 9, 185-210, 1970.
- [37] Knuth, D.T.; McCoy, E.: Bacterial deterioration of pine logs in pond storage. *For. Prod. Jour.*, 12, 9, 437-442, 1962.
- [38] Knuth, D.T.: Bacteria associated with wood products and their effects on certain chemical and physical properties of Wood. Ph. D. Thesis, Univ. Wisconsin, 186, 1964.
- [39] Liese, J.: Zerstörung des Holzes durch Pilze und Bakterien In: Mahlke - Troschel Handbuch der Holzkonservierung. Springer Verlag, Berlin, 1950.
- [40] Liese, W.: Über die Eindringung von oligen Schutzmitteln in Fichtenholz, Holz als Roh- und Werkstoff, 9, 374-378, 1951.
- [41] Liese, W.: On the decomposition of the cell wall by microorganisms. *Res. Ann. Conv. B.W.P.A.*, 159-160, 1955.
- [42] Liese, W.; Bauch, J.: On the closure of bordered pits in Coniferes. *Wood Sci. Techn.* 1, 1-13, 1967.
- [43] Liese, W.; Karnop, G.: Über den Befall von Nadelholz durch Bakterien. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 26, 202-208, 1968.
- [44] Liese, W.: The action of fungi and bacteria during wood deterioration. *Res. Ann. Conv. B.W.P.A.*, 81-94, 1970b.
- [45] Liese, W.: Ultrastructural aspects of Wood tissue disintegration. *Annual Review of Phytopathology*, Vol. 8, 231-258, 1970.
- [46] Liese, W.: Biological transformation of wood by microorganisms. 2nd International Congress of Plant Pathology, September 10-12, Mineapolis, USA, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1973.
- [47] Liese, W.; Greaves, H.: Micromorphology of bacterial attack. In Liese, W. (Ed.): Biological transformation of wood by microorganisms., Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 77-88, 1975.

- [48] Lindgreen, R.M.; Harvey, G.M.: Decay control and increased permeability in Southern Pine sprayed with fluoride solutions. *J. For. Prod.* 2, 5, 250, 1952.
- [49] Lutz, J.F.; Duncan, C.G. & Scheffer, T. C.: Some effects of bacterial action on rotary-cut southern pine veneer. *For. Prod. Jour.*, 16, (8), 23-28, 1966.
- [50] Magderfrau, K.; Ehrendorfer, F.; (prijevod Domac, R.): Sistematika, evolucija i geobotanika. Udžbenik botanike za visoke škole, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [51] Mouzuras, R.: Examination of timbers from the Mary Rose in storage. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv. Doc. No. IRG-WP-4149*, 1988.
- [52] Nilsson, T.: Bacterial degradation of untreated and preservative treated wood. 16. Münster-Westfalen, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, 1982.
- [53] Nilsson, T.; Holt, D.: Bacterial attack occurring in the S2 layer of wood fibres. *Holzforschung*, 37, 107-108, 1983.
- [54] Nilsson, T.; Daniel, G.: Tunnelling bacteria. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv. Doc. No. IRG-WP-1186*, 1983a.
- [55] Nilsson, T.; Daniel, G.: Micromorphology of *Schizophyllum commune* attack in pine (*Pinus silvestris*). *The Inter. Res. Group of Wood Preserv. Doc. No. IRG-WP-1235*, 1984.
- [57] Paaianen, L.; Viitaanen, H.: Microbial degradation of wooden piles in building foundation. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv. Doc. No. IRG-WP. Doc. No. IRG-WP/1370*, 1986.
- [58] Petrić, B.: Utjecaj strukture na permeabilnost drva četinjača. *Šumarski list, godište 95*, 5-6, 125-141, 1971.
- [59] Petrić, B.: Utjecaj strukture na permeabilnost drva listača, *Šumarski list, godište 96*, 9-10, 364-373, 1972.
- [60] Petrić, B. i Ščukanec, V.: Zaštita drva kao materijala za izradu prozora. *Bilten ZIDI Šumar. Fakultet, Zagreb, Vol. 6, No. 4*, 1-27, 1979.
- [61] Petrić, B.; Ščukanec, V.; Despot, R. i Trajković, J.: Zaštita jelove građevne stolarije metodom dvostrukog vakuuma. *Drvna industrija*, 11-12, Vol. 40, 231-235, 1989.
- [62] Petrić, B.; Trajković, J. i Despot, R.: Varijacije strukture jelovine iz Gorskog kotara, *Drvna industrija*, 3-4, Vol. 41, 43-49, 1990.
- [63] Ristić, O.; Palanački, V.: Funkcionalna grada bakterija. *Naučna knjiga, Beograd*, 1976.
- [64] Rogers, G.M.; Baecker, A.A.W.: A new method for the study of microbiological decay of wood in a strictly anaerobic environment. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv., Doc. No. IRG/WP/2319*, 1988.
- [65] Rossel, S.E.; Abbot, E.G.M. & Levy, F.: Bacteria and Wood. *J. Inst. Wood Sci.* 32, Vol. 6, No. 2, 28-33, 1973.
- [66] Schmidt, O.; Wolf, F. & Liese, W.: On the interaction between bacteria and wood preservatives. *Internat. Biodeter. Bull.* 11, (3), 85-89, 1975.
- [67] Schmidt, O.: Occurrence of microorganisms in the wood of Norway spruce trees from polluted sites. *Eur. J. Forest Path.* 15, 1-10, 1985.
- [68] Schmidt, O.; Nagaashima, Y.; Liese, W. & Schmitt, V.: Bacterial Wood Degradation Studies under laboratory conditions and in lakes. *Holzforschung*, 41, 137-140, 1987.
- [69] Smith, R.S.: Economic Aspects of Bacteria in Wood, Biological Transformations of Wood by Microorganisms. Edited by Walter Liese, Springer-Verlag, 89-102, 1975.
- [70] Soulahti, O.; Wallen, A.: The Influence of Water Storage on the Waterabsorption Capacity of Pine Sapwood. *Holz Roh-u. Werkstoff* 16, 8-17, 1958.
- [71] Špoljarić, Z.: Zaštita drva (impregnacija), skripta za slušače drvno-industrijskog smjera, *Sumarski fakultet, Zagreb*, 1964.
- [72] Thi man n, V.K.: The Life of Bacteria, Their Growth, Metabolism and Relationship, Second Edition New York, London, 1968.
- [73] Unligil, H.H.: Penetrability of white spruce wood after water storage. *I. Inst. Wood Sci.*, 5, 30-35, 1971.
- [74] Unligil, H.H.: Penetrability and strength of white spruce after ponding. *For. Prod., cur.*, 22, 9, 92-100, 1972.
- [75] Von Denfer, D.; Ziegler, H. (prijevod Devide, Z.): Morfologija i fiziologija. Udžbenik botanike za visoke škole, Školska knjiga, Zagreb, 1982.
- [76] Ward, O.P.; Fogarty, W.M.: Bacterial growth and enzyme production in sytka sprucesapwood during water storage. *J. Inst. Wood Sci.*, 32, (Vol. 6, No. 2) 8-12, 1973.
- [77] Ward, J. C.: The effect of wetwood on lumber drying times and rates: An exploratory evaluation with longitudinal gas permeability. *Wood and Fiber Sci.*, 18, (2), 288-307, 1986.
- [78] Westlake, K.; Abraham, L.D. & Roderick I.: Detection of methanogenic bacteria in mining timber. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP/1352*, 1988.
- [79] Wilcox, W.W.: Anatomical changes in wood walls attacked by fungi and bacteria. *The Botanical Review* 36, 1-28, 1970.
- [80] Willoughby, G.A.; Leightley, L.E.: Patterns of bacterial decay in preservative treated Eucalypt power transmission poles. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP/1223*, 1984.
- [81] Willoughby, G.A.; Hayward, A.C. & Leightley, L. E.: Isolation and Identification of Bacteria from CC-a treated Eucalypt Power Transmission Poles. *The Inter. Res. Group of Wood Preserv., Doc. No. IRG/WP/1234*, 1985.