

**O INTROSPECTIVĂ A DEGRADĂRII
LEMNULUI DE FAG (*Fagus sylvatica* L.),
EXPUS TIMP ÎNDELUNGAT ÎN
EXTERIOR, DEASUPRA SOLULUI**

**Partea a 2-a: Evoluția în timp a degradării,
evaluarea distructivă după 7 ani și influența
situației în expunere**

**AN INSIGHT INTO BEECH WOOD (*Fagus
sylvatica* L.) DEGRADATION IN
OUTDOORS, ABOVE GROUND, LONG-
TIME EXPOSURE**

**Part 2: In-Time Evolution of Degradation,
Destructive Evaluation After 7 Years
and Influence of Exposure Situation**

Maria Cristina TIMAR

Prof.dr.chem. – TRANSILVANIA University Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brasov, Romania
E-mail: timar@unitbv.ro

Emanuela BELDEAN

Lect.dr.eng. – TRANSILVANIA University Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brasov, Romania
E-mail: ebeldean@unitbv.ro

Octavia ZELENIUC

Lect.dr.eng. – TRANSILVANIA University Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brasov, Romania
E-mail: zoctavia@unitbv.ro

Anca VARODI

Researcher dr. eng.- TRANSILVANIA University Brasov, ProDD Institute
Adresa/Address: Str. Institutului nr.10, Brasov, Romania
E-mail: avarodi@unitbv.ro

Rezumat:

Lucrarea se referă la unele rezultate ale unui test tip L-joint modificat, în care au fost expuse și examinate periodic, timp de 7 ani, probe de lemn de fag netratate și tratate. Au fost examinate efectele de protecție pe termen lung ale unor tratamente de suprafață și evoluția în timp a degradării, în corelație cu riscul de umezire, lucrarea fiind împărțită în două părți. Prima parte a prezentat degradarea complexă a lemnului și a peliculelor de finisare, la nivel macroscopic și microscopic, după 7 ani de expunere în exterior, deasupra solului, utilizând un sistem nedistructiv de evaluare.

Această a doua parte a lucrării, se referă la degradarea secvențială în timp a lemnului de fag și evoluția în timp a fenomenelor de degradare în funcție de situația în expunere. De asemenea, evaluarea distructivă a probelor, după 7 ani de expunere, a oferit o imagine reală a degradării interne a lemnului prin evidențierea putregaiului intern și a discolorărilor, ca rezultat al extinderii acestor tipuri de degradare dinspre zona cepului sau suprafața probelor spre interiorul acestora.

Tratamentele de suprafață aplicate au avut un efect de protecție limitat asupra evoluției degradării, iar diferențele dintre diferitele zone investigate în corelație cu riscul de umezire, au indus o mare variabilitate a datelor experimentale. Prin urmare, această cercetare a relevat utilitatea și versatilitatea utilizării testului L-joint modificat pentru o evaluare realistă a potențialului diferitelor tratamente în

Abstract:

The paper is referring to some results of a modified L-Joint test, within which control and treated beech wood samples were exposed and examined periodically for 7 years. The long-term protective effects of some surface treatments and the in-time evolution of degradation in correlation with the risk of wetting were examined, the paper being divided in two parts. The first part presented the complex degradation of wood and coatings, at macroscopic and microscopic level after 7 years of outdoors, above ground exposure, employing a non-destructive evaluation system.

This second part of the paper deals with time sequences in beech wood degradation and in-time evolution of the degradation phenomena as a function of the exposure situation. Moreover, destructive evaluation of the samples after 7 years of exposure offered a real insight into wood degradation by revealing inner decay and discoloration as result of progress of these degradation types, from the tenon area or the samples surface towards their interior.

The surface treatments applied had only a limited protective effect on the evolution of degradation, while the differences between the different investigated areas in correlation with the risk of wetting, induced a large variability in the experimental data. However, this research revealed the utility and versatility of the employed modified L-joint test for a realistic evaluation of the potential of

creșterea performanței lemnului de fag, în condiții de exterior deasupra solului.

Cuvinte cheie: lemn de fag; test L-joint modificat; putrezire; discolorare; crăpare; evoluție în timp; evaluare distructivă; degradare internă.

INTRODUCERE

Consumatorii și producătorii trebuie să fie informați cu privire la problemele specifice asociate de utilizarea unor specii cu durabilitate naturală scăzută, precum fagul (*Fagus sylvatica* L.), pentru aplicații în exterior, deasupra solului. În plus, este esențial ca metodele de tratare propuse, incluzând bio-protecția și/sau finisarea să asigure performanța produsului în condiții reale de utilizare. Performanța lemnului tratat expus direct la factorii de mediu este evaluată prin teste de teren, considerate a induce în mod accelerat fenomenele de biodegradare față de cele mai multe dintre condițiile reale de utilizare (Francis 2008).

O cercetare amplă a autorilor (Timar ș.a. 2005, Timar și Beldean 2006, 2007a, Beldean 2009) a urmărit avantajele și limitele utilizării unor tratamente simple, superficiale, implicând rășini reactive, substanțe biocide și materiale de finisare pentru îmbunătățirea performanțelor lemnului de fag în condiții de exterior.

Un test modificat tip L-joint, adaptat după cel propus de Van Acker și Stevens (1997) pentru evaluarea durabilității diferitelor specii de lemn, în condițiile clasei de utilizare UC3, a fost utilizat în această cercetare pentru a studia apariția și evoluția în timp a degradării lemnului de fag și a peliculelor de finisare, ca fenomene interdependente, pe parcursul a 7 ani de expunere. Acest test a fost ales pentru a furniza date aplicabile pentru posibile utilizări ale lemnului deasupra solului, în condiții de exterior, cum ar fi tâmplăria.

Rezultatele unei evaluări nedistructive macroscopice și microscopice, după 7 ani de expunere, au fost prezentate în Partea 1 a acestei cercetări (Timar ș.a. 2012). Aceasta a relevat colonizarea fungică ce a condus la discolorare și putrezire alături de alte fenomene asociate de degradare cum ar fi: apariția crăpăturilor în lemn, efectul factorilor de mediu, fisurarea peliculelor, desprinderea și exfolierea, atât în zona cepului cât și a suprafețelor externe ale probelor. O intensitate diferită a fenomenelor de degradare a fost observată pe suprafețele aflate în situații diferite de expunere. Principalele fenomene de degradare observate au fost discolorările datorate ciupercilor de mucegai și albăstreală, care afectează nu numai probele netratate de fag, dar și pe cele tratate sau finisate. Putregaiul a fost prezent mai ales în zona cepului, dar nu toate probele au fost afectate. Crăpăturile s-au dezvoltat pe zone extinse pe cele mai multe dintre probele tratate și netratate.

different treatments in improving beech performance in outdoor, above ground conditions

Key words: beech wood; modified L-joint test; decay; discolouration; wood cracking; in-time evolution; destructive evaluation; internal degradation.

INTRODUCTION

Consumers and producers need to be informed on the specific issues related to utilization of some low durability wood species, such as beech (*Fagus sylvatica* L.), in exterior, above ground applications. Furthermore it is essential that the proposed treating methods, including bio-protection or/and coatings, to ensure the product performance in-service. The performance of treated wood directly exposed to weather conditions, is evaluated by field tests which are considered to be more conducive to biodegradation, than most service conditions (Francis 2008).

An extensive research of the authors (Timar et al. 2005, Timar and Beldean 2006, 2007a, Beldean 2009) looked at the benefits and limits of using simple superficial treatments employing reactive resins, biocides and coating materials in improving beech wood performance in outdoors conditions.

A modified L-Joint test, adapted from the one proposed by Van Acker and Stevens (1997) for evaluating the durability of different wood species under the conditions of UC3, was employed in this research to study apparition and in-time evolution of degradation of beech wood and protective coatings, as interdependent phenomena, during 7 years of exposure. This test was chosen to gather data applicable to potential above ground applications of wood in outdoors conditions, such as joinery.

Results of a non-destructive macroscopic and microscopic evaluation after 7 years of exposure were presented in Part1 of this research (Timar et al. 2012). This revealed the fungal colonisation leading to discolouration and decay and other associated degradation phenomena like wood cracking, weathering effect, coatings cracking, flaking and exfoliation, on both inner joint area and the external surfaces of the test samples. A different intensity of the degradation phenomena was observed on the differently exposed surfaces. The main degradation phenomena observed were discolouration by mould and staining fungi, affecting not only the untreated beech samples, but also the treated or coated ones. Decay was present especially in the joint area (tenon), but not all the samples were affected. Cracks were developed extensively on most of the treated and untreated samples.

This non-destructive evaluation also suggested a possible internal degradation, evolving

Această evaluare nedistructivă a sugerat, de asemenea, o posibilă degradare internă, evoluând de la cepul putrezit sau de la crăpăturile mari dezvoltate pe suprafețele sau capetele probelor. Din acest motiv, evaluarea nedistructivă, după 7 ani a fost urmată și completată de o evaluare distructivă, în scopul de a analiza în ce măsură degradarea este prezentă în zonele interioare ale probelor și a o corela cu degradarea externă. Prezenta lucrare tratează acest subiect, completat cu o prelucrare avansată a datelor experimentale în vederea stabilirii secvențelor caracteristice de degradare ce apar succesiv în timp pentru lemnul de fag și evaluarea evoluției în timp a fenomenelor de degradare interdependente, în corelație cu situația în expunere și implicit riscul de umezire.

OBIECTIVE

Lucrarea de față abordează următoarele obiective:

- stabilirea degradării secvențiale în timp a lemnului de fag în condițiile clasei de utilizare UC 3;
- evidențierea evoluției în timp a degradării în corelație cu riscul de umezire și tipul de tratament;
- evaluarea distructivă a probelor prin secționare, după 7 ani, pentru a evidenția și evalua degradarea internă, în corelație cu aspecte de degradare externă observate (crăpături, putregai, discolorare).

MATERIALE SI METODE

Asamblări tip L-joint, fiecare constând din 5 piese cu cep din fag (*Fagus sylvatica*), montate într-un element vertical cu scobituri, confecționat din fag și alburn de pin, după cum s-a prezentat în Partea 1 (Timar ș.a. 2012), au fost realizate și expuse într-un test de lungă durată în teren în condițiile UC3. Testul utilizat a fost adaptat după cel propus și utilizat de Van Acker și Stevens (1997, 2003). Probele din fag au fost:

- probe martor netratate - codificate M;
- probe tratate cu un produs biocid de referință pe bază de Cu-Cr – codificate R;
- probe finisate - codificate MS1, MS2 și RS1, RS2.

Materialele de finisare și anume: S1 - o lazură semi-transparentă alchidică maro și S2 - un email alchidic alb (www.Policolor.ro), sunt frecvent utilizate pentru aplicații în exterior și disponibile pe piața românească. Pentru fiecare variantă au fost pregătite și testate trei probe paralele.

Așa cum se arată în Fig. 1a, modul de expunere al probelor pe suportul experimental accelerează degradarea cepului, din cauza curgerii/pătrunderii apei și riscului asociat de umezire pentru zona internă a îmbinării. Zonele examinate în conformitate cu situația în expunere sunt: zona interioară de îmbinare reprezentată de cepul în sine și zona exterioară a probelor, cu cele trei tipuri de suprafețe: fața superioară expusă (codificată a), fețele laterale (codificate b) și fața inferioară, opusă

from the decayed tenon or from large cracks developed on the surfaces or ends of samples. For this reason, the non-destructive evaluation after 7 years was followed and completed by a destructive evaluation in order to analyse to which extent degradation is present in the inner parts of the samples and to correlate it with external degradation. This is the subject of this paper alongside a further developed data processing for establishing characteristic successive time sequences in beech wood degradation and assessing in-time evolution of interdependent degradation phenomena in correlation with exposure situation and consequent risk of wetting.

OBJECTIVES

The present paper addresses the following objectives:

- establishing of time sequences in beech wood degradation under UC 3 conditions;
- revealing the in-time evolution of degradation in correlation with the risk of wetting and type of treatments;
- destructive evaluation of test samples after 7 years, to reveal and assess internal degradation in correlation with externally observed degradation aspects (cracks, decay, discoloration).

MATERIALS AND METHODS

L-joint assemblies, each consisting in 5 beech (*Fagus sylvatica*) tenon samples mounted in a longer mortise member made of beech and pine sapwood, as described in Part 1 (Timar *et al.* 2012), were prepared to run a long term UC3 field test, adapted from that proposed and employed by Van Acker and Stevens (1997, 2003). The test beech samples were:

- untreated controls - coded M;
- samples treated with a reference Cu-Cr biocide - coded R;
- coated samples - coded MS1, MS2 and RS1, RS2.

The coating materials S1 - an alkyd semi-transparent brown lasure and S2 - a white alkyd enamel (www.Policolor.ro), are commonly used for outdoors applications and ready available on the Romanian market. Three replicate samples were prepared and tested for each variant.

As shown in Fig. 1a, the manner of samples exposure on the experimental rack accelerates the degradation of the tenon because of the water movement /ingress and associated risk of wetting for the internal joint area. The examined areas in accordance to their exposure situation are: the inner joint area represented by the tenon itself, and the external area of the test samples with the three types of surfaces: upper exposed face (coded a), the lateral faces (coded b) and the lower face opposite to the upper one (coded c).

celelalte (codificată c).

După evaluarea vizuală a suprafețelor exterioare, probele au fost secționare pe direcția longitudinală. Au fost efectuate două tăieturi în conformitate cu EN 330: o tăietură la 1-2mm față de cep și cealaltă, incluzând 1-2mm din zona cepului. Acest tip de secționare permite o mai bună evaluare și evidențiază fenomenele de degradare internă începând de la partea cea mai vulnerabilă a probei, respectiv cepul și extinderea acestora la zonele înconjurătoare. Schema de secționare este prezentată în Fig. 1b, alături de codurile celor 3 piese rezultate și suprafețele interne evaluate (I1- prima suprafața internă fără zonă de cep, I2- cele două suprafețe din mijloc, incluzând cepul, I3- a treia suprafața internă cu o parte din cep).

After visual assessment of the external surfaces, the samples were sectioned in longitudinal direction. Two cuts were performed according to EN 330: one cut to 1-2mm outside of the tenon edge and the other one including 1-2mm of the tenon area. This type of sectioning allows a better evaluation and reveals the internal degradation phenomena starting from the most vulnerable part of the test sample, namely the tenon, and their extension to the surrounding areas. The sectioning scheme is presented in Fig. 1b, alongside with the codes of the resulting 3 pieces and internal evaluated surfaces (I1- the first internal surface without tenon; I2- the two middle surfaces including the tenon; I3- the third internal surface with a part of tenon).

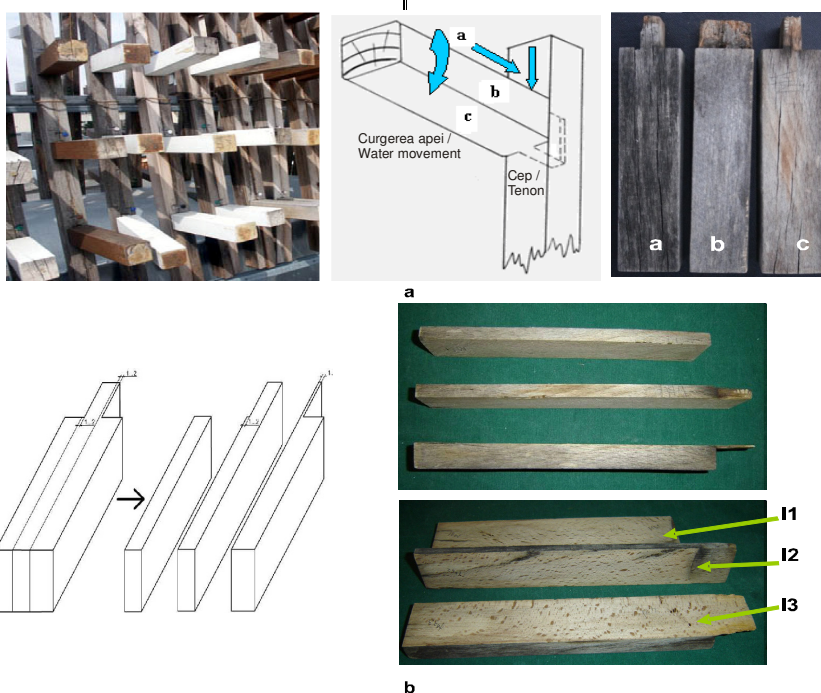


Fig. 1.

Test modificat L-Joint, adaptat după Van Acker and Stevens (1997): a - Stand cu probe, curgerea apei și pătrunderea în zona de îmbinare determinând un risc de umezire diferențiat pentru zona internă a îmbinării (cep) și suprafețele exterioare ale îmbinării (fața superioară-a, laterală-b și inferioară-c); b - Schema de secționare a probelor pentru evaluarea distructivă și evidențierea suprafețelor interne evaluate (I1,I2,I3) /

The modified L-joint test adapted from Van Acker and Stevens (1997): a - Test rank with samples, water movement and ingress in the joint area determining differentiated risk of wetting for internal joint area (tenon) and external surfaces (upper-a, lateral-b and lower faces-c); b - Sectioning scheme for destructive evaluation, an example of sectioned sample and codes of internal surfaces evaluated (I1, I2, I3)

După secționare, suprafețele interne rezultate au fost examinate în conformitate cu același sistem de evaluare, prezentat în prima parte a lucrării, care a inclus un sistem de evaluare cantitativă pentru discolorare (codificare de la 0 la 3), putrezire (codificare de la 0 la 4) și evaluarea calitativă pentru

After sectioning, the internal resulted surfaces were examined according to the same rating system presented in the first part of this article, which included a quantitative rating scale for discoloration (coded 0 to 3) and decay (coded 0 to 4) and qualitative assessment for cracks (+/-

crăpături (+/-, prezență/absență crăpături).

Evaluarea a fost efectuată pentru fiecare suprafață internă specificată în Fig. 1b, după cum urmează: individual pentru suprafețele I1 și I3 și cumulând ambele fețe pentru piesa de mijloc I2. Putregaiul și discolorările au fost evaluate pentru fiecare probă ca medie a celor 3 valori pentru cele 3 suprafețe interne I1-I3. Ulterior, pentru fiecare set de 3 probe paralele a fost calculată o valoare medie pe tratament.

REZULTATE SI DISCUȚII

1. Secvențe de degradare în timp a lemnului de fag

Din datele prezentate în Partea 1 a cercetării (Timar ș.a. 2012) a fost evident că după 7 ani de expunere a apărut o degradare complexă și avansată a probelor de fag, iar tratamentele superficiale simple aplicate au avut doar o influență limitată. Cu toate acestea, diferitele fenomene de degradare au apărut după diferite perioade de expunere și au evoluat în continuare cu viteze diferite. Cumularea datelor de la 7 evaluări succesive nedistructive ale probelor după 9, 16, 27, 36, 48, 60 și 84 de luni de expunere au oferit posibilitatea de a reprezenta unele diagrame în coordonate degradare-timp, așa cum este ilustrat în Fig. 2a pentru probele de fag de netratate (M) și Fig. 2b probele tratate și finisate (RS2).

Pentru o mai bună lizibilitate, în diagrame au fost incluse numai degradarea biologică a feței superioare (cod a) și a cepului, alături de crăpăturile apărute pe fața superioară. Acest tip de grafice permite distingerea diferitelor secvențe din degradarea complexă a lemnului de fag, în exterior, deasupra solului și de stabilire a timpului de inducție (perioada de timp de expunere necesară pentru apariția lor) pentru diferite tipuri de degradare.

Diagramele din Fig. 2a arată că prima secvență de degradare a lemnului de fag este discolorarea datorată ciupercilor de mucegăire și albăstreală iar acest fenomen este foarte rapid și intens pentru probele netratate M, astfel încât, chiar și la prima evaluare după 9 luni, s-a atins gradul maxim 3 pentru fața superioară externă, supusă direct la umezire în cazul fagului netratat.

În acest sens, ar fi fost necesară evaluarea după perioade mai mici de expunere, în vederea stabilirii timpului de inducție pentru acest tip de degradare. Pfeffer ș.a. (2012a, b) raportează discolorarea intensă datorită mucegaiului și albăstreliei pentru probe netratate de fag după 3 luni de expunere în exterior și o evoluție foarte rapidă până la a doua evaluare după 9 luni.

Discolorarea a fost prezentă, de asemenea, în zona cepului după 9 luni de expunere, dar nu atât de intensă (grad 1). Umezirea mai dificilă și redusă în această zonă interioară și absența efectelor induse de razele UV, considerate ca favorizând discolorarea

presence/absence).

The evaluation was performed for each internal surface specified in Fig. 1b as follows: individually for surfaces I1 and I3 and cumulating both faces for the middle piece I2. Decay and discoloration were rated for each test sample as the average of the 3 values given to the 3 internal surfaces I1-I3. Further, a mean value per treatment was calculated for each set of replicates.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Time Sequences in Beech Wood Degradation

It was obvious from the data presented in Part1 of the research (Timar *et al.* 2012), that after 7 years of exposure a complex and advanced degradation of the beech samples occurred and that the simple surface treatments applied had only a limited influence. However, the different degradation phenomena appeared after different periods of exposure and further evolved at different rates. The cumulation of data from 7 successive non-destructive evaluations of the test samples after 9, 16, 27, 36, 48, 60 and 84 months of exposure offered the possibility of drawing some diagrams in degradation-time coordinates, as exemplified in Fig. 2a for the beech untreated control samples (M) and in Fig. 2b for the treated and coated samples (RS2).

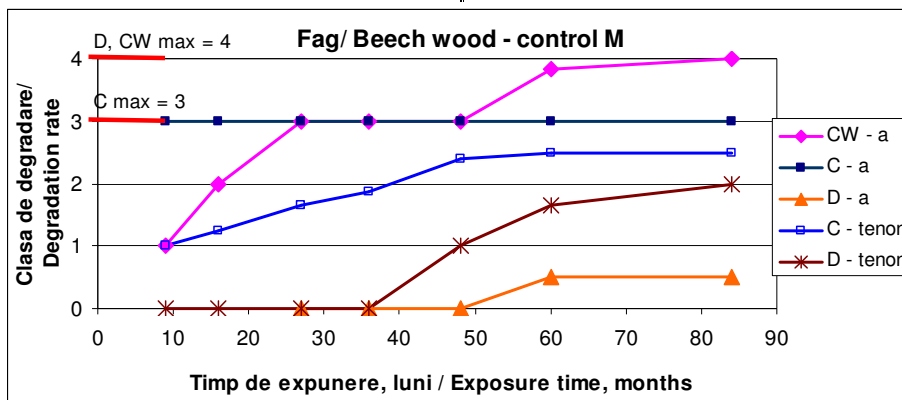
For a better readability of the diagrams, only biological degradation of the upper external surface (code a) and of tenon and wood cracking of external upper surface were included. This kind of graphs allows distinguishing the different sequences in the complex degradation of beech wood in outdoors, above ground conditions and determining the induction times (period of exposure time for their apparition) for different types of degradation.

The diagrams in Fig. 2a show that the first sequence of degradation of beech wood is discoloration due to mould and staining fungi and this phenomenon is very rapid and intense for control M, so that even at the first evaluation after 9 months the maximum rating 3 was reached for the upper external face directly subjected to wetting in the case of untreated beech.

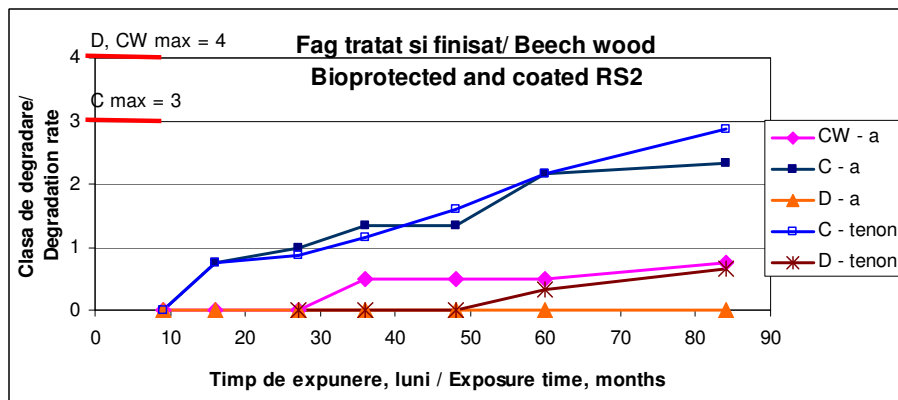
With this respect, evaluation after shorter exposure times would have been necessary to establish the induction time for this type of degradation. Pfeffer *et al.* (2012a, b) report intensive discoloration due to stain and mould for untreated beech after 3 months in outdoors exposure and a very rapid evolution until the second evaluation after 9 months.

Discoloration was present also in the tenon area after 9 months exposure but not so intense (rate 1). The delayed and reduced wetting in this inner area and the absence of UV induced weathering effects, reported as favouring factors of discoloration by staining fungi (Eaton and Hale 1993, Pfeffer 2012a, b), may explain this result.

datorată ciupercilor de albăstreală (Eaton și Hale 1993, Pfeffer 2012a) pot explica acest rezultat.



a.



b.

Fig. 2.

Degradarea secvențială, în timp, a lemnului de fag expus în exterior, deasupra solului, evidențiată prin testul L-joint, pentru suprafețele exterioare și zona îmbinării (cep): a - Martor M; b - Tratat și finisat RS2/

Time sequences in beech wood (*Fagus sylvatica*) degradation in outdoors, above ground exposure revealed on the L-joint test samples for external surfaces and in joint area (tenon): a - Control M; b - Bioprotected and coated RS2)

Pentru probele RS2 nu a fost observată discolorare după 9 luni, nici pe suprafața superioară expusă, nici în zona cepului, dovedind efectul de protecție al produsului biocid de referință aplicat (Fig. 2b). Primele semne de discolorare pe fața exterioară superioară și în zona cepului (cotație <1) au apărut doar după 16 luni.

Crăparea lemnului a fost, de asemenea, prezentă la probele de fag netratate, de la prima evaluare, la 9 luni, fiind cotațată la valoarea cea mai mică de 1. Crăparea lemnului a evoluat în timp și a atins gradul maxim de 4 după 84 luni (martor netratate M, Fig. 2a). Crăparea ar putea fi considerată, prin urmare, ca o a doua secvență în degradarea lemnului de fag.

Tratamentul de suprafață al lemnului de fag cu un produs biocid urmat de finisare, a întârziat apariția crăpăturilor. Astfel, în cazul probelor RS2, primele

No discoloration was observed for RS2 samples after 9 months, neither on their upper exposed surface nor in the tenon area, proving the protective effect of the reference biocides applied (Fig. 2b). The first signs of discolouration on the upper external face and in the tenon area (rate <1) were observed only after 16 months of exposure.

Wood cracking was also present for untreated beech samples from the first evaluation at 9 months, being rated at the lowest value of 1. Wood cracking evolved in time and reached the maximum rate of 4 after 84 months (control M, Fig. 2 a). Cracking could be considered therefore as the second sequence in beech wood degradation.

Beech wood surface treatment with biocides and further coating delayed apparition of cracking. Thus in the case of RS2 samples first were noticed only after 36 months of exposure. These treated

crăpături s-au observat doar după 36 luni de expunere. Aceste probe tratate au fost notate cu valori mai mici de 1, pentru toată perioada de expunere de 7 ani (Fig. 2b).

Putregaiul din zona cepului apare, ca o a treia secvență în degradarea lemnului de fag, numai după 48 luni de expunere pentru probele martor M (cotație 1) și după 60 de luni pentru probele RS2 (cotație 0.4). După 84 luni putregaiul a evoluat la cotație 2 (degradare medie) pentru probele martor M și la 0,66 (degradare slabă) pentru RS2.

Putregaiul incipient pe suprafețele externe a fost observat doar după 60 de luni de expunere în exterior, fiind încă foarte limitat și evoluând încet, reprezentând a patra secvență a degradării lemnului de fag. Pentru probele RS2 nu a fost observat niciun semn de degradare pe fețele externe.

Mai mult decât atât, trebuie remarcat faptul că efectul factorilor de mediu asupra suprafețelor exterioare nefinisate a condus treptat la o culoare gri, un aspect rugos, desprindere de fibre și eroziunea suprafeței, datorită acțiunii combinate a radiațiilor UV și a apei de ploaie, care îndepărtează compușii hidro-solubili rezultați din degradarea ligninei sub acțiunea radiațiilor UV (Hon 2001, Pfeffer 2012a, Sam 2005). Acesta ar trebui să fie considerat un fenomen continuu, respectiv o secvență cu apariție rapidă și dezvoltare permanentă în degradarea lemnului nefinisat expus în condiții de exterior, ce însoțește discolorearea fungică și este în competiție cu aceasta din punct de vedere al modificării de culoare în nuanțe de gri. Cu toate acestea, în cadrul acestei cercetări nu s-au efectuat măsurători de schimbare a culorii datorată factorilor de mediu.

Datele experimentale arată că primele semne de degradare au fost întârziate iar evoluția în timp a fenomenelor de degradare aferente a fost mai puțin accelerată pentru probele bio-protejate și finisate. Astfel, se poate aprecia că unele tratamente superficiale adecvate pot să îmbunătățească într-o oarecare măsură rezistența la degradare și performanțele fagului în condiții de exterior, deasupra solului.

2. Influența situației în expunere și evoluția în timp a degradării lemnului

Testul L-joint modificat efectuat, alături de aplicarea unui sistem original de evaluare complexă, a oferit posibilitatea de a monitoriza apariția secvențială a diferitelor forme de degradare, precum și evoluția în timp a fenomenelor de degradare, în funcție de situația în expunere și riscul de umezire. Fiecare probă a fost considerată ca incluzând 4 zone de testare, în conformitate cu situația în expunerea lor: zona interioară de îmbinare, reprezentată de cepul în sine, precum și zona exterioară a probelor, cu cele trei tipuri de suprafețe: fața superioară expusă aproape în poziție orizontală, fețele laterale în poziție verticală și fața inferioară opusă celei superioare, neexpusă la precipitații. Prin concepția

samples were rated below 1 for all exposure period of 7 years (Fig. 2b).

Decay in the tenon area appears as a third sequence in beech wood degradation, being detected at the minimum level (rate 1) only after 48 months exposure for control M and after 60 months for RS2. After 84 months the rate evolved to 2 (medium degradation) for control M and to 0.66 (slight degradation) for RS2.

Incipient decay on the external surfaces was noticed only after 60 months of outdoors exposure, being still very limited and slowly evolving, representing the fourth sequence of beech wood degradation. No sign of decay on external faces was observed for RS2 samples.

Moreover, it has to be remarked that weathering of the external uncoated surfaces leading to progressively grey colour, rough aspect, detachment of fibres and further surface erosion, due to the combined action of UV radiation and rainwater which leaches out the water soluble components of UV induced lignin degradation (Hon 2001, Pfeffer 2012a, Sam 2005). This should be considered as a continuous phenomenon, an early starting and permanent sequence in the degradation of uncoated wood in outdoors exposure, accompanying fungal discolouration and competing with this in terms in colour change to grey. However, within this research no measurements of colour change due to weathering were performed.

The experimental data showed that the first signs of degradation were delayed and the evolution in time of the corresponding degradation phenomena was less accelerated for the bio-protected and coated samples. Therefore, it could be mentioned that some adequate surface treatments might slightly improve the resistance to degradation and performance of beech wood in outdoors, above ground conditions.

2. Influence of the Exposure Situation and In-Time Evolution of Wood Degradation

The modified L joint test performed in this research alongside the application of an original extended evaluation system offered the possibility of monitoring the apparition of the different degradation sequences, as well as the in-time evolution of the degradation phenomena as a function of exposure situation and consequent risk of wetting. Each test sample was considered as including 4 testing areas in accordance to their exposure situation: the inner joint area, represented by the tenon itself, and the external area of the test samples with the three types of surfaces: upper exposed face in nearly horizontal position, the lateral faces in vertical position and the lower face opposite to the upper one, not exposed to

testului L-joint modificat, propus inițial de Van Acker și Stevens (1997), adoptat și adaptat de către autori, pătrunderea apei în zona de îmbinare (zona cepului) este facilitată de panta de 10° înspre spate a elementelor verticale și de zona internă de acumulare a apei în îmbinare, rezultată dintr-un cep cu 10 mm mai scurt decât scobitura în care este fixat. În acest context, fața superioară expusă a zonei externe este cel mai rapid umezită, ajungând la un conținut ridicat de umiditate, după precipitații abundente, prin urmare cea mai predispusă la colonizare de ciupercile de mucegai și albăstrea care se dezvoltă bine și rapid, în condiții de umezeală (Eaton și Hale 1993).

rainfall. By the concept of the modified L joint test proposed initially by Van Acker and Stevens (1997), adopted and adapted by the authors, water ingress in the joint (tenon area) is promoted by the slope of 10° backwards of the mortise members and an inner joint water trap resulted from a tenon 10 mm shorter than the actual mortise into which the tenon is fixed. In this context, the upper exposed face of the external area is the one getting most rapidly wetted and reaching a high moisture content after a heavy rainfall, therefore very prone to fungal colonisation by staining and mould fungi developing well and rapidly in wet conditions (Eaton and Hale 1993).

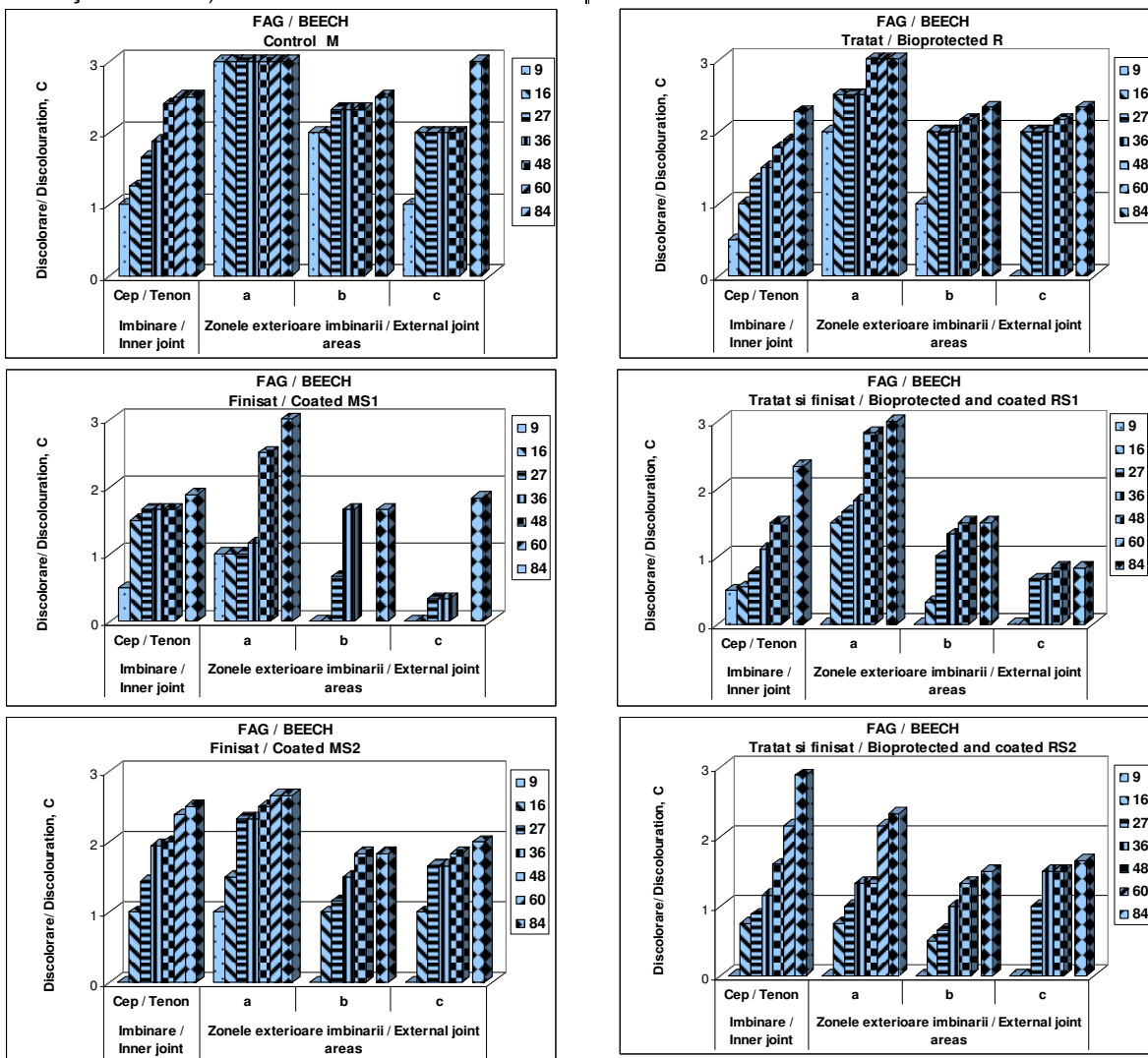


Fig.3.

Influența situației în expunere și evoluția în timp a degradării biologice prin discolorare și mucegăire a probelor tratate diferit, din testul L-Joint, pe o perioadă de 7 ani de expunere / Influence of exposure situation and in-time evolution of biological degradation by discoloration and mould fungi of the differently treated L-joint test samples during the 7 years exposure period

Această zonă este, de asemenea, foarte ușor accesibilă pentru spori, dar poate să se și usuce mai ușor decât zona interioară de îmbinare. Aceasta din urmă se va umezi, foarte probabil, mai puțin rapid, dar excesul de apă pătrunsă se va acumula în zona de îmbinare și va rămâne acolo pentru un timp mult mai îndelungat. Astfel, conținutul de umiditate din cep odată atingând o valoare ridicată, peste 20%, care este valoarea minimă pentru dezvoltarea ciupercilor, va rămâne ridicat pentru perioade mai lungi de timp permițând instalarea și dezvoltarea ciupercilor de putrezire.

Graficele prezentate în Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 demonstrează această teorie și oferă, de asemenea, o imagine asupra evoluției în timp a diferitelor fenomene de degradare (discolorare, putrezire, crăpare) în funcție de situația de expunere efectivă și riscul de umezire.

This area is also very easily accessible to spores, but it also could get dry again easier than the inner joint area. This later one will get wet, most probably, less rapid, but the excess ingressed water can accumulate into the trap area and will remain there for a much longer time.

Thus, the wood moisture content in the tenon once reaching a high value, above 20%, which is the minimum value for fungal development, will remain high for longer periods of time allowing the installation and development of decay fungi.

The graphs presented in Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 demonstrate this theory and also offer an image on the in-time evolution of the different degradation phenomena (discolouration, decay, wood cracking) as a function of actual exposure and risk of wetting.

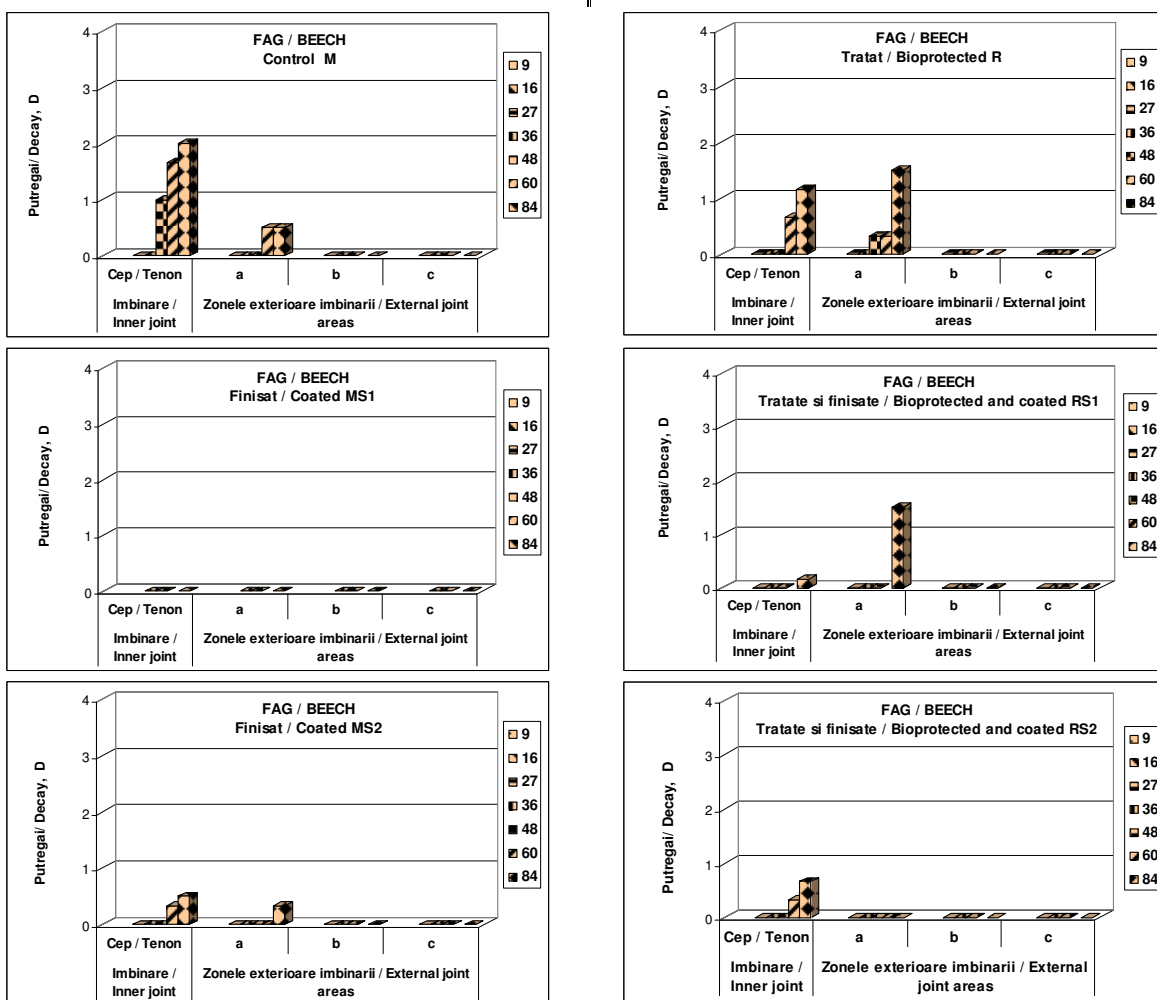


Fig.4.

Influența situației de expunere și evoluția în timp a degradării biologice prin putrezire a probelor tratate diferit, din testul L-Joint, pe o perioadă de expunere de 7 ani / Influence of exposure situation and in-time evolution of biological degradation by decay fungi of the differently treated L-joint test samples during the 7 years exposure period

Aceste figuri cumulează date pentru toate cele 6 tipuri de probe testate din punct de vedere al procedurii de tratare (M, R, MS1, MS2, RS1, RS2), oferind în acest fel o imagine relevantă cu privire la efectele diferitelor tratamente și a eficienței lor în timp.

These figures cumulate data for all the 6 types of samples tested in terms of treating procedure (M, R, MS1, MS2, RS1, RS2), offering in this way a quite comprehensive image on the effects of different treatments and the modification of their efficiency in time.

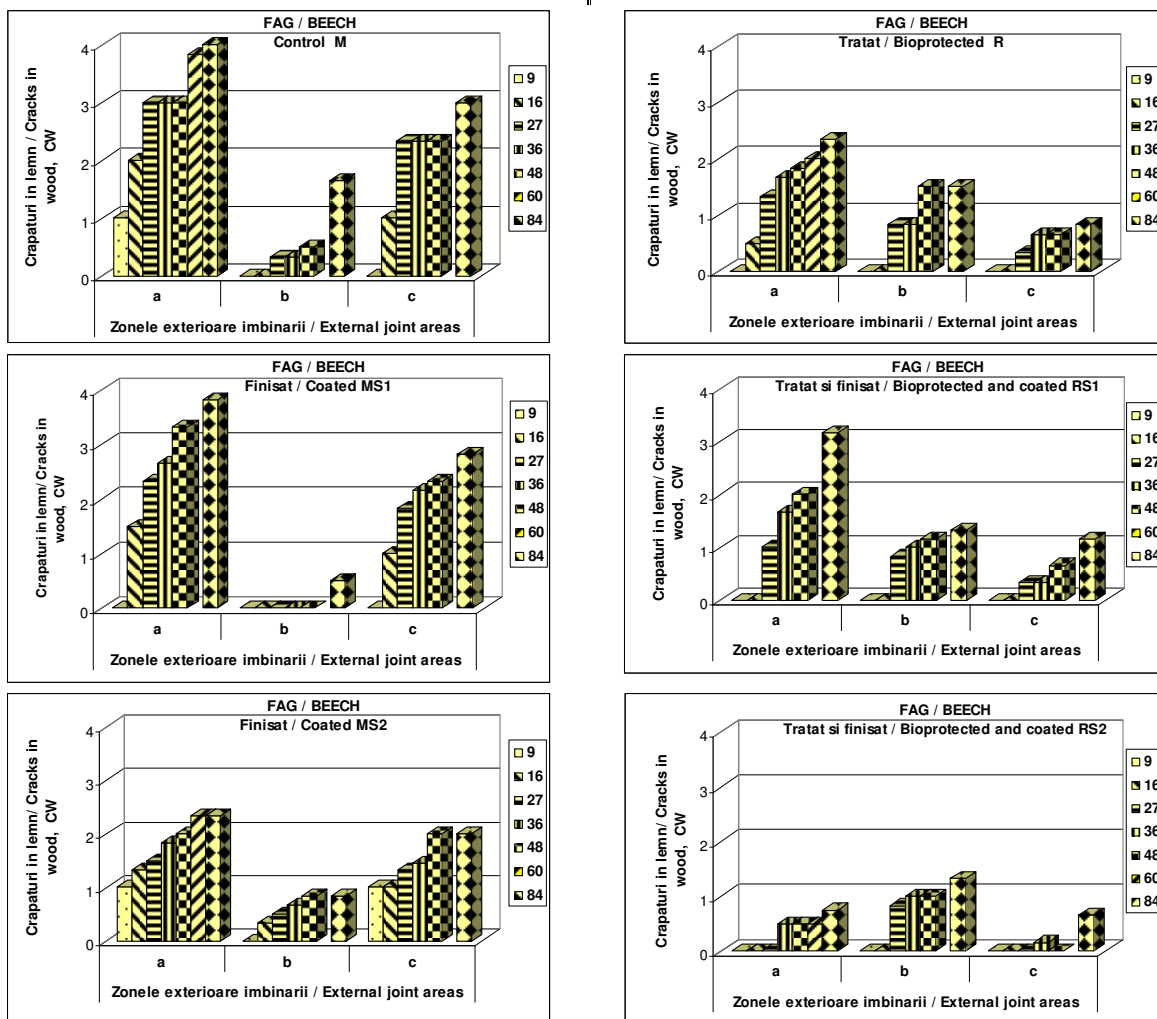


Fig. 5.

Influența situației de expunere și evoluția în timp a crăpăturilor în lemn a probelor tratate diferit, din testul L-Joint, pe o perioadă de expunere de 7 ani /

Influence of exposure situation and in-time evolution of cracks in wood of the differently treated L-joint test samples during the 7 years exposure period

În final se poate spune că după 7 ani de expunere, probele cel mai puțin degradate au fost cele tratate cu produsul biocid de referință și ulterior finisate cu email alb alchidic, codificate RS2. Ele prezintă doar câteva crăpături și numai putregai incipient în cep. Cu toate acestea, discolorările sunt destul de mari în cep (aproape 3) și importante pe fețele externe, în special pe fața superioară. Aderența filmului de finisare este încă destul de bună, dar ar putea fi curând afectată de ciupercile de mucegai dezvoltate sub pelicula de finisare și

Finally, after 7 years of exposure the less degraded samples were those treated with the reference biocide product and further coated with the alkyd white paint, coded RS2. They present only a few cracks and only very incipient decay in the tenon. However, the discolouration is quite high in the tenon (approaching 3) and important on the external faces, especially the upper face. The adhesion of the coating film is still fairly good but it will be soon affected by the mould fungi developing under the coating film and their tendency to

tendința acestora de a pătrunde prin aceasta.

penetrate through it.

3. Evaluarea distructivă – Degradarea internă a probelor

Evaluarea nedistructivă a probelor a relevat fenomenele biologice de degradare pe suprafață sau începând de la suprafață și a putut doar să sugereze uneori o extindere mai profundă a acestora spre interiorul probelor.

3. Destructive Evaluation – Inner Degradation of Samples

The non-destructive evaluation of the samples revealed biological degradation phenomena on the surface or starting from the surface and could only suggest sometimes a deeper extension of these towards the inner of the samples.

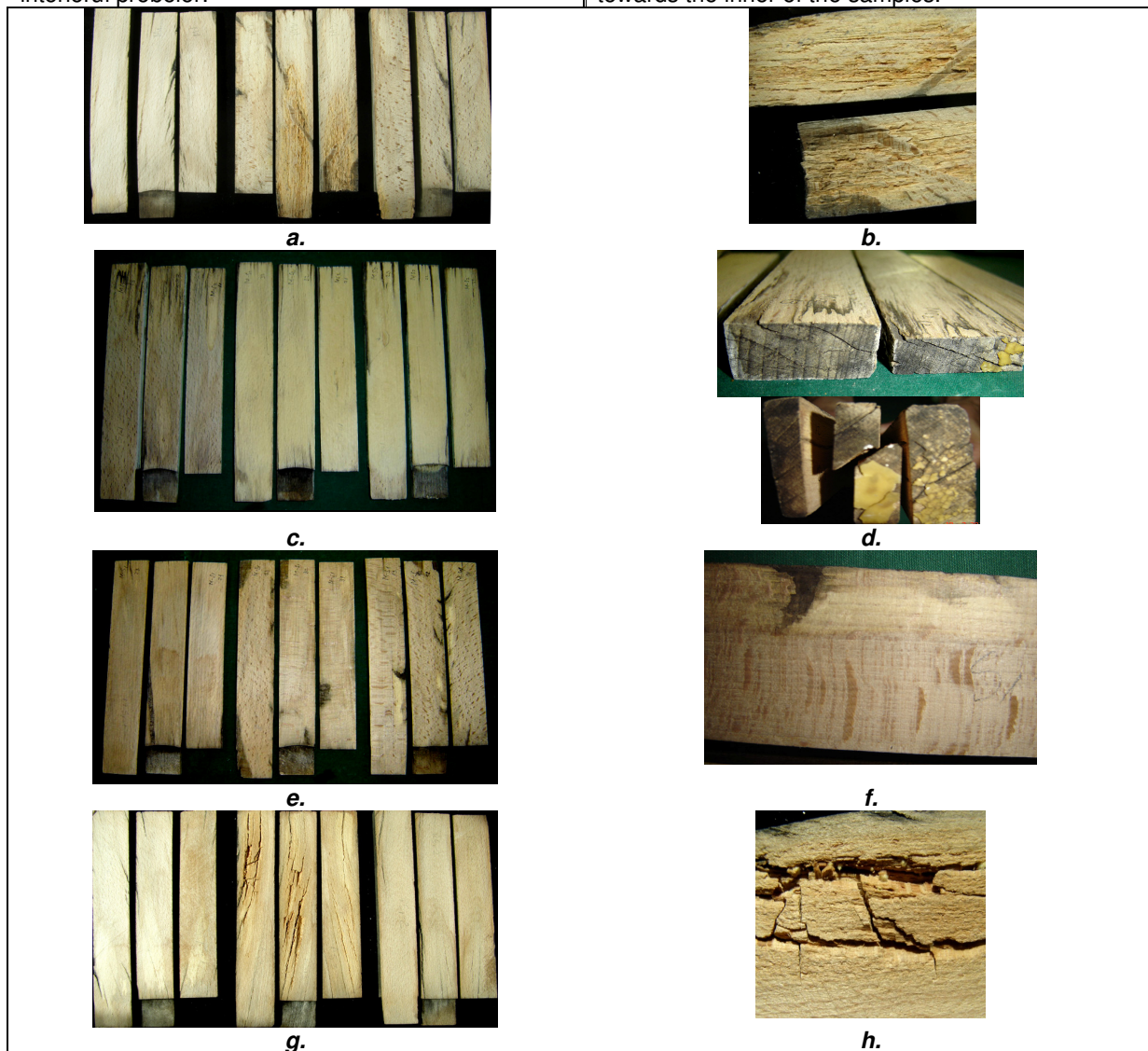


Fig. 6.

Aspecte privind degradarea în interior a probelor din testul L-Joint, evidențiate după secționarea acestora pentru evaluare distructivă: a - fag – M; b - detaliu cu putregai intern extins din zona cepului; c - fag-finisat MS2; d - detaliu cu discolorări în jurul crăpăturilor de capăt; e - fag finisat MS1 ; f - detaliu de putregai incipient extins de la crăpătura de suprafață; g - fag- RS1; h - detaliu cu zona de putregai avansat în interior cauzat de crăpăturile extinse dinspre suprafață /
Aspects of internal degradation of the L-joint test samples revealed after sectioning for destructive evaluation: a - beech - M; b - detail of inner decay extended from the tenon area; c - beech –coated MS2; d - detail of inner incipient discoloration around end cracks; e - beech - coated MS1 ; f - detail of inner incipient decay extended from the surface crack; g - beech - RS1; h - detail of extensive inner decay caused by extensive cracking

Evaluarea distructivă efectuată după 7 ani de expunere, prin secționarea probelor, a oferit posibilitatea de a vedea dacă și în ce mod fenomenele de suprafață au afectat zona internă. Unele aspecte de degradare internă a probelor selectate sunt prezentate în Fig.6.

Examinând imaginile se poate observa că, în general, degradarea biologică a evoluat de la suprafață spre interiorul probelor. De exemplu, putregaiul care a apărut în zona cepului s-a dezvoltat de-a lungul fibrelor probei, afectând mai mult de jumătate din lungimea sa, la probele de fag netratate (Fig. 6a, b). Același lucru a putut fi observat în cazul discolorărilor datorate ciupercilor de albăstreală, fenomenul evoluând de la suprafață spre interiorul probelor, fiind mai accentuat în jurul fisurilor și crăpăturilor din lemn, precum și pe razele medulare (Figura 6a, b, c). Pentru multe probe desprinderea sau crăparea peliculei de sigilare inițială a capetelor probelor (opuse cepului), au provocat ample crăpături în această zonă și o cale ușoară pentru pătrunderea apei și a dezvoltării fungice (Fig. 6d). Crăparea lemnului, ca rezultat al umflărilor și contragerilor repetate, nu a facilitat doar o degradare interioară prin pătrunderea apei, ci a putut constitui principala cauză pentru putregaiul interior, observat ca discolorare caracteristică în faza incipientă (Fig. 6e, f) sau degradare caracteristică avansată a structurii (Fig. 6g, h). Acest lucru dovedește faptul că instabilitatea dimensională a lemnului de fag și crăparea excesivă în condiții de exterior reprezintă un punct-cheie în abordarea și dezvoltarea tehnologiilor adecvate de tratare.

Notarea discolorării interne și a putregaiului relevat prin evaluare distructivă, a condus la datele (valorile medii pe variantă de tratare) prezentate în Fig. 7.

Se poate observa că discolorarea internă a fost prezentă pentru toate probele, cu unele mici diferențe datorate efectului posibil al tratamentului de bio-protecție aplicat. Putregaiul intern a fost de asemenea prezent, ca urmare a răspândirii din zona cepului sau cauzat de crăparea lemnului ce a facilitat pătrunderea apei în interiorul lemnului. Au existat unele diferențe în gradul de dezvoltare a putregaiului între probele tratate în mod diferit, dar este evident că tratamentele de suprafață aplicate au avut doar un efect limitat de protecție pe o perioadă lungă de expunere (7 ani) și că promovarea pătrunderii apei prin crăparea lemnului în partea interioară a probelor, în fapt netratată, a influențat în mod semnificativ dezvoltarea putregaiului.

The destructive evaluation performed after 7 years of exposure, by sectioning the samples, offered the possibility to actually see if and how the surface phenomena affected the inner area. Some aspects of internal degradation of selected samples are presented in Fig. 6.

Examining the pictures it can be seen that generally biological degradation evolved from the surface towards the inside of the samples. For instance, decay which appeared in the tenon area developed along the grain within the sample affecting more than half of its length for untreated beech specimen (Fig. 6a, b). The same thing could be observed for discoloration by staining fungi, the phenomenon evolving from the surface towards the inside of the samples being more accentuated around the fissures and cracks in wood as well as on the parenchyma rays (Fig. 6a, b, c). For many samples the detachment or crack of the protection film, originally sealing the cross-cut end of the test samples (opposite the tenon), caused extensive cracking in this area and an easy way for water ingress and fungal development (Fig. 6d). Wood cracking, as result of repeated swelling and shrinking, not only promoted inner degradation by water ingress, but could also act as the main reason for inner decay observed as distinct characteristic discoloration in incipient phase (Fig. 6e, f) or advanced characteristic structure degradation (Fig. 6g, h). This proves the fact that the dimensional instability of beech wood and its extensive cracking in outdoors conditions is a key point to address in developing adequate treating technologies.

Rating of internal discoloration and decay revealed by destructive evaluation lead to the data (mean values per treating variant) presented in Fig. 7.

It can be observed that for all the samples internal discoloration was present, with some small differences due to the possible effect of bio-protection treatment applied. Internal decay was also present as result of spreading from tenon area or caused by wood cracking promoting ingress of water inside the wood. There were some differences in decay rating between the differently treated samples, but it is obviously that the surface treatments applied had only a limited protective effect over long time exposure (7 years) and that wood cracking promoting water ingress in the inner part of the samples, actually untreated, significantly influenced decay development.

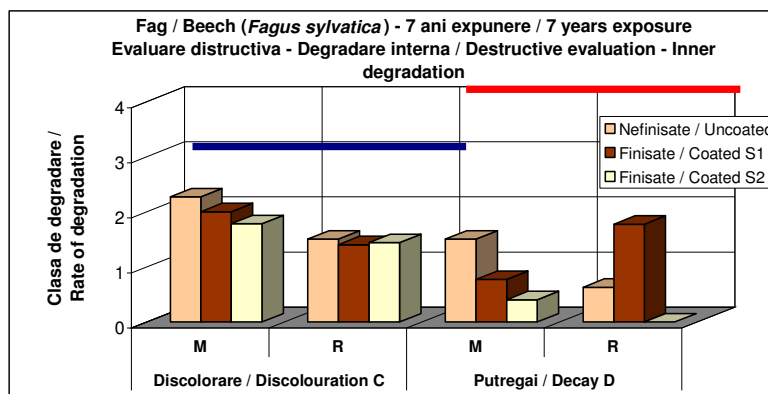


Fig. 7

Influența tipului de tratament asupra degradării interioare a probelor din testul L-joint după 7 ani de expunere: discolorare și putregai. M- mator netratate și finisate; R- probe tratate cu un produs de protecție și finisate /

Influence of type of treatment on the internal degradation of the L-joint test samples after 7 years exposure: discolouration and decay. M- control samples without bio-protection, R- samples treated with a reference biocide.

CONCLUZII

Degradarea lemnului de fag în condiții de exterior, deasupra solului, este un proces complex indus atât de factorii biotici cât și de cei abiotici. Principalele fenomene de degradare observate în timpul unui test în teren de 7 ani au fost discolorări provocate de ciupercile de mușegai și albăstreală, putregai în zona cepului, putregai izolat de suprafață și crăpături extinse în lemn.

Cumularea datelor de la 7 evaluări la intervale diferite de timp în decursul a 7 ani de expunere, a relevat secvențe caracteristice de degradare. Pentru lemnul netratat de fag acestea au fost discolorarea datorată ciupercilor de discolorare (deja extinsă după 9 luni), crăparea (deja prezentă după 9 luni și în continuă evoluție în timp) și putregaiul (care apare după 4 ani în zona cepului și după 5 ani pe suprafața superioară exterioră).

Timpul de inducție pentru apariția acestor degradări și severitatea acestora a depins de tratamentul aplicat. În general, bio-protecția suprafeței și finisarea au întârziat aceste fenomene de degradare, dar nu au putut oferi o protecție eficientă pe o perioadă lungă de expunere. Astfel, în cazul probelor cu cel mai bun comportament (RS2 - tratate cu un produs pe bază de Cu-Cr și ulterior finisate cu un email alchidic alb), o ușoară discolorare a suprafeței și a cepului a apărut numai după 16 luni de expunere și a evoluat în mod semnificativ mai lent în timp, până la o valoare apropiată de 3 în 7 ani. Crăpături s-au înregistrat numai după 36 de luni și au rămas la cel mai mic grad după 7 ani, în timp ce putregaiul din zona cepului (grad 0,4) a apărut numai după 5 ani de expunere și a evoluat foarte lent în timpul celor 7 ani de expunere. Nu a fost înregistrat putregai pe fețele

CONCLUSIONS

Degradation of beech wood in exterior, above ground conditions is a complex process induced by both biotic and non-biotic factors. The main degradation phenomena observed during a 7 years field test were discolouration by mould and staining fungi, decay in the tenon area, isolated surface decay and extensive wood cracking.

Commutation of data from 7 evaluations at different periods of time up to 7 years revealed the characteristic sequences of degradation. For untreated beech wood these were discolouration by staining fungi (already extensive after 9 months), cracking (already present after 9 months and continuously evolving in time) and decay (appearing after 4 years in the tenon area and after 5 years on the external upper surface).

The induction times for the appearance of these degradations and their severity depended on the treatment applied. Surface bio protection and coating generally delayed these degradation phenomena but could not provide an efficient protection over a long exposure period. Thus for the samples with the best behaviour (RS2 – treated with a Cu-Cr preservative and further coated with alkyd white enamel) slight surface and tenon discolouration appeared only after 16 months of exposure and evolved significantly slower in time up to a value close to 3 in 7 years. Surface cracking was registered only after 36 months and remained at the lowest rate after 7 years, while decay in the tenon area (rate 0.5) appeared only after 5 years of exposure and evolved very slowly until 7 years of exposure. No decay of the external faces was registered for these samples, though discolouration

exterioare pentru aceste probe, deși discolorările au devenit semnificative și pătrunderea mucegaiului și ciupercilor de albăstreală prin pelicula de finisare a început să afecteze integritatea și aderența acestei pelicule.

Situația reală în expunere a zonei evaluate, în corelație cu riscul de umezire, respectiv zona internă a îmbinării, suprafața exterioară superioară, fețele laterale, fața inferioară, a fost, de asemenea, importantă în apariția și evoluția diferitelor fenomene de degradare. Suprafețele exterioare superioare, direct expuse la ploaie și soare, au fost mai sensibile la discolorare prin atacul ciupercilor de mucegai și albăstreală și au suferit crăpături extinse, în timp ce putregaiul s-a dezvoltat mai ales în zona cepului. Efectele factorilor de mediu pentru probele nefinisate sau degradarea peliculelor de finisare au fost, de asemenea, mai accentuate pe suprafețele superioare.

Evaluarea distructivă, după 7 ani de expunere a oferit o reală introspectivă în degradarea internă a lemnului, prin evidențierea putregaiului intern și a discolorărilor, ca rezultat al dezvoltării din zona cepului sau de la suprafața probelor spre interiorul acestora. Crăparea lemnului a promovat sau chiar a cauzat putregaiul intern și discolorările. Sigilarea capetelor probelor a fost distrusă în timp pentru multe probe, astfel încât pătrunderea apei și crăparea intensă în această zonă a provocat, de asemenea, dezvoltarea discolorărilor și a putregaiului intern.

Diversificarea și extinderea utilizărilor lemnului de fag (*Fagus sylvatica* L.) pentru aplicații în exterior, deasupra solului (clasa de utilizare UC3) este condiționată de tratamente adecvate pentru a întârzia și a reduce degradarea. Studiarea și înțelegerea fenomenelor complexe de degradare care iau naștere în timp, în aceste condiții, precum și o evaluare realistă a eficienței tratamentelor de protecție utilizând teste adecvate în teren sunt puncte cheie pentru o abordare corectă. În acest sens, prezenta lucrare îmbogățește baza de date disponibilă privind degradarea lemnului de fag în condiții de exterior, deasupra solului și potențialul unor tratamente superficiale de protecție aplicate pentru aplicații în condițiile UC3. Cercetarea de față demonstrează, de asemenea, versatilitatea și utilitatea testului tip L-joint modificat pentru monitorizarea în teren, pe perioade lungi de timp, a degradării complexe, interdependente a lemnului și a peliculelor de finisare în condiții de expunere în exterior, deasupra solului.

became significant and the penetration of the mould and staining fungi through the coating film started to affect the integrity and adherence of the coating film.

The actual exposure situation of the evaluated area in correlation to the risk of wetting: inner joint area, external upper surface, lateral faces, lower face was also important in the apparition and evolution of the different degradation phenomena. The external upper surfaces directly exposed to rain and sun were the most sensitive to discolouration by stain and mould fungi and suffered extensive cracking, whilst decay developed especially in the tenon area.

Weathering effects of uncoated surfaces or degradation of coatings were also most accentuated on upper surfaces.

The destructive evaluation after 7 years of exposure offered a real insight into wood degradation by revealing internal decay and discolouration as result of progress from the tenon area or from the surface of the samples towards the interior of the samples. Wood cracking promoted or even caused internal decay and discolouration. End sealing was destroyed in time for many test samples so that ingress of water and extensive cracking in this area also caused development of inner discolouration and decay.

Diversification and extension of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) uses towards outdoors, above ground applications (UC3) is conditioned by adequate treatments to delay and reduce degradation. Studying and understanding the complex degradation phenomena occurring in time under these conditions and a realistic evaluation of the efficiency of the protective treatments employing appropriate field tests are key points to address. With this respect the present paper enriches data basis available on the degradation of beech wood in exterior, above ground conditions and the potential of protective surface treatments applied for UC3 uses. It also demonstrates the versatility and utility of the modified L-joint test employed for in field monitoring, over long periods of time, the complex and interdependent degradation of wood and coatings in outdoors, above ground exposure.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

Beldean E (2007a) Aspects of wood degradation and effects of surface impregnation of beech and fir wood with reactive resins revealed by a modified L-joint test, In: Proceedings of the Third European Conference on Wood Modification Cardiff UK pp. 221-224 ISBN 184-220-096-8.

Beldean E (2009) Dimensional Stabilisation of Wood - A Practical Issue of Topical Interest. In PRO LIGNO vol. 5(4):45-52.

Eaton R.A, Hale M.D.C (1993) Wood decay, pests and protection. Chapman & Hall, London.

Francis L.P, R.L. Mc. Gavin (2008) Evaluation of wood characteristics of tropical post mid rotation plantation *Eucalyptus cloeziana* and *E. Pellita*: Part (a) Natural durability of timber Forest&wood Products Australia Project No PN07.3022/2008.

Hon, D.N.S (2001) Weathering and photochemistry of wood. In: Hon D.N.S. Shiraishi N. (eds): *Wood and cellulose chemistry*. Dekker New York: 513–546.

Pfeffer A, Hoegger P.J, Ku U, Militz H (2012b) Fungal colonisation of outside weathered modified wood *Wood Science and Technology* nr. 46:63–72.

Pfeffer A, Mai C, Militz H (2012a) Weathering characteristics of wood treated with water glass, siloxane or DMDHEU. *Eur. J. Wood Prod.* nr. 70:165–176.

Sam WR (2005) Handbook of wood chemistry and wood composites Boca Raton : CRC Press, 2005: pp. 139-185.

Timar M.C, Beldean E (2006) Aspects of wood degradation revealed by a modified L-joint test In: Bulletin of Transilvania University of Brasov vol. 13(48):335-342.

Timar M.C, Beldean E, Mihai D (2005) Opportunities and limits of wood improvement by surface treatment with reactive resins Proceedings of the Second European Conference on Wood Modification Goettingen pp. 178-185 ISBN 3-00-017207-6.

Timar M.C, Beldean E, Zeleniuc O, Varodi A. (2012) An Insight Into Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.) Degradation in Outdoors, Above Ground, Long-time Exposure. Part 1: Degradation and Influence of Surface Treatments Revealed by Non-Destructive Evaluation after 7 Years PRO LIGNO Vol. 8(2):37-52.

Van Acker J, Stevens M (1997) A new concept for the evaluation of wood durability for out of ground contact using accelerated L-joint testing *IRG/WP 97-20123* Stockholm Sweden.

Van Acker J, STEVENS M (2003) Biological durability of wood in relation to end-use--Part 2: The use of an accelerated outdoor L-joint performance test. *European Journal of Wood and Wood Products* 61(2):125-132.

SR EN 330. (1997) Wood preservatives. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative for use under a coating and exposed out-of-ground contact. L-joint method.

www.Policolor.ro