

**EVIDENȚIEREA DEFORMAȚIILOR LA
NIVEL ATOMIC UTILIZÂND FT- IR PENTRU
DETERMINAREA GRUPELOR
FUNCȚIONALE DIN LEMN CARE PREIAU
SOLICITARILE**

**ATOMIC- LEVEL STRAIN SENSING
USING FT- IR TO DETERMINE THE
LOAD-CARRYING GROUPS OF WOOD**

Yukie SAITO

Associate Professor, Ph.D. - University of Tokyo - Graduate School of Agricultural and Life Sciences
Adresa/Address 113-8657 Tokyo, Japan
E-mail: aysaito@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

Rezumat:

Lucrarea își propune aprofundarea înțelegerii modului de deformare la nivel atomic a componentelor chimici ai lemnului, atunci când sunt supuși la solicitări de tracțiune statică. Spectroscopia în infraroșu cu Transformată Fourier (FT-IR) a fost utilizată pentru a investiga legăturile care preiau solicitările. Când o legătură este supusă la tracțiune, este de așteptat ca banda de absorbție corespunzătoare să se deplaseze spre un număr de undă mai mic datorită schimbării constantei de forță a legăturii. Acest fenomen a fost observat cu succes pentru câteva benzi de absorbție IR caracteristice legăturilor atomice din lanțul celulozic, sub solicitarea la tracțiune longitudinală a lemnului. În timp ce nivelul de încărcare crește, deplasarea crește liniar. Banda la 1161 cm^{-1} atribuită punții C-O-C, a prezentat cea mai mare deplasare dintre benzile considerate. Aceasta este legătura care, foarte probabil, este cel mai puternic solicitată în încercări de tracțiune, fiind elementul structural ce preia și transmite sarcina de-a lungul catenei celulozice. Această bandă poate fi utilizată ca senzor intern de solicitare la aplicarea încărcării la tracțiune. Utilizând această bandă ca și senzor, s-a investigat comportamentul grupelor hidroxil în mediu umed pe probe deuterate și s-au evidențiat modalități diferite de comportare.

Cuvinte cheie: lemn; evidențiere deformații; FT-IR sub tracțiune statică.

INTRODUCERE

Sub solicitare de tracțiune, benzile de absorbție din spectroscopia în infraroșu (IR) și Raman se deplasează datorită deformării legăturilor inter-atomice ale lanțului molecular (Wu 1989). Prin urmare, spectroscopia pe probe sub tracțiune poate arăta cum și care legătură este solicitată. Există două metode pentru tracțiune, statică și dinamică. Grafitul (Bowden 1993) și polimerii (Wu 1989; Rodriguez-Cabello 1995) au fost testate la tracțiune statică și au fost evidențiate deformațiile. Pe de altă parte, în solicitări dinamice la tracțiune cu vibrații de 400Hz analiza de corelație bi-dimensională din spectroscopia IR a evidențiat cum conținutul de umiditate influențează transferul încărcării în lungul catenei moleculei de celuloză (Hofstetter 2006). Pentru celuloza solicitată în lungul catenei, au fost calculate teoretic constanta de vibrație, iar valorile deplasării benzilor IR și Raman a fost calculată teoretic (Tashiro 1991).

Abstract:

This paper aims at gaining a better understanding of the atomic-level strain of wood components under static tension. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) was used to investigate load-carrying bonds. When a bond is under tension, the band is expected to shift to a lower wavenumber due to change of the force constant of bonding. This phenomena was successfully observed with several IR bands caused by parallel atomic bonds in a cellulose chain, under tensile stress along the L-direction of a wood. As the level of stress increased, the shift increased linearly. Especially, the band occurring at 1161 cm^{-1} , assigned to bridge C-O-C, showed the largest shift among the bands. Because it is likely to be more affected under tensile stress as a load carrier along the cellulose chain's backbone. This band can be useful as an internal strain sensor on applying a tensile stress. By using this as sensor hydroxyl groups in moisture were investigated with deuterium exchanged specimens and the different behaviors were investigated.

Key words: wood; strain sensing; FT-IR under static tension.

INTRODUCTION

Under tensile stress, infrared (IR) and Raman spectroscopy band shifts due to distortion of atomic bonds of the molecular chain (Wu 1989). Therefore, spectroscopy under tension possibly reveals how and which bond is stressed. There are two methods for tensioning, static and dynamic. Graphite (Bowden 1993) and polymers (Wu 1989; Rodriguez-Cabello 1995) were statically tensioned and the strains were detected. On the other hand, under dynamical tension with vibration of 400 Hz two-dimensional correlation analysis on IR spectroscopy revealed how the moisture content affects load-transfer on cellulose molecular backbone (Hofstetter 2006). For cellulose I stressed in the chain direction the vibration constant and the shift value of the IR and Raman bands were theoretically calculated (Tashiro 1991).

Previously, the author has successfully observed the stress-responding phenomenon with highly crystalline β chitin (Saito 2011). When an

Anterior, autorul a observat cu succes fenomenul de reacție la solicitare pentru β chitina cu grad mare de cristalinitate (Saito 2011). Când filmul de chitină orientat axial a fost întins, a fost întinsă în special puntea de oxigen C-O-C și a fost observată o creștere a numărului de undă. De asemenea, au fost identificate grupările -OH implicate în diferite tipuri de legături de hidrogen prin comportamentul diferit detectat prin spectroscopia IR pe probe supuse la tracțiune aplicată în direcția catenei macromoleculare. Aceste rezultate au arătat că spectroscopia IR pe probe sub solicitare este utilă pentru a investiga distribuția solicitărilor în materiale la nivel atomic.

De data aceasta, metoda a fost aplicată la o probă din lemn. Nu au fost raportate anterior cercetări de determinare a distribuției solicitării statice în lemn utilizând spectroscopia IR în transmisie, foarte probabil datorită dificultății preparării probelor de lemn foarte subțiri, similare unor pelicule, care să permită această investigație. Oricum, datorită utilizării lemnului în construcția de locuințe ar fi util să se testeze, pe o probă subțire comportarea la solicitare statică comparativ cu solicitarea dinamică. Astfel, au fost tăiate, cu microtomul, secțiuni subțiri de lemn, care au fost supuse la tracțiune statică în direcția longitudinală și a fost detectată deplasarea benzii utilizând spectroscopia IR prin transmisie.

MATERIALE ȘI METODĂ

1. Prepararea probelor din lemn

S-a utilizat cedru japonez (*Cryptomeria japonica*). Utilizând un microtom cu sanie, epruveta cu dimensiunile de 5 (R) x 30 (L) mm a fost feliată cu grijă, cu secțiuni tangențiale clare care au fost atent tăiate să fie, pe cât posibil, paralele la axa longitudinală. Grosimea secțiunilor a fost de 20 μ m, ce corespunde cu lățimea câtorva celule. Secțiunile subțiri au fost fixate la capete în structuri sandwich între o pereche de plăci suport înțeleite cu rășină Araldite (Fig. 1).

Pentru a face o distincție între diferitele tipuri de legături de hidrogen din punct de vedere al accesibilității pentru umiditate, epruvetele au fost deuterate la 150°C cu vapori de apă deuterată sub presiune pentru 1 h, apoi expuse în atmosferă umedă (cu vapori de H₂O) cu umiditate relativă de 65%, la temperatura camerei (20°C). Grupările -OD rămase neschimbate și grupările -OH reformate (prin schimb D cu H) după acest tratament, au fost atribuite ca fiind grupe de hidrogen inaccesibile, respectiv accesibile.

axially oriented chitin film was stretched, the C-O-C bridge oxygen in particular was stretched and the increase of wave number was observed. Also the differently hydrogen bonded -OH groups were distinguished by the different behavior detected by IR spectroscopy with static tension applied in the direction of the chain. These results showed that IR spectroscopy under stress is useful to investigate the atomic leveled stress distribution in materials.

This time the method was applied to a wood specimen. There was previously not an example of the trial with wood for static tensioning on film-like thin specimen and detect the atomic-level stress by using transmittance of IR spectroscopy, probably due to the difficulty of preparing a specimen. However it would be advantageous to test static tensioning on a thin specimen compared to dynamic tensioning because of the use of wood in building constructions. Thus the thin section of wood sliced by microtome and was statically tensioned in the direction of the wood cell axis and the band shift was detected by using IR spectroscopy in transmittance mode.

MATERIALS AND METHODS

1. Preparation of the wood specimen

Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) was used. The sample of 5 (R) x 30 (L) mm was carefully sliced to accurate tangential sections which were cut to be as close as possible to being parallel to the longitudinal axis by using a sliding microtome. The thickness of the section was approximately 20 μ m, corresponding to the width of few cells. Both sides of the sections were sandwiched by a pair of board pieces and glued by Araldite resin (Fig. 1).

In order to distinguish hydrogen bonds by accessibility by moisture, the sample was deuterated at 150°C and at the deuterate water vapor pressure for 1 h, and then exposed to atmospheric H₂O moisture at 65% of relative humidity at room temperature (20°C). The remained -OD and the reexchanged -OH in the sample after the treatment were assumed to be inaccessible and accessible hydrogen groups, respectively.

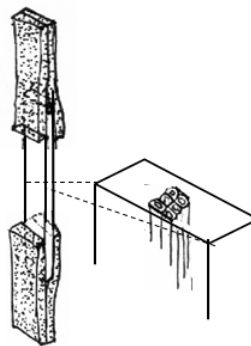


Fig. 1.

Desenul schematic al probei pentru spectroscopia IR sub solicitare /
Schematic drawing of the specimen for IR spectroscopy under tensioning.

2. Masurarea IR sub solicitare

Măsurătorile IR au fost realizate utilizând spectrometrul FT-IR Nicolet Magna 860. Toate spectrele a fost înregistrate în modul de transmisie cu o rezoluție de 2 cm^{-1} în atmosferă de azot gazos pentru a evita semnalul de zgomot datorat apei H_2O în aer.

Pentru măsurătorile sub tracțiune statică ambele capete ale epruvetei fixate în plăcile de susținere au fost fixate într-un echipament pentru încercări la tracțiune echipat cu un senzor de tensiune și un înregistrator. Epruvetele au fost supuse la întindere longitudinală de-a lungul catenei macromoleculare, iar raportul aparent al alungirii a fost măsurat utilizând un micrometru atașat la aparatul de întindere. Măsurătorile au fost realizate la temperatura camerei (20°C).

REZULTATE

Fig. 2 prezintă spectrele IR ale probei nesupusă la solicitare și alungită prin tracțiune la o alungire maximă de 0,11%. Spectrele clare indică faptul că probele au fost tăiate corespunzător, au suprafață netedă și sunt suficient de subțiri pentru a asigura o transparență suficientă în infraroșu.

Observarea atentă a spectrelor a evidențiat că la tracțiunea probei unele benzi au fost deplasate. Banda la 1161 cm^{-1} atribuită întinderii antisimetrice a punții de oxigen C-O-C s-a deplasat remarcabil la tracțiune (Fig. 3). Când raportul de întindere s-a modificat secvențial astfel: 0%, 0.11%, 0%, 0.11%, 0.06%, 0.09%, 0.11%, poziția de vârfului acestei benzi s-a schimbat secvențial astfel: $1161.1, 1159.2, 1161.1, 1159.6, 1161.1, 1160.6, 1159.4, 1159.9\text{ cm}^{-1}$. Aceasta a indicat că banda corespunzătoare punții de oxigen C-O-C a sesizat bine solicitarea de tracțiune. Când raportul alungirii a fost 0,11%, deplasarea benzii a atins valoarea de 2 cm^{-1} . În ultimul interval eșantionul a clivat și vârful benzii de absorbție a revenit la poziția inițială pentru proba nesolicitată.

Diferențele deplasărilor vârfului au fost clar detectabile utilizând opțiunea de autodeconvoluție Fourier (FSD). Fig. 4 prezintă zona în care vârfurile au fost deplasate evident sub tracțiune. Vârfurile la $1161, 1107$ și 1058 cm^{-1} sunt considerate a fi: întindere antisimetrică a punții de oxigen C-O-C, întindere antisimetrică în fază a inelului și, respectiv, întinderea C-O. Pe de altă parte, nu a fost observată nici o schimbare la unele vârfuri, cum ar fi întindere antisimetrică a grupării CH_2 la 2936 cm^{-1} și întindere a grupării CH la 2901 cm^{-1} (Fig. 5). Tabelul 1 prezintă deplasările sub solicitarea la tracțiune. Este clar că valoarea diferită a deplasării depinde de tipurile de benzi de absorbție IR.

FSD a fost aplicat pentru epruvete tratate cu D_2O . Prin utilizarea benzii 1161 cm^{-1} sensibilă la solicitare ca și senzor intern de tensiune la aplicarea solicitării de tracțiune, au fost investigate deplasările grupelor hidroxil pe probel deuterate. A rezultat că grupele hidroxil (-OH) inaccesibile s-au comportat în diferite moduri sub solicitarea la tracțiune.

2. IR measurement under tension

The IR measurements were performed using a Nicolet Magna 860 FT-IR spectrometer. All spectra were recorded in the transmission mode with a resolution of 2 cm^{-1} under flowing dry N_2 gas to alleviate the noise caused by H_2O in the air.

For the measurements under static tension both ends of the samples covered with the board pieces were held in a stretcher equipped with a pressure gauge and a data logger. The samples were stretched along the chains length and the apparent stretching ratio was measured by using micrometer attached to the extension apparatus. The measurement was carried out at room temperature (20°C).

RESULTS

Fig. 2 shows the spectra of the sample without tension and extended to a maximum stretching of 0.11%. The spectra are quite clear indicating that the specimen was sliced with a smooth cut surface and sufficiently thin and the transparency to infrared was also sufficient.

Precise observation, reveals that some of bands were shifted by tensioning the specimen. The band of 1161 cm^{-1} assigned to antisymmetric bridge oxygen stretching of C-O-C remarkably shifted by tensioning (Fig. 3). When the stretching ratio was changed in the sequence of 0%, 0.11%, 0%, 0.11%, 0.06%, 0.09%, 0.11%, the peak position of this band changed to the value of $1161.1, 1159.2, 1161.1, 1159.6, 1161.1, 1160.6, 1159.4, 1159.9\text{ cm}^{-1}$ in sequence. This indicated the band of the bridge oxygen C-O-C responded well to the tensile stress. When the strain ratio was 0.11%, the shift amount reached 2 cm^{-1} . At the last stage the specimen cleaved and the peak returned to the first position as the unloaded state.

The differences of peak shifts were detectable clearly by using Fourier-self-deconvolution (FSD). Fig. 4 shows the area where peaks were shifted remarkably under tensioning. The peaks at $1161, 1107$ and 1058 cm^{-1} are considered to be antisymmetric bridge oxygen stretching C-O-C, antisymmetric in-phase ring stretching and C-O stretching, respectively. On the other hand, no change was observed with some peaks, such as CH_2 antisymmetric stretching at 2936 cm^{-1} and CH stretching at 2901 cm^{-1} (Fig. 5). Table 1 indicates the shifts under tensile stress. It is clear that shift value differs depending on the kinds of the bands.

FSD was applied for the D_2O treated sample. By using the stress-sensitive 1161 cm^{-1} band as internal strain sensor on applying a tensile stress, the shifts of hydroxyl groups were investigated with deuterium exchanged specimen. It was indicated that inaccessible hydroxyl groups (-OH) behaved in different ways under the tensile stress.

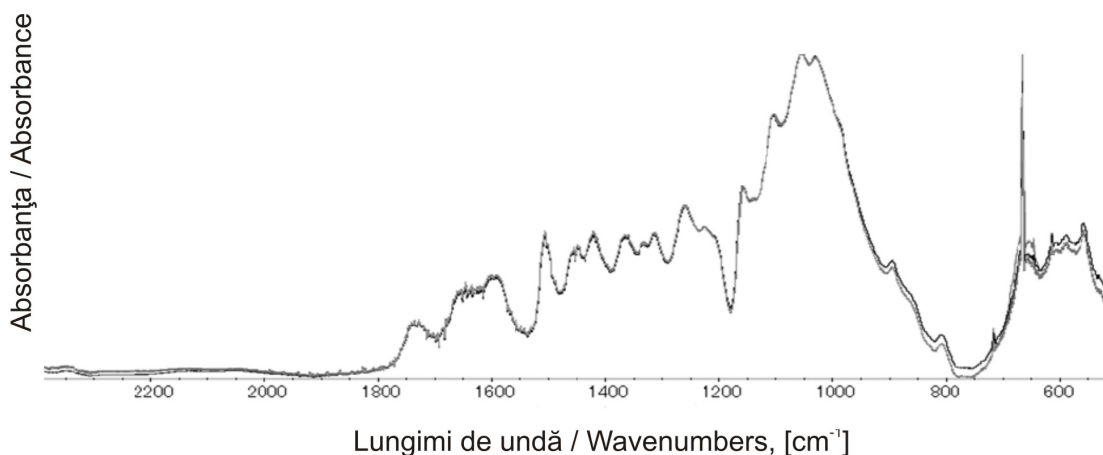
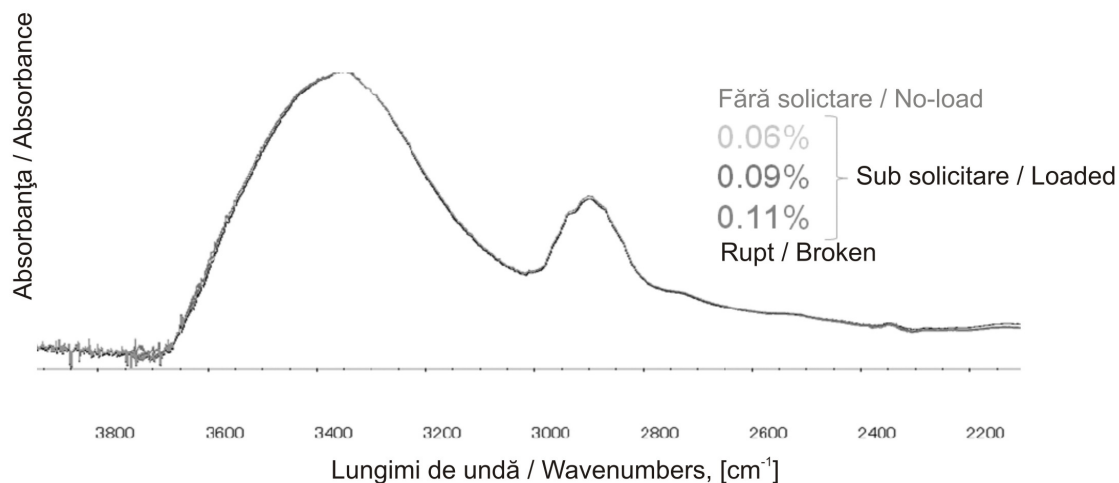


Fig. 2.
Spectrele FT-IR ale epruvetei de lemn sub solicitarea la tracțiune aplicată de-a lungul catenei/ FT-IR spectra of a wood sample under applied tensile stresses along the chain.

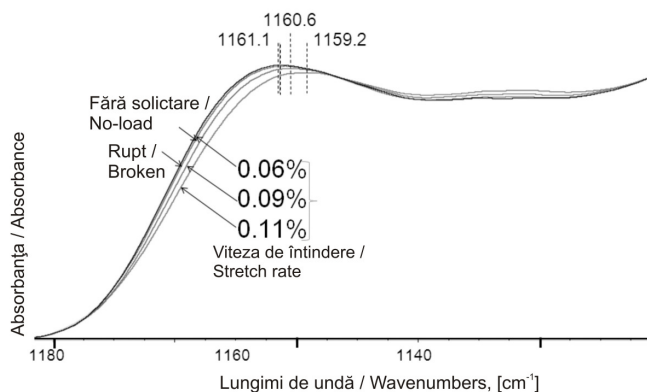


Fig. 3.
Banda FT-IR a punții C-O-C a epruvetei din lemn sub solicitarea la tracțiune aplicată pe direcție longitudinală / FT-IR band of bridge C-O-C of a wood sample under applied tensile stressed along L-direction.

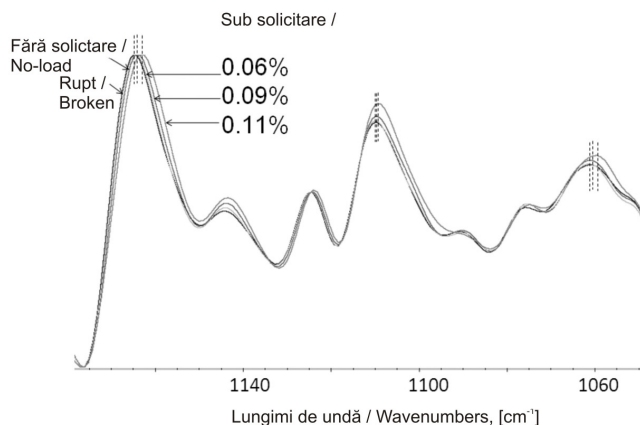


Fig. 4.

FSD al benzilor sensibile la solicitare: întindere antisimetrică în fază inel la 1107 cm⁻¹ și întindere C-O la 1058 cm⁻¹ pentru probele din lemn sub solicitarea la tracțiune aplicată pe direcție longitudinală / FSD of the stress-sensitive bands such as antisymmetric in-phase ring stretching at 1107 cm⁻¹ and C-O stretching at 1058 cm⁻¹ observed for a wood specimen under applied tensile stresses along L-direction.

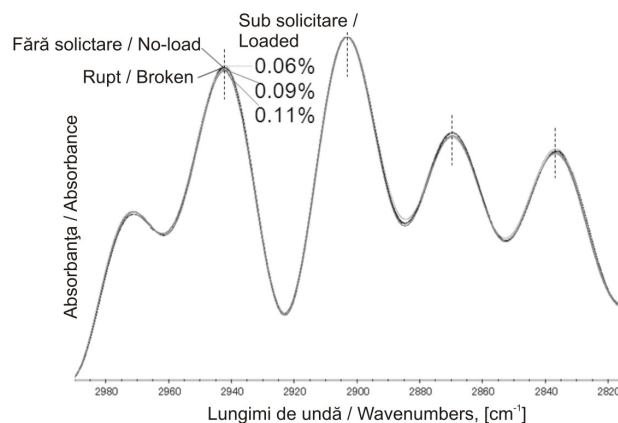


Fig. 5

FSD al benzilor sensibile la solicitare: ca întindere antisimetrică CH₂ la 2936 cm⁻¹ și întindere CH la 2901 cm⁻¹ pentru probele din lemn sub solicitarea la tracțiune aplicată pe direcție longitudinală / FSD of the stress-senseless bands such as CH₂ antisymmetric stretching at 2936 cm⁻¹ and CH stretching at 2901 cm⁻¹ observed for a wood specimen under applied tensile stresses along L-direction.

DISCUȚII

Deplasarea benzilor IR sub tracțiune statică poate fi interpretată teoretic în felul următor: în concordanță cu principiul vibrației normale, numărul de undă ν_{AB} al vibrației de întindere a benzii între atomul A și atomul B, este redată prin ecuația cunoscută,

$$\nu_{AB} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k_{AB}}{M_A M_B / (M_A + M_B)}} \quad (1)$$

unde c este viteza luminii, k_{A-B} este constanta de forță a legăturii, iar M_A și M_B sunt masele celor doi atomi.

DISCUSSION

The shift in IR bands under static tension can be interpreted theoretically as follows. According to the normal vibration principle, the wavenumber ν_{AB} of a stretching vibration of a bond between atom A and atom B is expressed by the well-known equation,

$$\nu_{AB} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k_{AB}}{M_A M_B / (M_A + M_B)}} \quad (1)$$

where c is the velocity of light, k_{A-B} is the force constant of bonding, and M_A and M_B are masses of the two atoms.

Această ecuație arată că ν_{AB} crește cu creșterea lui k_{AB} . Când o legătură este întinsă, de exemplu printr-o forță de tracțiune, în general k_{AB} este de așteptat să fie slăbită și în consecință ν_{AB} să descrească. Aceasta explică de ce aproape toate benzile întinse paralel s-au deplasat spre un număr de undă mai mic când solicitarea la tracțiune a fost aplicată de-a lungul lanțului (Tabelul 1), așa cum este cazul benzii punții C-O-C de la 1161 cm^{-1} (Fig. 3). În contrast, benzile -OH se deplasează spre un număr de undă mare ca urmare a solicitării la tracțiune (Tabelul 1). Aceste variații pot fi explicate astfel: Dacă admitem că atomul B formează o legătură de hidrogen cu un alt atom, atomul C, rezultând legătura A-B...C, atunci dacă forța de tracțiune acționează în direcția AC, distanța dintre A și C crește. Astfel, legătura de hidrogen B...C trebuie să fie slăbită și legătura covalentă A-B să devină în consecință mai puternică. Ca rezultat, valoarea lui k_{AB} crește și prin urmare rezultă o creștere a valorii ν_{AB} . În cazul unde unul dintre atomi dintr-o legătură covalentă, este de asemenea implicat într-o legătură de hidrogen cu un alt atom, solicitarea la tracțiune de-a lungul direcției legăturii, produce creșterea numărului de undă al benzii covalente, ca în cazul grupelor -OH (Tabelul 1). Deplasarea benzii -OH spre un număr de undă mai mare a fost de asemenea observată în cazul β chitinei (Saito 2011).

Legăturile aliniate în direcția catenei macromoleculare, precum puntea C-O-C, suferă probabil deplasări majore deoarece au funcție de preluare încărcare în solicitarea de tracțiune în lungul catenei. În Tabelul 1 se poate vedea modul de atribuire a benzilor de absorbție în IR pentru celuloză. Toate benzile deplasate mai mult de 1 cm^{-1} au fost benzile corespunzătoare unor legături paralele cu axa catenei de celuloză. Benzile corespunzătoare legăturilor paralele cu direcția solicitării au probabil o tendință de deplasare mai mare decât benzile corespunzătoare unor legături perpendiculare pe aceasta.

Spectroscopia sub tracțiune va fi utilă pentru a evidenția influența condițiilor de mediu asupra legăturii la nivel atomic. Aceasta va fi utilă pentru evidențierea directă a distribuției solicitării la nivelul legăturilor între atomi pentru lemn la modificarea încărcării statice și a umidității.

Metoda este aplicabilă și pentru probe groase sau probe masive care sunt netransparente, utilizând spectroscopia cu reflexie totală atenuată (ATR) sau spectroscopia Raman. Dar utilizarea probelor subțiri este avantajoasă, având un răspuns mai puternic la variațiile de umiditate și temperatură care rezultă ocazional la deformarea lemnului sub solicitări statice.

This equation indicates that ν_{AB} increases with the value of k_{AB} . When a bond distance is lengthened, such as by tensile force, in general k_{AB} is expected to be weakened and consequently ν_{AB} decreases. This explains why almost all the parallel stretching bands shifted to a lower wavenumber when the tensile stress was applied along the chain (Table 1), as shown by the bridge C-O-C band occurring at 1161 cm^{-1} (Fig. 3). In contrast, the -OH bands shifted to higher wavenumber following tensile stress (Table 1). This shift can be explained as follows. If we assume that Atom B forms a hydrogen bond with another atom, Atom C, resulting in A-B...C, then if tensile force acts in the direction of AC, the distance between A and C increases. Then the hydrogen bond B...C must be weakened and the covalent bond A-B must strengthen as a consequence. As a result, the value of k_{AB} increases and results in a corresponding increase in the value of ν_{AB} . In the case where one of the atoms in a covalent-bond is also in a hydrogen bond with another atom, the tensile stress along the direction of the bond causes the wavenumber of the covalent bond to increase, as in the case of the -OH groups (Table 1). The -OH band shift to the high wavenumbers was also observed in case of β chitin (Saito 2011).

The bonds aligned close to the chain direction, such as bridge C-O-C, possibly shift strongly due to having a load-bearing function under tensile stress along the chain. In Table 1, tentative assignment referring to cellulose was shown. All of the bands shifted more than 1 cm^{-1} were the parallel bands of cellulose. The bands parallel to the direction of tensile stress probably have a tendency to shift more than do the perpendicular bands.

Spectroscopy under tensioning will be useful to detect environmental influences at the atomic bond level.

This will be useful for direct detection of stress distribution on the atomic bond level of wood under the static changes of stress and moisture.

It also applicable for thick specimens or bulk specimens that are intransparent with attenuated total reflection (ATR) spectroscopy or Raman spectroscopy. But having thin specimens is advantageous, having high responsivity to moisture and temperature which occasionally result in the deformation of wood under static stress.

Tabelul 1 / Table 1

Benzile IR ale probei de lemn și deplasările lor sub aplicarea solicitării la tracțiune în direcție longitudinală / IR bands of the wood specimen and their shifts under an applied tensile stress along the longitudinal direction.

Frecvența de absorbție / Absorption frequency (cm ⁻¹)			Misiunea / Assignment
Fără solicitare / No load	Raportul alungirii / Stretch rate 0.11%	Deplasarea benzii / Shift amount	
3350.7	3353.7	3	Întindere OH, legături hidrogen intermoleculare (3350cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / OH stretching, intermolecular hydrogen bonds (3350cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang, 1959)
2936.2	2936.2	0	Întindere antisimetrică CH ₂ (2933cm ⁻¹ ⊥, 2945cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH ₂ antisymmetric stretching (2933cm ⁻¹ ⊥, 2945cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
2901.3	2901.8	0.5	Întindere CH (2904cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH stretching (2904cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
2873.7	2873.7	0	Întindere CH (2874cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH stretching (2874cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
1733.0	1733.0	0	Apă absorbită (1720cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Tsuboi 1957) / Absorbed water (1720cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Tsuboi 1957)
1640.0	1640.0	0	Apă absorbită (1635cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Fengel 1993, 1630cm ⁻¹ și 1640cm ⁻¹ ⊥ Tsuboi 1957) / Absorbed water (1635cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Fengel 1993, 1630cm ⁻¹ și 1640cm ⁻¹ ⊥ Tsuboi 1957)
1598.0	1598.0	0	Lignină (Michell 1988) / Lignin (Michell 1988)
1508.5	1508.5	0	Lignină (Michell 1988) / Lignin (Michell 1988)
1453.0	1453.0	0	CH la încovoiere plană (1455cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH in-plane bending (1455cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
1423.0	1423.0	0	CH ₂ încovoiere simetrică (1426cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH ₂ symmetric bending (1426cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
1367.0	1367.0	0	Deformare CH (1365cm ⁻¹ pentru celuloză, Tsuboi 1957) / CH deformation (1365cm ⁻¹ for cellulose, Tsuboi 1957)
1334.1	1333.6	-0.5	CH deformare în plan (1335cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Tsuboi 1957) / CH in-plane deformation (1335cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Tsuboi 1957) CH deformare în plan (1336cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH in-plane bending (1336cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
1316.7	1315.1	-1.6	Unduire CH ₂ (1317cm ⁻¹ ⊥ pentru celuloză, Liang 1959) / CH ₂ wagging (1317cm ⁻¹ ⊥ for cellulose, Liang 1959)
1262.0	1262.2	0.2	Lignină (Michell 1988) / Lignin (Michell 1988)
1161.4	1159.2	-2.2	Întindere CO și CC și scuturare CH ₂ (1161cm ⁻¹ pentru celuloză, Tsuboi 1957) / CO and CC stretching and CH ₂ Rocking (1161cm ⁻¹ for cellulose, Tsuboi 1957) Întindere antisimetrică a punții de oxygen (1110cm ⁻¹ pentru celuloză, Liang 1959) / Antisymmetric bridge oxygen stretching (1110cm ⁻¹ for cellulose, Liang 1959)
1106.7	1105.4	-1.3	Întindere CO și CC și scuturare CH ₂ (1106cm ⁻¹ pentru celuloză, Tsuboi 1957) / CO and CC stretching and CH ₂ Rocking (1106cm ⁻¹ for cellulose, Tsuboi 1957) Întindere inelară antisimetrică în fază (1110cm ⁻¹ pentru celuloză, Liang 1959) / Antisymmetric in-phase ring stretching (1110cm ⁻¹ for cellulose, Liang 1959)
1057.8	1057.2	-0.6	Întindere CO (1158cm ⁻¹ pentru celuloză, Liang 1959) / CO stretching (1158cm ⁻¹ for cellulose, Liang 1959)
1034.2	1033.2	-1	Întindere CO și CC și scuturare CH ₂ (1030cm ⁻¹ pentru celuloză, Tsuboi 1957) / CO and CC stretching and CH ₂ Rocking (1030cm ⁻¹ for cellulose, Tsuboi 1957) Întindere CO (1035cm ⁻¹ pentru celuloză, Liang 1959) / CO stretching (1035cm ⁻¹ for cellulose, Liang 1959)
897.7	898.6	0.9	Întindere antisimetrică în afara fazei (895cm ⁻¹ pentru celuloză, Liang 1959) / Antisymmetric out-of-phase stretching (895cm ⁻¹ for cellulose, Liang 1959) C1 frecvență de grup (892cm ⁻¹ pentru celuloză, Liang 1959) / C1 group frequency (892cm ⁻¹ for cellulose, Liang 1959)

Când lemnul a fost feliat, cu ajutorul microtomului, în probe subțiri pentru observații optice, păstrând structura anatomică a fost obținută o secțiune subțire ca un film, care a reținut structura anatomică și care a fost transparent pentru IR. Această metodă care utilizează filmul transparent va fi utilă la studiul aspectelor reologice din peretele celular în sine sub influența condițiilor mecano-sorptive.

CONCLUZII

Deformația legăturii inter-atomice din lemn sub încărcare statică a fost evidențiată cu succes prin spectroscopia IR pe epruvete transparente din lemn de cedru Japonez, tăiate cu ajutorul microtomului, la grosimea de 20 μm. Legăturile care sunt aliniată cvasi-paralele cu direcția, cum ar fi puntea C-O-C, au suferit deplasări considerabile spre un număr de undă mai mic, deoarece au funcția de preluare a sarcinii în solicitarea de tracțiune în lungul catenei. Benzile corespunzătoare legăturilor paralele cu direcția de solicitare la tracțiune au probabil o tendință de deplasare mai mare decât benzile corespunzătoare legăturilor perpendiculare. La aplicarea unei solicitări de tracțiune, aceste benzi sensibile la solicitare pot fi utilizate drept senzori interni de solicitare și pot detecta nivelul de solicitare în mod direct și local.

When the wood was sliced into thin sections by using a microtome for optical observation a film-like section was obtained retaining its anatomical cell structure which was transparent for IR. This method using transparent films will be useful to study rheological aspects of the wood cell wall itself under mechano-sorptive conditions.

SUMMARY

Strain of the atomic bond of wood under static stress was successfully detected by IR spectroscopy of transparent specimen of Japanese cedar wood sliced by microtome to a thickness of 20 μm. The bonds that are aligned close to the chain direction, such as bridge C-O-C, shifted strongly to a lower wavenumber as they have a load-bearing function under tensile stress along the chain. The bands parallel to the direction of tensile stress probably have a tendency to shift more than do the perpendicular bands. On applying a tensile stress these stress sensitive bands are possibly usable as an internal strain sensor and detect the molecular level strain directly and locally.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- BOWDEN, M., GARDINER, D.J., SOUTHALL, J.M. (1993). Determination of bandshifts as a function of strain in carbon-fibers using Raman-microlin-focus-spectrometry (MIFS). Carbon, 31, 1993, 1057-1060.
- FENGEL, D. (1993). Influence of water on the OH valency range in deconvoluted FTIR spectra of cellulose. Holzforschung, 47, 1993, 103-108.
- HOFSTETTER, K., HINTERSOISSER, B., SALMEN, L. (2006). Moisture uptake in native cellulose – the roles of different hydrogen bonds: a dynamic FT- IR study using deuterium exchange, Cellulose, 13, 2006, 131 –145.
- LIANG, C.Y., MARCHESSAULT, R.H. (1959). Infrared spectra of crystalline polysaccharides. 1. Hydrogen bonds in native celluloses. J. Polym. Sci., 37, 1959, 385-395.
- LIANG, C.Y., MARCHESSAULT, R.H. (1959). Infrared spectra of crystalline polysaccharides. 2. Native cellulose in the region from 640 to 1700 cm⁻¹. J. Polym. Sci., 39, 1959, 269-278.
- MICHEL, A.J. (1988). Infrared-spectroscopy transformed – new applications in wood and pulping chemistry. Appita J., 41, 1988, 375-380.
- RDRIGUEZ-CABELLO, J.C., MERION, J.C., JAWHARI, T., PASTOR, J.M. (1995). Rheo-optical Raman-study of chain deformation in uniaxially stretched bulk polyethylene. Polymer, 36, 1995, 4233-4238.
- TASHIRO, K., KOBAYASHI, M. (1991). Theoretical evaluation of three - dimensional elastic constants of native and regenerated cellulose: role of hydrogen bonds, Polymer, 32, 1991, 1516-1526.
- TSUBOI, M. (1957). Infrared spectrum and crystal structure of cellulose, J. Polym. Sci., 25, 1957, 159-171.
- SAITO, Y., IWATA, T. (2011). Characterization of hydroxyl groups of highly crystalline β-chitin under static tension detected by FT- IR, Carbohydrate polymers, accepted.
- WU, G., TASHIRO, K., KOBAYASHI, M. (1989). A study on mechanical deformation of highly oriented poly(methylene) by vibrational spectroscopy and X-ray-diffraction - stress and temperature dependence of young modulus. Macromolecules, 22, 1989, 188-196.

*Traducerea articolului în limba română a fost realizată de /
Translation into Romanian performed by:
Lect.dr.eng. Mihaela POROJAN*