

## Ciocănitorea Mecanica

PETRICEANU Alexandru Daniel, GÎDIUȚĂ Ioana, DIACICOV Călin Marian  
Colegiul Național „Mihai Viteazul”, Profil: matematică-informatică, clasa a 11-a, email:  
[alexandru.daniel.petriceanu@cnmv.ro](mailto:alexandru.daniel.petriceanu@cnmv.ro)

Conducător Științific : Ș.l.dr.ing. Ștefan Constantin PETRICEANU, conf.dr.ing. Dan NIȚOI

### Rezumat

Lucrarea de față se referă la modul în care poate fi simulat și analizat comportamentul ciocănitorei în vederea detectării integrității structurale a pomilor fructiferi, dar și a celor ornamentali din parcuri și/sau alei. Scopul demersului este de a ajuta atât fermele de mărimi mici și medii, dar și inginerii silvicultori să identifice exemplarele cu probleme și să le elimine. În caz contrar vor fi perpetuate pierderile economice ca urmare a producției necorespunzătoare a livezilor dar și riscurile legate de prăbușirile necontrolate ale copacilor. În debutul articolului, din studiul bibliografic au fost selectate articolele cu preocupări similare, reținându-se metodologiile care puteau fi utile prezentului proiect. A fost concepută apoi dezvoltarea teoretică a unei “ciocănitorei mecanice” dotate cu dispozitive de fixare și lovire a lemnului la forțe și impulsuri comparabile cu cele ale unei ciocănitore reale. Dispozitivul va dispune de o parte electronică, de comandă a ansamblului, precum și de una electrică care va efectua mișcările necesare la frecvența, viteza și forța predefinite. De asemenea au fost prevăzuți senzori piezoelectrice care să preia semnalul generat de “ciocănitorea mecanică” și pe care să îl transmită către softul de prelucrare, scris în limbajul de programare C++. Simulările efectuate pe diferite tipuri de lemn cu stări de degradare variabile au dovedit fezabilitatea modelului.

### Introducere

Încă din 2001, se poate nota existența unor prime încercări de a determina degradarea copacilor, la început prin intermediul ultrasunetelor [1], încercându-se o metoda la fel ca cea prezentată în situația de față, neinvazivă, dar mai puțin eficientă, din cauza problemelor de cuplare acustică dintre sonotrod (emițătorul de ultrasunete) și senzorul piezoelectric (receptorul de ultrasunete). De asemenea, s-au încercat și metode ce utilizau tehnica de termografie în infraroșu, care totuși au inconveniente majore pentru că în vederea asigurării acurateții rezultatelor este necesară o intervenție vătămătoare asupra copacului prin afectarea scoarței acestuia. În alt studiu [3] se poate nota încercarea cercetătorilor de a determina când un copac nu mai poate fi salvat din cauza integrității sale scăzute, acest lucru fiind totuși determinat prin taierea copacilor atât sănătoși, cât și a celor bolnavi. De asemenea, în 2017 acest aspect a fost dus un pas mai departe, încercându-se un model mai exact [4]. Cu toate acestea, o analiză a metodelor de a determina dacă un copac este bolnav sau nu a început încă din 1988, când totuși nu erau descoperite toate metodele [5].

### Materiale și metode

#### a) Materiale

Au fost utilizate următoarele materiale Imprimanta 3D Creality cr-10s pro, material PLA, software Fusion 360 (pentru modelul CAD) și Sublime Text 3 (pentru scrierea codului ce face posibilă funcționarea “ciocănitorei mecanice”), servo GoBilda Superspeed (viteza de  $0.15^\circ/\mu\text{sec}$ ), senzor Piezoelectric (frecvența: 6.3 kHz, Impedanță: 1 kOhm, Capacitate Frecvența 10000 pF @ 1 kHz, Tensiune maximă de alimentare

3V ac, Diametru: 20mm), laptop HP Pavillion 15, centura textila cu prindere, lemn (probe standardizate de ex 50 x 50 x 400 mm, secțiune pătrat și secțiune rotundă cu diametrul de 200mm, 400 mm și 600 mm).

## b) Metode

Pentru început a fost elaborat suportul teoretic al sistemului fizico-matematic și au fost modelate și simulate acțiunile pe care o ciocănitore le desfășoară natural atunci când caută larvele sub scoarța de copacilor bolnavi. Din literatura de specialitate au fost identificate relațiile care modelează fenomenele fizice și au fost aranjate corespunzător în vederea utilizării lor ulterioare în software-ul de simulare.

Ecuția de propagare a unei mecanice într-un material este:

$$\Psi(t, x) = A \cdot \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right] \quad [1]$$

Unde:  $t$  – este timpul de propagare,  $x$  – este distanța de propagare,  $A$  – amplitudinea undei,  $T$  – perioada undei,  $\lambda$  – lungimea de undă.

Într-un material solid se pot propaga mai multe tipuri de undă: longitudinale, transversale, Love, Rayleigh, Lamb etc.

Pentru a extrage informații despre starea mediului de propagare a undei trebuie ca să fie cunoscute caracteristicile inițiale ale acesteia (frecvență, amplitudine, viteză de propagare) și să fie comparate cu cele obținute după ce unda parcurge proba. În plus, deoarece în solid există mai multe tipuri de undă care pot fi generate simultan, este nevoie de separarea acestora pentru a fi siguri că se studiază caracteristicile aceleiași unde. Separarea cea mai simplă este realizată prin viteza de propagare, cea mai rapidă undă fiind cea longitudinală și deci prima care ajunge să fie înregistrată de senzorul piezoelectric receptor.

Viteza de propagare a undelor longitudinale în lemn este dată de relația:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [2]$$

unde:  $E$  – modulul de elasticitate longitudinal,  $\rho$  - densitatea materialului.

Sarcina electrica a senzorului Piezoelectric este dată de relația:

$$Q_{xx} = d_{xx} \cdot F_x \quad [3]$$

Unde:  $Q_{xx}$  – sarcina senzorului pe direcția normală la suprafață,  $F_x$  – forța mecanică pe direcție normală,  $d_{xx}$  – constantă de material ( $d_{xx} = -5 \cdot 10^{-9}$  pentru materialul considerat).

Starea de integritate sau de degradare a lemnului va fi evaluată pe baza variației densității acestuia.

Cunoaștem că:

$$F_x \cdot t = m \cdot v \quad [4]$$

Unde:  $m$  - este masa mobilă ce lovește lemnul,  $v$  – reprezintă viteza cu care ajunge în punctul de impact,  $F_x$  – forța de acțiune, pe direcție normală a ansamblului.

Ținând cont de relațiile (2), (3) și (4) se poate deduce că:

$$\rho = \frac{E \cdot m^2}{(Q_{xx}/d_{xx} \cdot t)^2} \quad [5]$$

Unde parametri implicați păstrează semnificațiile anterioare.

Din literatura de specialitate au fost luate valorile pentru modulul de elasticitate longitudinală și densitatea lemnului de molid:  $E = 1100 \cdot 10^6 [N/m^2]$ ,  $\rho_0 = 571 [kg/m^3]$ .

În limbajul de programare C++ a fost scris un program care simulează propagarea undei prin diferite tipuri de lemn degradat. Această degradare este obiectivizată de algoritm prin raportul densităților  $\rho/\rho_0 \cdot 100[\%]$ . Au fost considerate, pentru a fi verificate în practică 3 situații posibile: lemn 100 [%] sănătos, lemn degradat în proporție de 20 [%], lemn degradat în proporție de 40 [%] sau mai mult.

Timpul scurs din momentul în care “ciocănitorea mecanică” lovește proba și până când unda ajunge la senzorul piezoelectric este înregistrat cu o precizie de  $10^{-12}$  secunde.

În vederea optimizării programului experimental au fost mai întâi elaborate și testate virtual diferite variante și configurații de măsurare, având în vedere caracteristicile mai multor tipuri de lemn (rășinos - molid, esență tare – fag, esență moale - plop) cu densități  $\rho_0$  diferite dar și module de elasticitate, respectiv viteze de propagare a undelor longitudinale, specifice.

Câteva secvențe ale codului sursă responsabile de cele afirmate mai sus se prezintă în figura 1.1.

Modelul 3D al “ciocănitorei mecanice” se prezintă în figura 2.1, „ciocanul” este reprezentat în figura 2.2 iar acționarea servo în figura 2.3.

```
#include <Servo.h>
#include <math>
#include <fstream>
#include <ctime>

const int ledPin = 15;
const int piezoSensor = 00;
const int threshold = 100;
const int MAX_TESTS = 15;
const double distance = 11.;

int iter=0;
int state = 0;

std::chrono::duration<double> elapsed_seconds;
std::ofstream fout("valori.txt");

Servo ciocanitoare;

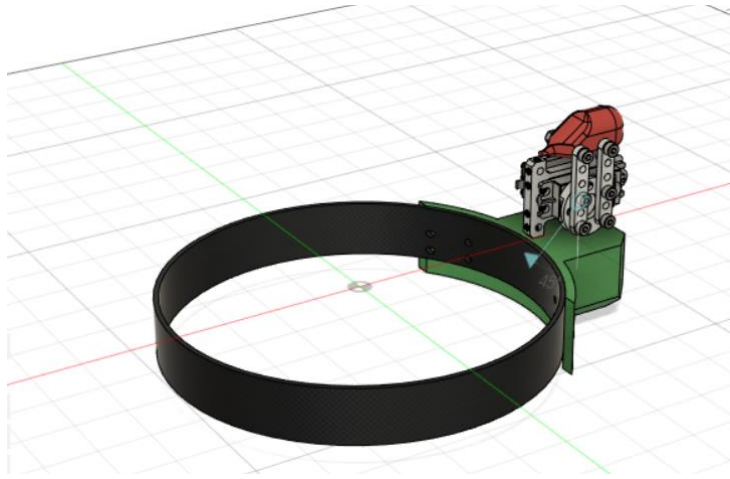
double transform (int voltage) {
    double q = voltage/distance;
    return q;
}

void setup() {
    ciocanitoare.attach(0);
    ciocanitoare.write(0);
    delay(15);
}

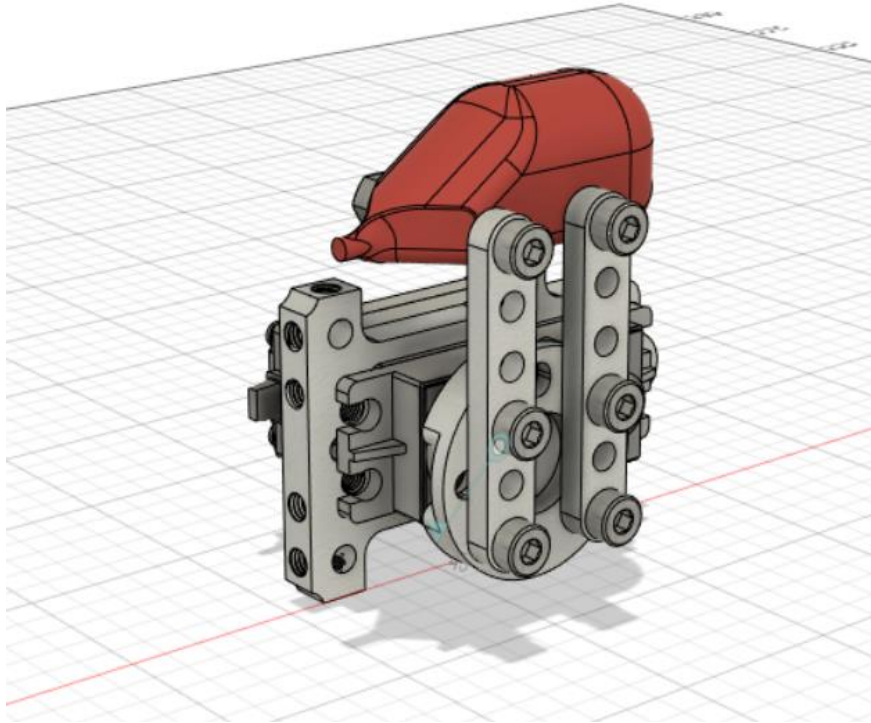
void loop() {
    if(state==0) {
        ciocanitoare.write(15);
        delay(15);
        auto start = std::chrono::system_clock::now();
        auto end = std::chrono::system_clock::now();
        elapsed_seconds = end-start;
        state = 1;
        ciocanitoare.write(0);
    }
    if(state==1) {
        int reading = analogRead(piezoSensor);
        if(reading >= threshold) {
            fout << transform(reading) << ' ' << elapsed_seconds << '\n';
            delay(1000);
            iter++;
            if(iter>MAX_TESTS)
                state = 2;
            else
                state = 0;
        }
        delay(100);
    }
    if(state==2) {
        return;
    }
}

1 #include <fstream>
2 #include <math>
3 #include <iostream>
4
5 const double E = 11e9;
6 const double d = -5e-9;
7 const double ro0 = 571;
8 const double m = 12;
9
10 std::ifstream fin("valori.txt");
11
12 double procent(double Q, double t) {
13     double Fx = Q/d;
14     double ro = E/pow((Fx*t/m), 2);
15     return ro/ro0;
16 }
17
18 int main() {
19     double Qmed=0., tmed=0, q1, t1;
20     int iter = 0;
21     while(fin >> q1 >> t1) {
22         Qmed += q1;
23         tmed += t1;
24         iter++;
25     }
26     Qmed /= iter;
27     tmed /= iter;
28     std::cout << procent(Qmed, tmed);
29     return 0;
}
```

Fig. 1.1



*Fig. 2.2*



*Fig. 2.3*

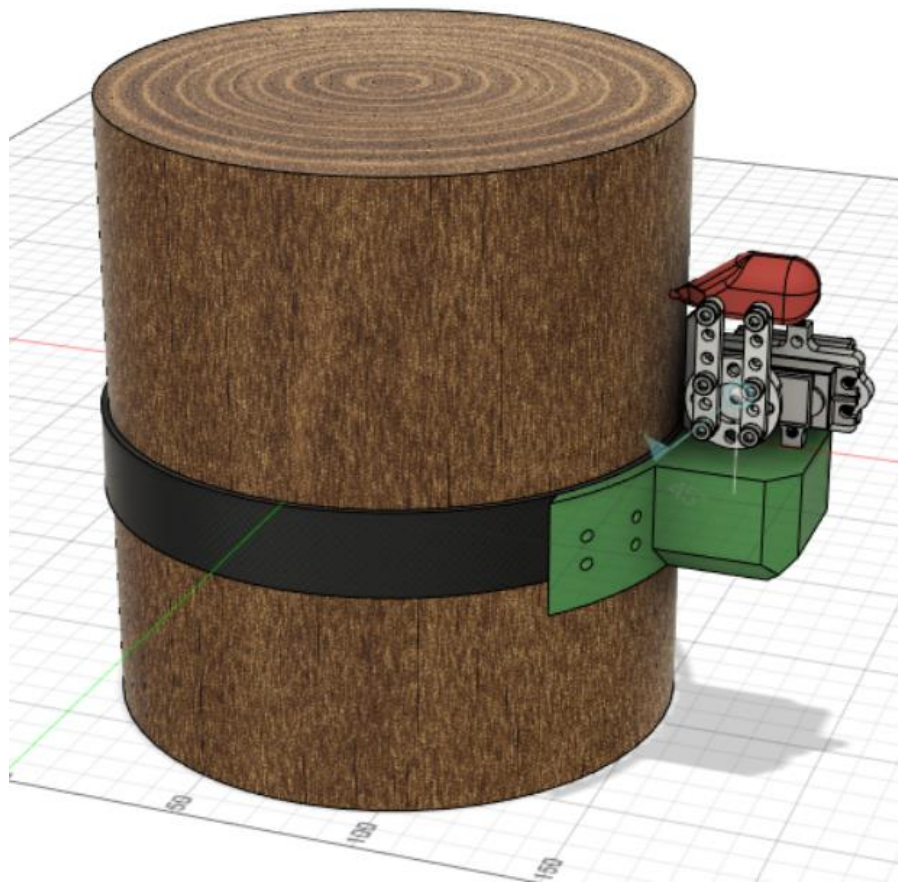


Fig 2.1

### Rezultate și discuții

Au fost determinați prin simulare, pentru cele 3 tipuri de lemn (rășinos - R, esență tare - ET și esență moale - EM) corespunzătoare celor 3 stări de degradare (lemn sănătos 100%, lemn sănătos 80%, lemn sănătos 60%), și celor 2 tipodimensiuni (secțiune circulară cu diametrul de 400 și 700 de mm), parametrii de propagare ai undei generate de “ciocănitoarea mecanică”, conform tabelului numărul 1.

Se observă că vitezele de propagare cele mai mari de 4490 [m/s] se obțin pentru esențele de lemn tare cu starea de integritate 100 [%], în timp ce cele mai mici valori se înregistrează pentru esențele moi, cu starea de integritate cea mai degradată, respectiv 2586 [m/s].

Programul permite cunoașterea timpului de propagare pentru fiecare dimensiune individuală introdusă de utilizator. Prin urmare este posibil ca pe baza comparării cu situația reală să fie calculată densitatea reală a probei și starea de degradare a structurii interne a materialului lemnos.

**Tabelul nr.1**

Nr.crt.	Tip lemn	Tipodimensiune Ø[mm]	Integritate ( $\rho/\rho_0 \cdot 100$ )[%]	Viteză unde longitudinale $v$ [m/s]	Timp propagare $t$ [s]
1.	R	400	100	4082.00	0.000098
2.	R	400	80	3334.00	0.000119
3.	R	400	60	2586.40	0.000154
4.	ET	400	100	4111.00	0.000097
5.	ET	400	80	3357.40	0.000119
6.	ET	400	60	2603.80	0.000153
7.	EM	400	100	4490.00	0.000088
8.	EM	400	80	3660.60	0.000109
9.	EM	400	60	2831.20	0.000141
10.	R	700	100	4082.00	0.000171
11.	R	700	80	3334.00	0.000209
12.	R	700	60	2586.40	0.000270
13.	ET	700	100	4111.00	0.000170
14.	ET	700	80	3357.40	0.000208
15.	ET	700	60	2603.80	0.000268
16.	EM	700	100	4490.00	0.000155
17.	EM	700	80	3660.60	0.000191
18.	EM	700	60	2831.20	0.000247

### Concluzii

Lucrarea prezentă arată modul în care este posibilă măsurarea gradului de degradare al unui arbore în mod neinvaziv, prin eliminarea limitărilor existente până în prezent de utilizarea frecvențelor ultrasonore sau a termografiei în infraroșu. Aplicabilitatea metodei este vastă: de la fermele de mărime mică sau medie care au nevoie să cunoască ce pomi fructiferi sunt afectați major și care nu mai dau productivitatea așteptată, continuând cu identificarea arborilor din zonele urbane cu potențial de risc pentru securitatea oamenilor și a bunurilor și până la proprietarii de păduri care sunt interesați să știe ce copaci ar trebui recoltați pentru că au probleme structurale. Perspectivele dezvoltării metodei se pot îndrepta spre verificarea prin experiment a rezultatelor obținute prin simulare numerică și diversificarea codului sursă al software-ului, în vederea modelării a unei varietăți mai mari de semnale, provenite de la mai multe tipodimensiuni de lemn și tipuri de esență lemnoasă.

### Bibliografie:

- [1] Leininger, D. T., Schmoltdt, L. D., Tainter, H. F., Precision Forestry, "Proceedings of the First International Precision Forestry Cooperative Symposium", pp 99-107, 2001
- [2] Vidal, D., Pitarm, R., "Infrared Thermography Applied to Tree Health Assessment:A Review", Rev. "Agriculture" pp 1-15, 2019
- [3] Kane B., „Assessing the impact of decay on the structural integrity of trees”, 2009

[4] Oberle B, Ogle K, Zanne AE, Woodall CW (2018) When a tree falls: Controls on wood decay predict standing dead tree fall and new risks in changing forests. PLoS ONE 13(5): e0196712. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196712>

[5] DOLWIN, J.A., et al. "Detection of Decay in Trees." *The Commonwealth Forestry Review*, vol. 77, no. 4, 1998, pp. 277–280. JSTOR, [www.jstor.org/stable/42608696](http://www.jstor.org/stable/42608696)