

Ứng dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán nhanh chất lượng gỗ cho một số loài cây rừng trồng tại tỉnh Thái Nguyên

Dương Văn Đoàn^{1*}, Ngô Thị Hiền², Nguyễn Thị Anh Hoa¹, Nguyễn Tuấn Dương³, Tăng Thị Kim Hồng⁴

¹Đại học Thái Nguyên

²Trường Đại học Nông Lâm Thái Nguyên

³Trường Đại học Nông Lâm Bắc Giang

⁴Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

Application of stress-wave technology for rapid prediction of wood quality in several species planted in Thai Nguyen province

Duong Van Doan^{1*}, Ngo Thi Hien², Nguyen Thi Anh Hoa¹, Nguyen Tuan Duong³, Tang Thi Kim Hong⁴

¹Thai Nguyen University

²Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry

³Bac Giang Agriculture and Forestry University

⁴Nong Lam University – Ho Chi Minh City

*Corresponding author: duongvandoan@tuaf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.5.2025.140-146>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 09/04/2025

Ngày phản biện: 12/05/2025

Ngày quyết định đăng: 23/06/2025

Từ khóa:

Chất lượng gỗ, khối lượng riêng, mô đun đàn hồi, sóng ứng suất, Thái Nguyên.

Keywords:

Modulus of elasticity, stress-wave velocity, Thai Nguyen, wood density, wood quality.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục tiêu đánh giá được giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học ($E_{cây}$) đo trên cây đứng ở một số loài cây lấy gỗ trồng tại tỉnh Thái Nguyên. Giá trị $E_{cây}$ được tính dựa trên sự kết hợp của giá trị khối lượng riêng tươi ướt ($KLR_{cây}$) và giá trị vận tốc truyền sóng ứng suất đo trên thân cây ($SWV_{cây}$). Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng giá trị $E_{cây}$ ở các loài Xoan ta, Keo tai tượng, Lim xanh, Giổi và Mỡ lần lượt là 9,48 GPa, 8,70 GPa, 12,78 GPa, 5,98 GPa và 12,25 GPa. Kết quả phân tích tương quan cho thấy: giá trị $SWV_{cây}$ có mối liên hệ cao hơn với giá trị $E_{cây}$ ($r = 0,91$; $P < 0,001$) so với giá trị $KLR_{cây}$ ($r = 0,74$; $P < 0,001$). Điều này gợi ý rằng vận tốc truyền sóng ứng suất là chỉ số có độ tin cậy cao để dự đoán mô đun đàn hồi của gỗ trên cây đứng, khẳng định tiềm năng ứng dụng của phương pháp sóng ứng suất trong đánh giá nhanh và không phá hủy chất lượng gỗ rừng trồng tại hiện trường.

ABSTRACT

This study was conducted with the aim of evaluating the dynamic modulus of elasticity (E_{cay}) measured on standing trees of some timber species planted in Thai Nguyen province. The E_{cay} value is calculated based on the combination of the fresh wood density (KLR_{cay}) and the stress-wave propagation velocity measured on the standing tree (SWV_{cay}). The research results indicate that the E_{cay} values of *Melia azedarach*, *Acacia mangium*, *Erythrophloeum fordii*, *Michelia tonkinensis*, and *Manglietia conifera* are 9.48 GPa, 8.70 GPa, 12.78 GPa, 5.98 GPa, and 12.25 GPa, respectively. The results of the correlation analysis show that: The SWV_{cay} value shows a stronger correlation with E_{cay} ($r = 0.91$; $P < 0.001$) compared to KLR_{cay} ($r = 0.74$; $P < 0.001$). This suggests that stress-wave velocity is a highly reliable indicator for predicting the modulus of elasticity of standing trees, confirming the potential of the stress-wave method for rapid and non-destructive assessment of plantation wood quality in the field.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong năm 2024, mặc dù ngành gỗ Việt Nam đối mặt với những thách thức bao gồm: các cuộc xung đột địa chính trị (cuộc chiến Nga – Ukraine tiếp diễn, Israel - Hamas...), việc thực thi các quy định mới (EUDR, Lacey...) nhưng ngành gỗ xuất khẩu vẫn đạt được những kết quả ấn tượng, thiết lập kỷ lục mới. Theo số liệu từ Tổng cục Hải quan, giá trị xuất khẩu gỗ và sản phẩm gỗ trong năm 2024 ước đạt 16,25 tỷ USD, tăng 20,3% so với năm 2023 [1]. Tuy nhiên, Việt Nam phải nhập khẩu một phần lớn nguyên liệu gỗ do nguồn cung gỗ trong nước không đủ để đáp ứng nhu cầu của ngành chế biến gỗ. Các loại gỗ trong nước, đặc biệt là gỗ từ rừng trồng, thường có chất lượng không đồng đều và không phù hợp với các yêu cầu kỹ thuật cao của ngành chế biến gỗ, đặc biệt là đối với các sản phẩm cao cấp như đồ nội thất xuất khẩu.

Hiện nay, tại Việt Nam để đánh giá được chất lượng gỗ chúng ta đa phần vẫn sử dụng các phương pháp truyền thống. Cụ thể, để đánh giá chất lượng gỗ cần một quy trình có rất nhiều bước công việc với nhiều nguồn lực và thời gian, như: (1) Chặt hạ cây rồi gia công mẫu, (2) Ổn định mẫu, (3) Đo và thử nghiệm trên các thiết bị chuyên dùng dưới sự vận hành của nhân viên được đào tạo bài bản, (4) Tính toán và phân tích thống kê, (5) Viết báo cáo thử nghiệm. Tìm ra những phương pháp mới để có thể dự đoán nhanh được các tính chất gỗ và hạn chế những nhược điểm của phương pháp truyền thống là rất cần thiết. Trong xu thế tìm kiếm các giải pháp đánh giá hiệu quả hơn, các phương pháp kiểm tra không phá hủy, đặc biệt là kỹ thuật sử dụng sóng (sóng ứng suất hoặc siêu âm), đã được nghiên cứu và ứng dụng tại nhiều quốc gia nhằm ước tính nhanh một số đặc tính cơ học như mô đun đàn hồi (MOE) hoặc độ bền uốn tĩnh (MOR) cho mẫu gỗ nhỏ [2-4], hoặc trên cây đứng [5-8]. Có nghĩa là, chất lượng gỗ khi cây chưa chặt hạ đã được dự báo trước thông qua các công nghệ kiểm tra không phá hủy (đo trực tiếp trên cây sống) và

rừng chỉ được khai thác khi kết quả kiểm tra này thể hiện đã đáp ứng được yêu cầu chất lượng cho mục đích sử dụng mong muốn. Cụ thể, Ishiguri và cộng sự [5] đã sử dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán chất lượng gỗ loài *Paraserianthes falcataria* trồng tại Indonesia. Lindstrom và cộng sự [6] cũng đã sử dụng công nghệ này để đánh giá mô đun đàn hồi uốn tĩnh gỗ cho loài *Pinus sylvestris* tại Phần Lan và Thụy Điển. Tại Việt Nam, năm 2015, Hải và cộng sự [7] đã ứng dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán chất lượng gỗ Keo tai tượng trồng tại Tuyên Quang. Năm 2025, Duong và cộng sự [8] cũng đã ứng dụng công nghệ này để dự đoán chất lượng gỗ Thông mã vĩ trồng tại tỉnh Cao Bằng.

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là ứng dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán được giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học đo trên cây đứng của một số loài cây trồng rừng lấy gỗ tại tỉnh Thái Nguyên. Kết quả của nghiên cứu sẽ góp phần đưa ra phương pháp để đánh giá, dự đoán chất lượng gỗ rừng trồng trước khi khai thác nhằm đảm bảo chất lượng gỗ sau khi khai thác phù hợp với mục đích sản xuất.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Đối tượng trong nghiên cứu này là 5 loài cây đang được trồng tại tỉnh Thái Nguyên gồm Xoan ta, Keo tai tượng, Lim xanh (huyện Đại từ), Giổi (huyện Đồng Hỷ) và Mỡ (huyện Phú Lương). Ở mỗi loài, tại địa điểm trồng tiến hành lập ô tiêu chuẩn (OTC) điển hình có kích thước 50 × 50 m, tiến hành đo đường kính tại chiều cao 1,3 m ($D_{1.3}$) tính từ mặt đất của tất cả các cây trong OTC, sau đó tính giá trị trung bình $D_{1.3}$. Từ các cây trong OTC, lựa chọn 5 cây mẫu có giá trị trung bình $D_{1.3}$ tương đương với giá trị $D_{1.3}$ của OTC và có các đặc điểm như có thân thẳng, không có các biểu hiện của sâu bệnh, khuyết tật để thực hiện các thí nghiệm. Các thông tin cơ bản gồm tên loài, tuổi, đường kính tại chiều cao 1,3 m và chiều cao vút ngọn (H_{VN}) được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin cơ bản của các loài cây trong nghiên cứu này

STT	Tên loài	Tên khoa học	Tuổi	D _{1.3} (cm)	H _{vn} (m)
1	Xoan ta	<i>Melia azedarach</i>	8	26,55	14,02
2	Keo tai tượng	<i>Acacia mangium</i>	7	22,24	10,72
3	Lim xanh	<i>Erythrophleum fordii</i>	17	21,02	7,66
4	Giổi	<i>Michelia tonkinensis</i>	5	13,86	9,42
5	Mỡ	<i>Manglietia conifera</i>	14	20,31	10,86

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sau khi đo chỉ tiêu sinh trưởng, vận tốc truyền sóng ứng suất được đo trên từng cây mẫu ở mỗi loài bằng thiết bị Fakopp (Fakopp Microsecond Timer, Fakopp Enterprise) theo phương pháp trong nghiên cứu của Duong và cộng sự [8]. Cảm biến truyền và nhận được gắn lên thân cây cùng hướng Bắc lần lượt ở vị trí 1,3 m và 0,3 m tính từ mặt đất. Thời gian truyền sóng trên mỗi cây được đo 5 lần bằng cách tác động lực lên cảm biến truyền. Vận tốc truyền sóng ứng suất trên cây đứng ($SWV_{cây}$) được tính bằng khoảng cách truyền (1 m) chia cho giá trị trung bình thời gian của 5 lần đo.

Để xác định khối lượng riêng tươi ướt gỗ trên từng cây đứng ($KLR_{cây}$) ở mỗi loài trước khi chặt hạ, thiết bị khoan tăng trưởng Haglof (Thụy Điển) được sử dụng để khoan mẫu gỗ từ vỏ đến tâm tại vị trí 1,3 m ở mỗi cây mẫu (mỗi cây thực hiện khoan 1 mẫu). Các mẫu gỗ sau khi khoan cho vào túi zip và được chuyển ngay về phòng thí nghiệm để đo $KLR_{cây}$ bằng thiết bị MD-300S.

Giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học

($E_{cây}$) đo bằng phương pháp không phá hủy (công nghệ sóng ứng suất) được xác định theo công thức trong nghiên cứu của Đoàn và cộng sự [9]:

$$E_{cây} = KLR_{cây} \times SWV_{cây}^2 \quad (1)$$

Trong đó:

$E_{cây}$ là mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học xác định bằng công nghệ sóng ứng suất trên cây đứng (GPa);

$KLR_{cây}$ là khối lượng riêng tươi ướt cây (g/cm^3);

$SWV_{cây}$ là vận tốc truyền sóng ứng suất đo trên thân đứng (m/s).

Các phân tích dữ liệu bao gồm giá trị trung bình, nhỏ nhất và lớn nhất của $SWV_{cây}$, $KLR_{cây}$, $E_{cây}$ cũng như hệ số tương quan cho 5 loài gỗ rừng trồng trong nghiên cứu này được tính toán bởi phần mềm R (Phiên bản 3.2.4).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Vận tốc truyền sóng trên cây đứng

Quá trình đo vận tốc truyền sóng trên cây đứng được thực hiện trên từng cây mẫu ở mỗi loài Xoan ta, Keo tai tượng, Lim xanh, Giổi và Mỡ như ở Hình 1.



Keo tai tượng



Lim xanh



Giổi

Hình 1. Đo sóng ứng suất trên cây đứng ở các loài khác nhau

Bảng 2 trình bày kết quả đo giá trị vận tốc truyền sóng ứng suất (SWV_{cây}) ở 5 loài cây khác nhau trong nghiên cứu này. Giá trị trung bình SWV_{cây} ở loài Xoan ta, Keo tai tượng, Lim xanh, Giổi và Mỡ lần lượt là 3299 m/s, 3146 m/s, 3530 m/s, 2742 m/s và 3764 m/s. Giá trị SWV_{cây} cao nhất là ở loài Lim xanh và thấp nhất là ở loài Giổi. Duong và cộng sự [8] đã báo cáo vận tốc truyền sóng ứng suất trung bình trên cây đứng

ở loài Thông mã vĩ là 3548 m/s, trong khi đó ở loài Trai lý [9] là 3696 m/s. Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến vận tốc truyền sóng trong gỗ như góc nghiêng sợi, khối lượng riêng, cấu trúc giải phẫu bên trong gỗ và tuổi của cây [8, 10, 11]. Do vậy, có thể nói sự khác nhau giá trị vận tốc truyền sóng ứng suất trên cây đứng phụ thuộc vào từng loài.

Bảng 2. Kết quả đo vận tốc truyền sóng ứng suất của 5 loài trong nghiên cứu này

Loài	Trung bình (m/s)	Nhỏ nhất (m/s)	Lớn nhất (m/s)
Xoan ta	3299	3106	3425
Keo tai tượng	3146	2957	3303
Lim xanh	3530	3448	3589
Giổi	2742	2465	3023
Mỡ	3764	3392	4036

3.2. Khối lượng riêng

Khối lượng riêng là một chỉ số quan trọng vì giá trị này thường có mối liên hệ với các tính chất vật lý và cơ học khác của gỗ. Thông thường giá trị khối lượng riêng sẽ được đo bằng phương pháp truyền thống bao gồm các bước như chặt hạ cây, tạo mẫu, xử lý mẫu và đo bằng

phương pháp cân và đo thể tích mẫu. Trong nghiên cứu này để dự đoán được tính chất gỗ ngay trên cây đứng và không cần chặt hạ cây, nên nhóm tác giả sử dụng phương pháp lấy mẫu gỗ bằng phương pháp khoan tăng trưởng như ở Hình 2.



Xoan ta



Lim xanh



Mỡ

Hình 2. Lấy mẫu gỗ bằng khoan tăng trưởng ở các loài khác nhau

Giá trị trung bình khối lượng riêng tươi ướt của các loài Xoan ta, Keo tai tượng, Lim xanh, Giổi và Mỡ lần lượt là 0,87 g/cm³, 0,87 g/cm³, 1,02 g/cm³, 0,74 g/cm³, và 0,79 g/cm³ (Bảng 3). Giá trị cao nhất được nhìn thấy ở loài Lim

xanh và thấp nhất là ở loài Giổi. Các kết quả nghiên cứu trước đã chỉ ra giá trị trung bình khối lượng riêng ở độ ẩm 12% của loài Xoan ta là 0,52 g/cm³ [12], Keo tai tượng là 0,47 g/cm³ [13] và Mỡ là 0,48 g/cm³ [14]. Cho đến nay

nhóm tác giả chưa tìm được tài liệu báo cáo về giá trị khối lượng riêng của loài Lim xanh và Giổi. Giá trị khối lượng riêng của các loài Xoan ta, Keo tai tượng và Mỡ trong nghiên cứu này là cao hơn so với các kết quả báo cáo trước đó,

được giải thích do giá trị $KLR_{cây}$ trong nghiên cứu này được đo khi gỗ ở trạng thái tươi ướt, trong khi đó các báo cáo trước là đo khi mẫu gỗ ở độ ẩm 12%.

Bảng 3. Giá trị khối lượng riêng tươi ướt của 5 loài trong nghiên cứu này

Loài	Trung bình (g/cm ³)	Nhỏ nhất (g/cm ³)	Lớn nhất (g/cm ³)
Xoan ta	0,87	0,76	0,99
Keo tai tượng	0,87	0,75	1,03
Lim xanh	1,02	0,87	1,10
Giổi	0,79	0,74	0,83
Mỡ	0,87	0,79	0,95

3.3. Mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học

Bảng 4 trình bày kết quả giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học đo trên cây đứng ở 5 loài trong nghiên cứu này. Giá trị trung bình $E_{cây}$ cao nhất là ở loài Lim xanh (12,78 GPa), tiếp đến là loài Mỡ (12,25 GPa), Xoan ta (9,48 GPa), Keo tai tượng (8,70 GPa), và thấp nhất là ở loài Giổi (5,98 GPa). Phí Hồng Hải và cộng sự (2015) [7] đã báo cáo giá trị $E_{cây}$ đo bằng công nghệ sóng ứng suất trên cây đứng loài Keo tai tượng trồng tại Tuyên Quang là 7,82 GPa, thấp hơn ở loài Keo tai tượng trong nghiên cứu này khoảng 10% (8,70 GPa). Điều này có thể được giải thích do ảnh hưởng của tuổi cây, khi tuổi cây tăng lên

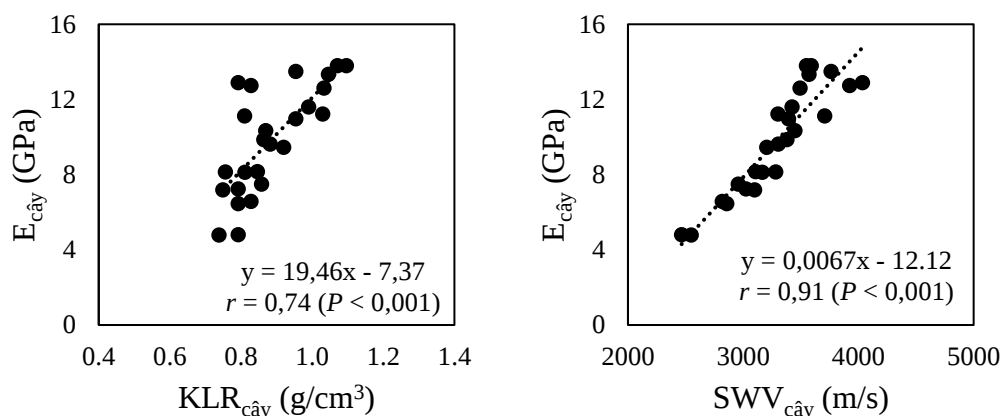
thì các tính chất cơ học cũng có xu hướng tăng lên [8,15]. Cây mẫu Keo tai tượng trong nghiên cứu này là 8 tuổi, trong nghiên cứu của Phí Hồng Hải và cộng sự (2015) [7] là 6 tuổi. Cho đến nay, nhóm tác giả chưa tìm được các báo cáo trước đó về giá trị $E_{cây}$ ở các loài Xoan ta, Lim xanh, Giổi và Mỡ. Duong và cộng sự [2] đã báo cáo giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học ở loài Keo tai tượng (5 tuổi) đo trên mẫu gỗ nhỏ (độ ẩm 12%) là 8,18 GPa. Wang và cộng sự [16] cũng đã ứng dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học trên cây đứng ở loài *Tsuga heterophylla* (9,45 GPa) và *Picea sitchensis* (9,72 GPa).

Bảng 4. Giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học của 5 loài trong nghiên cứu này

Loài	Trung bình (GPa)	Nhỏ nhất (GPa)	Lớn nhất (GPa)
Xoan ta	9,48	8,15	11,61
Keo tai tượng	8,70	7,20	11,23
Lim xanh	12,78	10,34	13,80
Giổi	5,98	4,79	7,24
Mỡ	12,25	10,98	13,50

Giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học đo trên cây đứng ($E_{cây}$) là sự kết hợp của hai thông số: vận tốc truyền sóng ứng suất đo trên cây đứng và khối lượng riêng tươi ướt như trình bày ở công thức 1 (phần phương pháp nghiên cứu). Hình 3 là kết quả phân tích tương quan giữa $E_{cây}$ với từng yếu tố $KLR_{cây}$ và $SWV_{cây}$. Kết quả chỉ ra rằng $SWV_{cây}$ có tương quan cao hơn với $E_{cây}$ ($r = 0,91$; $P < 0,001$) so với mối liên hệ

giữa $KLR_{cây}$ và $E_{cây}$ ($r = 0,74$; $P < 0,001$). Điều này gợi ý rằng, chỉ số vận tốc truyền sóng ứng suất có ảnh hưởng rõ rệt đến giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học và có thể sử dụng để dự đoán trực tiếp giá trị $E_{cây}$. Do đó, công nghệ sóng ứng suất có thể được sử dụng để dự đoán giá trị mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học gỗ cho các loài trong nghiên cứu này trồng tại tỉnh Thái Nguyên.



Hình 3. Mối liên hệ giữa mô đun đàn hồi uốn tĩnh động lực học ($E_{cây}$) với Khối lượng riêng ($KLR_{cây}$) và vận tốc truyền sóng đo trên cây đứng ($SWV_{cây}$)

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành đo và phân tích vận tốc truyền sóng ứng suất ($SWV_{cây}$), khối lượng riêng tươi ($KLR_{cây}$) và mô đun đàn hồi tĩnh ($E_{cây}$) trên cây đứng của 05 loài cây rừng trồng phổ biến tại tỉnh Thái Nguyên. Kết quả cho thấy, giá trị trung bình $SWV_{cây}$ lần lượt đạt 3299 m/s đối với Xoan ta, 3146 m/s đối với Keo tai tượng, 3530 m/s đối với Lim xanh, 2742 m/s đối với Giổi, và 3764 m/s đối với Mỡ. Khối lượng riêng tươi trung bình tương ứng của các loài trên là 0,87 g/cm³, 0,87 g/cm³, 1,02 g/cm³, 0,74 g/cm³, và 0,79 g/cm³. Giá trị mô đun đàn hồi tĩnh trên cây đứng ($E_{cây}$) dao động từ 5,98 GPa ở loài Giổi đến 12,78 GPa ở loài Lim xanh, trong đó loài Mỡ và Xoan ta cũng đạt giá trị cao lần lượt là 12,25 GPa và 9,48 GPa.

Phân tích tương quan cho thấy $SWV_{cây}$ có mối tương quan chặt chẽ với $E_{cây}$ ($r = 0,91$; $P < 0,001$), cao hơn đáng kể so với mối tương quan giữa $KLR_{cây}$ và $E_{cây}$ ($r = 0,74$; $P < 0,001$). Kết quả này cho thấy vận tốc truyền sóng ứng suất là chỉ số có độ tin cậy cao để dự đoán mô đun đàn hồi của gỗ trên cây đứng, khẳng định tiềm năng ứng dụng của phương pháp sóng ứng suất trong đánh giá nhanh và không phá hủy chất lượng gỗ rừng trồng tại hiện trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Cao Thị Cẩm & Trần Lê Huy (2025). Xuất nhập khẩu gỗ và sản phẩm gỗ năm 2024, nhận định xu hướng năm 2025. Tạp chí Gỗ Việt (Truy cập từ:

<https://goviet.org.vn/bai-viet/xuat-nhap-khau-go-va-san-pham-go-nam-2024-va-nhan-dinh-xu-huong-nam-2025-10283>, ngày 28/03/2025).

[2]. Doan Van Duong & Masumi Hasegawa (2024). Relationship between acoustic wave velocity and mechanical properties in *Acacia mangium* wood. Maderas Ciencia Y Tecnologia. 26: 33: 1-10.

DOI: 10.22320/s0718221x/2024.33

[3]. Doan Van Duong, Masumi Hasegawa, Sohei Yamauchi & Chung Hoang Do (2025). Within-tree variation regarding ultrasonic velocity, wood density, and compressive strength of eucalypt hybrid (*Eucalyptus urophylla* x *E. pellita*). Wood Material Science and Engineering. 20(2): 420-426.

DOI: 10.1080/17480272.2024.2352615

[4]. Doan Van Duong & Markku Kanninen (2024). Variation of stress wave velocity, wood density and static bending strength of 22-year-old planted *Tectona grandis* trees in northwest Vietnam. Journal of Tropical Forest Science. 36(4): 416-423.

DOI: 10.26525/jtfs2024.36.4.416

[5]. Ishiguri F., Eizawa J., Saito Y., Iizuka K., Yokota S., Priadi D., Sumiasri N. & Yoshizawa N. (2007). Variation in the wood properties of *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. IAWA Journal. 28(3): 339–348.

DOI: 10.1163/22941932-90001645

[6]. Lindstrom H., Reale M. & Grekin M. (2009). Using non-destructive testing to assess modulus of elasticity of *Pinus sylvestris* trees. Scandinavian Journal of Forest Research. 24: 247-257.

DOI: 10.1080/02827580902758869

[7]. Phi Hong Hai, La Anh Duong, Nguyen Quoc Toan & Trieu Thi Thu Ha (2015). Genetic variation in growth, stem straightness, pilodyn and dynamic modulus of elasticity in second-generation progeny tests of *Acacia mangium* at three sites in Vietnam. New Forests. 46: 577–591.

DOI: 10.1007/s11056-015-9484-6

[8]. Doan Van Duong, Van Hung Hoang, Masumi Hasegawa & Evgenii Sharapov (2025) The influence of tree age and radial position on the stress-wave velocity and timber properties of *Pinus massoniana* Lamb. planted in Vietnam. Wood Research. 70(1): 117-126.

DOI: 10.37763/wr.1336-4561/70.1.117126

[9]. Dương Văn Đoàn, Ngô Thị Hiền, Phạm Thu Hà, Lê Sỹ Hồng & Nguyễn Văn Tuyên (2024). Ứng dụng công nghệ sóng ứng suất để dự đoán chất lượng gỗ Trai lý (*Garcinia fragraeoides*) tại huyện Võ Nhai, Thái Nguyên. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 13(2): 104-111. DOI: 10.55250/Jo.vnuf.13.2.2024.104-111

[10]. Simpson W. & Wang X. (2001). Relationship between longitudinal stress wave transit time and moisture content of lumber during kiln-drying. Forest Products Journal. 51(10): 51-54.

[11]. Oliveira F. G & Sales A. (2006). Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods. Bioresource Technology. 97:2443-2446.

DOI: 10.1016/j.biortech.2005.04.050

[12]. Doan Van Duong, Laurence Schimleck, Dinh Tien Tai & Tran Van Chu (2021). Radial variation in cell morphology of *Melia azedarach* planted in Northern Vietnam. Maderas Ciencia y tecnologia. 23(7): 1-10.

DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100407

[13]. Doan Van Duong & Masumi Hasegawa (2021). Predicting mechanical properties of clear wood from *Acacia mangium* provenances using ultrasound. Bioresources. 16(4): 8309-8319.

DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100407

[14]. Vũ Huy Đại, Tạ Thị Phương Hoa, Vũ Mạnh Tường, Đỗ Văn Bản & Nguyễn Tử Kim (2016). Giáo trình khoa học Gỗ. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.

[15]. Zobel B. J & Van Buijtenen J. P. (1989). Wood variation, its causes and control. Springer, Heidelberg.

[16]. Wang X., Ross R. J., McClellan M., Barbour R. J., Erickson J. R., Forsman J. W. & McGinnis G. D. (2001). Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. Wood and Fiber Science. 33(4): 522-533.