



GỖ TÁI CHẾ VÀ NGUY CƠ THỂ VÙI SẮT TỪ: VÌ SAO GỖ TẬN THU, GỖ NHÀ KHO VÀ GỖ TÁI CHẾ CÔNG NGHIỆP KHÔNG ĐỦ ĐIỀU KIỆN VỀ TỪ TÍNH ĐỂ LÀM VẬT LIỆU ĐỠ ÂM THANH



Gỗ tái chế và nguy cơ thể vùi sắt từ: Vì sao gỗ tận thu, gỗ nhà kho và gỗ tái chế công nghiệp không đủ điều kiện về từ tính để làm vật liệu đỡ âm thanh

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tóm tắt

Gỗ tái chế được bán với mức giá cao nhờ câu chuyện xuất xứ: sồi nhà kho trải qua một thế kỷ phong hóa, thông nhựa lấy từ một nhà kho bị phá dỡ, gỗ tếch tận thu từ tàu quét mìn ngừng hoạt động hoặc bàn thí nghiệm đã nghỉ hưu. Sự lãng mạn là có thật và lập luận bền vững không hề phiếm. Nhưng vật liệu đỡ được chọn theo tác động của nó lên cấp nằm bên trên, không phải theo tiêu sử, và gỗ tái chế mang một khuyết tật mà chính xuất xứ chủ động bảo đảm chứ không chỉ cho phép: kim loại sắt từ chôn bên trong. Đinh vuông, vít, ghim, ghim hàng rào, bu lông, mảnh dây thép gai, đạn chì và thép găm trong gỗ, cùng phoi cưa vòng và cưa đĩa là đồ đặc thông thường của bất kỳ khối gỗ nào đã trải qua một đời làm việc. Đây không phải sự kiện hiếm hoi; đó là lý do xưởng cưa chạy máy dò sắt từ công nghiệp trước máy cưa đầu và cũng là lý do bãi gỗ tái chế phải quảng cáo nguyên liệu là "đã dò kim loại".

Chúng tôi báo cáo nghiên cứu sàng lọc 96 phôi tái chế thuộc bốn nhóm xuất xứ -- sồi nhà kho, thông và linh sam nhà kho công nghiệp, gỗ tếch tái chế từ nguồn hàng hải và phòng thí nghiệm, cùng sồi thùng rượu -- được đưa qua máy đo gradient từ thông fluxgate và, khi cho kết quả dương, qua chụp cắt lớp vi tính tia X để lập bản đồ thể vùi. Thể vùi sắt từ được phát hiện trong 71 trên 96 phôi (74 percent), riêng sồi nhà kho không đạt 19 trên 20. Một chiếc đinh thép duy nhất chôn bên trong là một thể vùi có độ từ thẩm cao vĩnh viễn: với μ_r của thép mềm nằm trong khoảng hàng trăm đến vài nghìn thấp, nó là một gián đoạn trường cực bộ cách dây dẫn vài milimét, và không mức độ sạch điện môi nào của phần gỗ xung quanh có thể bù lại. Chúng tôi còn đặc trưng hóa quang ăn mòn -- vết tannat sắt thuận từ khuếch tán mà vật thể sắt từ chôn trong gỗ rỉ ra gỗ sồi qua nhiều thập kỷ, tạo thể tích nhiễm bẩn lớn hơn kim loại nhiều bậc độ lớn -- và chỉ ra vì sao ngay cả nguyên liệu "đã dò kim loại" cũng chỉ vượt một ngưỡng công nghiệp thô, không phải cấp âm thanh dưới miligam do Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) xác định. Equatorial Elevation Block được phay hoàn toàn từ nguyên liệu gỗ trồng qua chế biến lần đầu và không bao giờ từ gỗ tái chế; lập luận bền vững cho việc tái sử dụng được giải đáp bằng gỗ trồng xích đạo có quản lý, vấn đề mà chúng tôi đề cập trực tiếp.

1. GIỚI THIỆU

Nghiên cứu đồng hành trong tạp chí này (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) đã thiết lập thang trung tính cấp N cho gỗ kết cấu, được xác định theo hàm lượng thuận từ dư và độ cảm từ thể tích mà nó tạo ra, đồng thời chứng minh rằng gỗ tếch trồng ở xích đạo đạt 5N ngay khi giao. Nghiên cứu đó phân cấp gỗ sạch qua chế biến lần đầu. Nó chỉ nhắc thoáng qua đến gỗ tái chế -- như một nhóm "thường xuyên" không đạt phép quét thể vùi sắt từ -- rồi tiếp tục. Bài báo này mở rộng câu nói thoáng qua ấy đến đầy đủ chi tiết mang tính loại trừ, bởi với người mua, câu hỏi về gỗ tái chế không phải chủ thích cuối trang. Đó là thắc mắc phổ biến nhất chúng tôi nhận được: nếu gỗ tếch xích đạo có quản lý khan hiếm và đất đỏ, còn nhà kho và kho hàng cũ đầy những khối gỗ cổ thụ đẹp, đặc, ổn định kích thước mà nếu không sẽ bị đốt, tại sao không phay giá đỡ từ chúng?

Câu trả lời thuộc về luyện kim, và không hề sít sao. Gỗ tái chế theo định nghĩa đã trải qua một đời làm kết cấu, mà phục vụ kết cấu đồng nghĩa với chi tiết liên kết. Dầm nhà kho từng bị đóng đinh, đóng chốt, bắt bu lông và ghim; dầm sàn kho hàng từng bị xuyên bu lông và bắt vít trễ; gỗ tàu từng được găm bằng bu lông chốt sắt và chốt gỗ có ghim sắt; bàn thí nghiệm từng mang giá thép và viền đinh vuông suốt một thế kỷ. Phần lớn kim loại đó được nhổ ra khi thu hồi. Một phần thì không, vì nó găm dưới bề mặt, bị đóng quá sâu và chìm đầu, ăn mòn thành cục không nhận ra, hoặc ngay từ đầu không bao giờ lộ ra ngoài. Người thu hồi tháo phần kim loại nhìn thấy. Máy đo gradient tìm phần ông ta không thể thấy.

Chúng tôi xem chi tiết liên kết chôn bên trong không phải lỗi thẩm mỹ cần trám và giấu, mà đúng như bản chất điện từ của nó: một thể vùi vĩnh viễn, độ từ thẩm cao, được đặt bởi hình học giá đỡ cấp trong phạm vi vài milimét quanh dây dẫn tín hiệu. Vật liệu đỡ tồn tại để giữ một cấp đã phân cấp trong môi trường trường gần có kiểm soát. Vật liệu đỡ chứa đinh thép là một khuyết tật từ tính tinh cở đang giữ cấp.

2. LẬP LUẬN MỘT CHIẾC ĐINH

Hãy xét loại nhiễm bẩn ít kịch tính nhất có thể hình dung: một chiếc đinh vuông duy nhất, gãy ngang và không nhìn thấy, chôn trong một phôi sồi tái chế hoàn hảo về mọi mặt khác. Trường hợp này đáng được phân tích đầy đủ, vì nếu trường hợp ít kịch tính nhất đã đủ để loại trừ, các thống kê khảo sát phía sau chỉ còn là công tác sổ sách.

Gỗ sạch, khô nằm gần độ cảm từ thể tích $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- nghịch từ yếu và đồng đều, trạng thái mong muốn ở vật liệu phải chiếm chỗ trong trường tĩnh mà không làm nhiễu nó. Một chiếc đinh thép mềm có độ từ thẩm tương đối μ_r trong khoảng hàng trăm đến vài nghìn thấp. Vì vậy tỷ số độ từ thẩm qua ranh giới gỗ-thép không phải vài percent; nó là ba đến sáu bậc độ lớn. Ranh giới đó là một gián đoạn trường: các đường từ thông tĩnh và gần tĩnh vốn đi êm qua gỗ nghịch từ



bị thể vùi gom, tập trung và tái bức xạ, tạo gradient trường cục bộ đo bằng hàng chục đến hàng trăm nT tại bề mặt ngay trên nó -- mà ở giá đỡ cấp, chính là nơi đặt máng và cáp.

Thể vùi còn là một nguồn điểm có cấu trúc, khác với tải kim loại vì lượng thuận từ phân bố đều trong khối. Nó mang từ dư: một chi tiết liên kết thép nằm trong trường Trái Đất hàng thập kỷ thu được mômen từ vĩnh viễn, vì vậy thể vùi không chỉ là nhiễu độ từ thẩm thụ động mà là một nam châm vĩnh cửu nhỏ với trục lưỡng cực cố định riêng, thờ ơ với việc căn chỉnh xích đạo mà phần còn lại của hệ thống lắp đặt được xây dựng để đạt tới. Không tính chất nào của phần gỗ xung quanh -- không độ cảm 7N, không hằng số điện môi thấp kỷ lục, không cách phay đầu thớ hướng đứng hoàn hảo -- bù được một lưỡng cực vĩnh viễn nằm trong đường tải. Phôi được phân cấp theo điểm tẻ nhất, không theo trung bình, và điểm tẻ nhất của nó là chiếc đinh.

3. KHẢO SÁT: NHÓM XUẤT XỨ VÀ TỶ LỆ PHÁT HIỆN

Chín mươi sáu phôi tái chế được lấy từ bốn nhóm xuất xứ, mỗi nhóm 20 đến 28 phôi, tại các bãi gỗ tái chế lâu năm ở Bắc Mỹ và châu Âu; tất cả được bán là đã nhỏ chi tiết liên kết và ba nhóm còn được bán là "đã dò kim loại". Mỗi phôi được đưa qua máy đo gradient từ thông fluxgate ba trục (Bartington Grad-13, độ phân giải 1 nT) trên bàn cơ giới hóa ở tốc độ 20 mm/s -- cùng thiết bị và quy trình dùng để sàng lọc gỗ tẻch sản xuất trong nghiên cứu đồng hành. Mọi phôi trả về dĩ thường rời rác lớn hơn 5 nT so với nền nghịch từ đều được đánh dấu và chuyển sang chụp cắt lớp vi tính tia X (nguồn vi tiêu điểm 225 kV, voxel 90 um) để định vị và nhận dạng thể vùi.

Tỷ lệ phát hiện tổng hợp là 71 trên 96 (74 percent). Theo nhóm: sồi nhà kho không đạt 19 trên 20 phôi, tẻ nhất, với thể vùi chủ yếu là đinh vuông, đinh dầy và ghim hàng rào, trung vị ba thể vùi rời rác trên mỗi phôi không đạt. Thông và linh sam nhà kho công nghiệp không đạt 22 trên 28, với thân vít tre, bu lông máy và -- trong bốn phôi -- đạn chì và thép chôn bên trong từ một đời trước mà chúng tôi không điều tra. Gỗ tẻch tái chế từ nguồn hàng hải và phòng thí nghiệm không đạt 21 trên 25: gỗ tàu mang mảnh bu lông chốt sắt và chân bản lè lái, còn gỗ tẻch bàn thí nghiệm mang vít gỗ thép chìm đầu và, trong hai trường hợp, đồng thau mà máy đo gradient cho qua nhưng bị loại vì lý do khác. Sồi thùng rượu tốt nhất trong bốn nhóm mà vẫn không đạt 9 trên 23, chủ yếu do mảnh đinh tán đai và dây ghim từ các đai đã tháo.

Hai phát hiện trên bản đồ CT cần được nhấn mạnh. Thứ nhất, đa số thể vùi được phát hiện nằm dưới bề mặt và không nhìn thấy trên mặt hoàn thiện -- đúng quần thể sống sót sau việc tháo chi tiết liên kết bằng mắt. Thứ hai, một số phôi mà máy dò cầm tay cấp thu hồi sẽ cho qua lại có nhiều thể vùi nhỏ (vết phoi từ lần xẻ lại bằng cưa vòng trước đó, chóp ghim), từng thể riêng lẻ dưới ngưỡng máy dò thô nhưng cộng lại thành một tải sắt từ phân bố. Máy dò công nghiệp trả lời "có chiếc đinh nào đủ lớn để phá lưới cửa của tôi không"; nó không trả lời "phôi này có sạch về từ tính không", và nó chưa bao giờ được chế tạo để làm vậy.

4. QUÀNG ĂN MÒN

Một vật thể sắt từ chôn trong gỗ không phải thể vùi ổn định, tự khép kín. Nó ăn mòn, xuất sản phẩm ăn mòn ra mô xung quanh, và trong gỗ sồi, việc đó diễn ra qua một phản ứng hóa học háo hức về nhiệt động và đã tồn tại hàng thế kỷ.

Gỗ lõi sồi giàu tannin thủy phân. Sắt tiếp xúc với sồi ẩm bị oxy hóa, các ion sắt hóa trị hai và ba sinh ra di chuyển theo gradient ẩm vào gỗ rồi tạo phức với tannin thành tannat sắt -- hợp chất xanh đen của mực sắt-mụn cây và cũng là phản ứng làm sồi hóa đen quanh bất kỳ chi tiết liên kết thép nào nằm trong nó. Vì vậy, qua nhiều thập kỷ trong nhà kho hoặc hầm rượu, một chiếc đinh chôn bên trong không còn là vấn đề chỉ lớn bằng chiếc đinh. Nó rỉ một quầng tannat sắt khuếch tán vào thể tích gỗ mà cả CT lẫn ICP-MS đều cho thấy lớn hơn vật thể một đến hai bậc độ lớn. Lõi kim loại là sắt từ; quầng quanh nó là thuận từ; và vì quầng lớn, bất quy tắc, xuyên vào bề mặt hướng về cấp, ở vài phương diện nó còn là chất nhiễm tẻ hơn, bởi không thể dùng kim kéo ra và hoàn toàn không báo hiệu cho máy dò kim loại.

Chúng tôi cắt lớp bốn phôi sồi nhà kho quanh các thể vùi đã biết và lập bản đồ Fe bằng ICP-MS trên một tuyến hướng tâm. Nồng độ sắt giảm từ mức percent tại ranh giới kim loại xuống một bình nguyên thuận từ 60 đến 240 ppm trên một quầng kéo dài 15 đến 40 mm tính từ vật thể -- vết bắn vượt xa trần 100 ppm của 4N trong một thể tích đủ lớn để nuốt trọn cả máng cấp. Đây là cơ chế qua đó một chi tiết liên kết lịch sử duy nhất làm nhiễm bẩn không phải một điểm mà cả một vùng, và cơ chế này đặc thù cho đúng những loại gỗ cứng hoạt tính tannin (trên hết là sồi) mà tiếp thị gỗ tái chế đề cao nhất. Câu chuyện xuất xứ khiến sồi nhà kho trở nên lằng mạn -- một thế kỷ phục vụ kết cấu ẩm bên cạnh sắt -- cũng chính là lịch sử bảo đảm quầng ấy.

5. VÌ SAO "ĐÃ DÒ KIM LOẠI" KHÔNG PHẢI MỘT CẤP

Các bãi gỗ tái chế quảng cáo nguyên liệu "đã dò kim loại" đang mô tả trung thực một quy trình có thật, và cần nêu rõ quy trình đó cung cấp gì, không cung cấp gì, bởi cụm từ này thường xuyên bị đọc thành một giấy chứng nhận sạch mà nó không phải.

Dò kim loại công nghiệp trong gỗ tồn tại để bảo vệ máy móc. Máy dò sắt từ trên dây chuyền xẻ lại được chỉnh để ngắt khi



gặp vật thể đủ lớn làm mẻ răng carbide hoặc vỡ lưỡi cưa vòng -- đỉnh, vít, bu lông. Ngưỡng được cố ý đặt cao: một dây chuyền dừng trước mọi dấu sắt dưới miligam sẽ không bao giờ xẻ được tấm ván nào. Đây là liên động an toàn sản xuất, được hiệu chuẩn theo đơn vị thiệt hại dụng cụ, và theo thiết kế nó cho qua đúng quần thể làm phôi mất tư cách dùng cho âm thanh: phoi dưới milimét, mảnh dây ghim, viên đạn ghém và trên hết là quãng thuận từ hòa tan, vốn không chứa vật thể rời rạc nào để máy dò tìm thấy. Một phôi có thể vượt qua máy dò công nghiệp hoàn toàn sạch mà vẫn mang vết sắt 200 ppm xuyên suốt mặt hướng về cấp.

Cấp trung tính âm thanh là một phép đo khác, trả lời một câu hỏi khác. Nó không được ấn định theo rủi ro dụng cụ mà theo các ranh giới Fe + Mn 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) và 1 ppm (6N) của Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026), được xác minh bằng đo gradient fluxgate cho thể vùi rời rạc và VSM cộng ICP-MS cho độ cảm khối và độ cảm quãng. Hai ngưỡng cách nhau nhiều bậc độ lớn. "Đã dò kim loại" nghĩa là "không có vật thể đủ lớn làm vỡ cưa". "Trung tính 5N" nghĩa là "Fe + Mn bằng hoặc dưới 10 ppm ở mọi nơi, cả rời rạc lẫn hòa tan". Người thu hồi có thể cung cấp điều thứ nhất một cách thiện chí nhưng hoàn toàn không thể cung cấp điều thứ hai, vì điều thứ hai đòi hỏi từ kế và định lượng kim loại vi lượng cho từng phôi mà không bãi thu hồi nào thực hiện, và phần lớn phôi tái chế dù cẩn thận đến đâu vẫn không đạt, chỉ vì lịch sử của chúng.

6. CÂU HỎI BỀN VỮNG, ĐƯỢC TRẢ LỜI THEO CÁCH KHÁC

Lập luận mạnh nhất cho gỗ tái chế không thuộc về âm học; nó thuộc về môi trường. Tái sử dụng gỗ trăm năm tránh một đợt khai thác mới, giữ vật liệu còn tốt khỏi đồng đốt và trần trọng lao động kết tinh trong lần sinh trưởng ban đầu. Chúng tôi xem trọng lập luận ấy và trả lời không phải bằng cách phủ nhận, mà bằng một nguồn cung không mang nguy cơ sắt từ cũng không mang chi phí môi trường.

Equatorial Elevation Block được phay từ gỗ tếch trồng có quản lý trong phạm vi 5 deg tính từ xích đạo địa từ, trên các đồn điền thuê, có chứng nhận và theo chế độ trồng lại sau khai thác. So sánh bền vững thích đáng không phải gỗ tái chế với khai thác rừng cổ thụ -- đó là lựa chọn giả -- mà là gỗ tái chế với đồn điền có quản lý, nơi cây được trồng riêng để chặt, cô lập carbon trong thời gian đứng và được thay thế theo chu kỳ cố định. Gỗ trồng xích đạo có quản lý mang lại lợi ích môi trường khiến tái sử dụng được đề cao (không gây áp lực lên rừng cổ thụ, chu kỳ tái tạo), đồng thời mang thêm điều duy nhất mà tái sử dụng về cấu trúc không thể có: một lịch sử không chi tiết liên kết. Gỗ trồng qua chế biến lần đầu chưa từng giữ đỉnh, chưa từng rỉ quãng tannat sắt và chưa từng đi qua máy cưa lại gieo phoi vào nó. Nó đến với một lý lịch từ tính sạch, là điều kiện khởi đầu duy nhất để cấp 5N thậm chí có thể đạt được.

Cuối cùng, không có con đường nào cải tạo một phôi tái chế lên cấp. Đôi khi có thể đào bỏ thể vùi rời rạc, nhưng việc đào để lại lỗ rỗng và không thể chạm hết quãng hòa tan; quãng chỉ có thể được loại bỏ bằng cách cắt bỏ thể tích nhuộm bản, mà trong đầm nhà kho nhiễm nặng là phần lớn gỗ còn dùng được. Kinh tế học và vật lý cùng chỉ một hướng. Bắt đầu bằng gỗ sinh trưởng sạch sẽ rẻ hơn, sạch hơn và đúng đắn về đo lường so với truy đuổi sắt khỏi khối gỗ đã sinh trưởng rồi trải đời trong bản.

7. KẾT LUẬN

Gỗ tái chế, tận thu, nhà kho và tái chế công nghiệp không đủ điều kiện làm vật liệu đỡ âm thanh, không phải vì sở thích thẩm mỹ hay bất kỳ điểm yếu nào của bản thân gỗ, mà vì lịch sử chi tiết liên kết. Phục vụ kết cấu đồng nghĩa với sắt chôn bên trong, sắt chôn bên trong đồng nghĩa với một thể vùi độ từ thẩm cao vĩnh viễn trong đường tải cấp, và ở gỗ cứng hoạt tính tannin, nó đồng nghĩa với quãng ăn mòn thuận từ khuếch tán lớn hơn kim loại tạo ra nó một bậc độ lớn. Khảo sát sàng lọc của chúng tôi tìm thấy thể vùi sắt từ trong 74 percent phôi tái chế thuộc bốn nhóm xuất xứ, riêng sồi nhà kho -- nhóm được lãng mạn hóa nhiều nhất -- không đạt 19 trên 20. Lập luận một chiếc đỉnh cho thấy chỉ một thể vùi như vậy tự nó đã đủ để loại trừ, vì thế tỷ lệ khảo sát làm nhẹ chứ không phóng đại vấn đề.

Cam kết "đã dò kim loại" trong tiếp thị gỗ tái chế là ngưỡng bảo vệ máy móc thô hơn cấp trung tính âm thanh nhiều bậc độ lớn, và theo thiết kế nó cho qua đúng loại nhiễm bản dưới miligam và hòa tan mà cấp của Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) được đặt ra để phát hiện. Đó là phép đo có thật và hữu ích, nhưng trả lời một câu hỏi không phải câu hỏi âm thanh. Vì lý do này, Equatorial Elevation Block được phay hoàn toàn từ nguyên liệu gỗ trồng qua chế biến lần đầu và không bao giờ từ gỗ tái chế thuộc bất kỳ xuất xứ nào. Lập luận môi trường cho việc tái sử dụng là xác đáng và được giải đáp đầy đủ bằng gỗ trồng xích đạo có quản lý, được trồng để khai thác và thay thế -- loại gỗ mang lợi ích bền vững mà không mang sắt, và khởi đầu, như mọi phôi được phân cấp phải khởi đầu, với một lý lịch từ tính sạch.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Phân cấp độ trung tính từ của gỗ kết cấu: Hệ phân loại độ tinh khiết cấp N cho vật liệu đỡ âm thanh. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Sự ăn mòn của sắt khảo cổ khai quật, kèm chi tiết về hiện tượng rỉ dịch và akaganeite. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.



- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Phân bố sắt và lưu huỳnh cùng các dạng tồn tại của chúng trong quan hệ với quá trình phân hủy trong gỗ. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Oxy hóa carbohydrate gỗ do sắt xúc tác. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Hướng dẫn thực hành tốt nhất về dò kim loại sắt và phi sắt trong gỗ kết cấu tận thu. *RWC Technical Bulletin TB-07*, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Đo gradient fluxgate và chụp cắt lớp vi tính để sàng lọc thể vùi sắt từ trong phôi gỗ. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.