



DREWNO ODZYSKANE I
ZAGROŻENIE WTRĄCENIAMI
ŻELAZNYMI: DLACZEGO DREWNO
POROZBIÓRKOWE, STODOŁOWE I
POPRZEMYSŁOWE JEST
MAGNETYCZNIE
ZDYSKWALIFIKOWANE JAKO
MATERIAŁ PODPÓR AUDIO

Drewno odzyskane i zagrożenie wtrąceniami żelaznymi: dlaczego drewno porożbiórkowe, stodołowe i przemysłowe jest magnetycznie zdyskwalifikowane jako materiał podpór audio

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstrakt

Drewno odzyskane osiąga premię marketingową dzięki pochodzeniu: dąb stodołowy po stuleciu wietrzenia, sosna smolna wyjęta z rozebranego magazynu, tek uratowany z wycofanego trałowca lub zużytego blatu laboratoryjnego. Romantyzm jest prawdziwy, a argument zrównoważonego rozwoju nie jest błahy. Materiał podporowy wybiera się jednak ze względu na to, co robi z leżącym na nim kablem, nie ze względu na biografię, a drewno odzyskane ma wadę, którą jego historia aktywnie gwarantuje, zamiast jedynie dopuszczać: zatopiony metal ferromagnetyczny. Gwoździe kute, wkręty, zszywki, skoble ogrodzeniowe, śruby, fragmenty drutu kolczastego, wbity śrut ołowiany i stalowy oraz opiłki z pił taśmowych i tarczowych są zwykłym wyposażeniem każdego drewna, które przepracowało już jedno życie. Nie jest to rzadki przypadek zanieczyszczenia; właśnie dlatego tartaki ustawiają przemysłowe wykrywacze metali żelaznych przed trakiem i dlatego składy drewna odzyskanego w ogóle reklamują materiał jako „sprawdzony wykrywaczem metalu”.

Przedstawiamy badanie przesiewowe 96 odzyskanych kantówek z czterech klas pochodzenia -- dębu stodołowego, sosny i jodły z magazynów przemysłowych, teku odzyskanego ze źródeł morskich i laboratoryjnych oraz dębu z beczek po winie -- przeprowadzonych przez gradiometr transduktorowy, a przy każdym wyniku dodatnim także przez rentgenowską tomografię komputerową w celu zmapowania wtrąceń. Wtrącenia ferromagnetyczne wykryto w 71 z 96 kantówek (74 procent), przy czym dąb stodołowy nie przeszedł testu w 19 z 20 przypadków. Pojedynczy zatopiony stalowy gwoździe jest trwałym wtrąceniem o dużej przenikalności: przy mu_r stali miękkiej wynoszącej od setek do kilku tysięcy tworzy lokalną nieciągłość pola zaledwie kilka milimetrów od przewodnika, której nie kompensuje żadna czystość dielektryczna otaczającego drewna. Charakteryzujemy również aureolę korozyjną -- rozmytą paramagnetyczną plamę taninianu żelaza, którą przez dziesięciolecia sączy do dębu zatopiony przedmiot żelazny i która obejmuje objętość o rzędy wielkości większą niż sam metal -- oraz wykazujemy, dlaczego nawet materiał „sprawdzony wykrywaczem metalu” spełnia tylko zgrubny próg przemysłowy, nie zaś submiligramową klasę audio zdefiniowaną przez Bosque, Ferro, Parka i Tanakę (2026). Bloki Equatorial Elevation frezuje się wyłącznie z plantacyjnego surowca pierwszego przerobu, nigdy z drewna odzyskanego; argument zrównoważonego rozwoju odpowiadamy zamiast tego za pomocą zarządzanej plantacji równikowej, do czego odnosimy się wprost.

1. WPROWADZENIE

Badanie towarzyszące opublikowane w tym czasopiśmie (Bosque, Ferro, Park i Tanaka, 2026) ustanowiło skalę neutralności N dla drewna konstrukcyjnego, zdefiniowaną przez szcztąkową zawartość składników paramagnetycznych i wynikającą z niej objętościową podatność magnetyczną, oraz wykazało, że tek z plantacji równikowych osiąga przy dostawie 5N. Badanie dotyczyło czystego drewna pierwszego przerobu. O drewnie odzyskanym wspomniano tylko przelotnie -- jako kategorii, która „regularnie” nie przechodzi skanowania wtrąceń żelaznych -- po czym temat porzucono. Niniejsza praca rozwija to zdanie do jego pełnej i dyskwalifikującej postaci, ponieważ dla kupujących pytanie o drewno odzyskane nie jest przypisem. To najczęstsza uwaga, jaką otrzymujemy: skoro zarządzany tek równikowy jest rzadki i drogi, a stodoły oraz stare magazyny są pełne pięknego, gęstego i stabilnego wymiarowo starodrzewu, który w przeciwnym razie zostałby spalony, dlaczego nie frezować podpór właśnie z niego?

Odpowiedź jest metalurgiczna i nie pozostawia pola do dyskusji. Drewno odzyskane z definicji służyło już konstrukcyjnie, a służba konstrukcyjna oznacza łączniki. Belkę stodoły przybijano, szpilkowano, skręcano śrubami i zszywano; legar podłogi magazynu przewiercano śrubami przelotowymi i wkrętami ciesielskimi; drewno okrętowe łączono żelaznymi sworzniami oraz drewnianymi kołkami klinowanymi żelazem; blat laboratoryjny przez stulecie nosił stalowe wsporniki i obramowanie z kutych gwoździ. Większość metalu usuwa się podczas odzysku. Część pozostaje, bo odłamała się pod powierzchnią, została wbita zbyt głęboko i zagłębiona, skorodowała do nierozpoznawalnej bryły albo od początku nie była widoczna z zewnątrz. Pracownik odzysku usuwa metal, który widzi. Gradiometr znajduje metal, którego nie widzi.

Zatopiony łącznik traktujemy nie jako kosmetyczną szkodę do zaszpachlowania i ukrycia, lecz zgodnie z jego elektromagnetyczną naturą: jako trwałe wtrącenie o dużej przenikalności umieszczone, przez geometrię podpory kabla, w odległości kilku milimetrów od przewodnika sygnałowego. Materiał podporowy ma utrzymywać sklasyfikowany kabel w kontrolowanym środowisku pola bliskiego. Materiał podporowy ze stalowym gwoździem jest wadą magnetyczną, która przy okazji trzyma kabel.



2. ARGUMENT POJEDYNCZEGO GWOŹDZIA

Rozważmy najmniej dramatyczne zanieczyszczenie, jakie można sobie wyobrazić: jeden kuty gwoździe, odłamany równo z powierzchnią i niewidoczny, ukryty w poza tym nieskazitelnej kantówce odzyskanego dębu. Warto przeanalizować ten przypadek w całości, ponieważ jeśli dyskwalifikuje przypadek najmniej dramatyczny, statystyki badania przedstawione dalej są już tylko księgowością.

Czyste, suche drewno pozostaje w pobliżu objętościowej podatności magnetycznej $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- jest słabo i równomiernie diamagnetyczne, co stanowi pożądany stan materiału umieszczanego w polu statycznym bez jego zakłócania. Względna przenikalność μ_r gwoźdź z stali miękkiej wynosi od setek do kilku tysięcy. Stosunek przenikalności na granicy drewna i stali różni się więc nie o kilka procent, lecz o trzy do sześciu rzędów wielkości. Granica ta jest nieciągłością pola: linie strumienia statycznego i quasi-statycznego, które gładko przechodzą przez diamagnetyczne drewno, są zbierane, zagęszczane i wtórnie wypromieniowywane przez wtrącenie, tworząc lokalny gradient pola rzędu dziesiątek do setek nT na powierzchni bezpośrednio nad nim -- czyli w podporze kabla dokładnie tam, gdzie znajdują się gniazdo i kabel.

Wtrącenie jest również, w odróżnieniu od paramagnetycznego obciążenia metalami śladowymi równomiernie rozłożonego w objętości, źródłem punktowym o określonej strukturze. Ma remanencję: stalowy łącznik pozostający przez dziesięciolecia w polu Ziemi nabywa trwały moment magnetyczny, dlatego nie jest wyłącznie pasywnym zaburzeniem przenikalności, lecz małym magnesem trwałym o własnej stałej osi dipola, obojętnym na ustawienie równikowe, do którego dąży cała reszta instalacji. Żadna właściwość otaczającego drewna -- ani podatność 7N, ani rekordowo mała stała dielektryczna, ani idealna obróbka z pionowym przebiegiem włókien -- nie równoważy trwałego dipola osadzonego w ściętej obciążeniu. Kantówkę klasyfikuje się według jej najgorszego punktu, nie średniej, a najgorszym punktem jest gwoździe.

3. BADANIE: KLASY POCHODZENIA I CZĘSTOŚĆ WYKRYĆ

Pozyskano dziewięćdziesiąt sześć odzyskanych kantówek z czterech klas pochodzenia, po 20 do 28 z każdej, z uznanych składów drewna odzyskanego w Ameryce Północnej i Europie; wszystkie sprzedawano jako oczyszczone z łączników, a w trzech klasach również jako „sprawdzone wykrywaczem metalu”. Każdą kantówkę przesunięto na napędzanym stole z prędkością 20 mm/s przez trójosiowy gradiometr transduktorowy (Bartington Grad-13, rozdzielczość 1 nT) -- ten sam przyrząd i protokół, który służy do przesiewowej kontroli teku produkcyjnego w badaniu towarzyszącym. Każdą kantówkę wykazującą odrębną anomalię powyżej 5 nT na tle diamagnetycznym oznaczano i kierowano do rentgenowskiej tomografii komputerowej (mikroognisko 225 kV, woxel 90 μ m), aby zlokalizować i zidentyfikować wtrącenie.

Łączna częstość wykryć wyniosła 71 z 96 (74 procent). Według klas: dąb stodołowy nie przeszedł testu w 19 z 20 kantówek, osiągając najgorszy wynik; dominowały gwoździe kute, gwoździe z drutu i skoble ogrodzeniowe, a mediana wynosiła trzy odrębne wtrącenia na odrzuconą kantówkę. Sosna i jodła z magazynów przemysłowych nie przeszły testu w 22 z 28 przypadków, z powodu trzpieni wkrętów ciesielskich, śrub maszynowych, a w czterech kantówkach także zatopionego śrutu ołowianego i stalowego po wcześniejszym życiu, którego nie badaliśmy. Tek odzyskany ze źródła morskich i laboratoryjnych nie przeszedł testu w 21 z 25 przypadków: drewno okrętowe zawierało fragmenty żelaznych sworzni i kikuty trzpieni zawiasowych, a tek z blatów laboratoryjnych -- zagłębione stalowe wkręty do drewna i, w dwóch przypadkach, mosiądz, który gradiometr przepuścił, lecz który jest zdyskwalifikowany z innych powodów. Najlepszy z czterech był dąb z beczek po winie, a mimo to nie przeszedł testu w 9 z 23 przypadków, głównie z powodu fragmentów nitów obręczy i drutu zszywek z rozebranych obręczy.

Dwa ustalenia z map CT wymagają podkreślenia. Po pierwsze, większość wykrytych wtrąceń znajdowała się pod powierzchnią i była niewidoczna na gotowym licu -- była to dokładnie ta populacja, która przeżywa wzrokowe usuwanie łączników. Po drugie, kilka kantówek zaakceptowanych przez ręczny wykrywacz klasy używanej przy odzysku wykazało liczne drobne wtrącenia (ślady opiłków po wcześniejszym ponownym przetarciu piłą taśmową, korony zszywek), z których każde z osobna pozostawało poniżej zgrubnego progu wykrywania, lecz razem tworzyły rozłożone obciążenie żelazne. Wykrywacz przemysłowy odpowiada na pytanie „czy jest tu gwoździe dość duży, by zniszczyć brzeszczot”; nie odpowiada na pytanie „czy ta kantówka jest magnetycznie czysta” i nigdy nie był do tego przeznaczony.

4. AUREOLA KOROZYJNA

Zatopiony w drewnie przedmiot żelazny nie jest stabilnym, zamkniętym wtrąceniem. Koroduje i wyprowadza produkty korozji do otaczającej tkanki, a w dębnie czyni to poprzez chemię, która jest termodynamicznie ochocza i znana od stuleci.

Twardziel dębu jest bogata w garbniki hydrolizujące. Żelazo stykające się z wilgotnym dębem utlenia się, a powstałe jony żelazawe i żelazowe migrują zgodnie z gradientem wilgotności do drewna i tworzą z garbnikami kompleks taninianu żelaza -- niebieskoczarowy składnik atramentu żelazowo-galusowego oraz produkt tej samej reakcji, która barwi dąb na czarno wokół pozostawionego w nim stalowego łącznika. Przez dziesięciolecia spędzone w stodole lub piwnicy zatopiony gwoździe przestaje więc być problemem wielkości gwoźdź. Wypuszcza rozmytą aureolę taninianu żelaza w objętość drewna, która



według CT i ICP-MS jest o jeden do dwóch rzędów wielkości większa od samego przedmiotu. Metalowy rdzeń jest ferromagnetyczny; otaczająca go aureola -- paramagnetyczna; a ponieważ jest duża, nieregularna i przenika powierzchnię zwróconą ku kablowi, pod pewnymi względami stanowi gorsze zanieczyszczenie: nie można wyciągnąć jej szczypcami i w ogóle nie zgłasza się wykrywaczowi metalu.

Przecięliśmy cztery kantówki dębu stodołowego wokół znanych wtrąceń i zmapowaliśmy Fe metodą ICP-MS wzdłuż przekroju promieniowego. Stężenie żelaza spadało od poziomu procentowego na granicy metalu do paramagnetycznego plateau od 60 do 240 ppm w aureoli rozciągającej się od 15 do 40 mm od przedmiotu -- plamie znacznie przekraczającej pułap 100 ppm dla 4N w objętości dość dużej, by pochłonąć całe gniazdo kabla. W ten sposób pojedynczy historyczny łącznik zanieczyszcza nie punkt, lecz obszar, i mechanizm ten dotyczy dokładnie tych gatunków liściastych o aktywnych garbnikach -- przede wszystkim dębu -- które marketing drewna odzyskanego ceni najwyżej. Historia nadająca dębowi stodołowemu romantyzm -- stulecie wilgotnej służby konstrukcyjnej obok żelaza -- jest tą samą historią, która gwarantuje aureolę.

5. DLACZEGO „SPRAWDZONE WYKRYWACZEM METALU” NIE JEST KLASĄ

Składy drewna odzyskanego reklamujące materiał jako „sprawdzony wykrywaczem metalu” uczciwie opisują rzeczywisty proces. Warto jasno powiedzieć, co ten proces zapewnia, a czego nie, ponieważ sformułowanie to rutynowo odczytuje się jako świadectwo czystości, którym nie jest.

Przemysłowe wykrywanie metalu w drewnie służy ochronie maszyn. Wykrywacz żelaza na linii ponownego przecierania ustawia się tak, by reagował na przedmiot dość duży, aby wyszczerbić ząb węglkowy lub zerwać brzeszczot piły taśmowej -- gwóźdź, wkręt, śrubę. Próg jest celowo wysoki: linia zatrzymująca się na każdym submiligramowym śladzie żelaza nigdy nie przecięłaby deski. Jest to blokada bezpieczeństwa produkcji, skalibrowana w jednostkach uszkodzeń narzędzi, która zgodnie z projektem przepuszcza dokładnie tę populację, jaka dyskwalifikuje kantówkę w zastosowaniu audio: submilimetrowe opiłki, fragmenty drutu szyszkowego, śruciny, a przede wszystkim rozpuszczoną paramagnetyczną aureolę, która nie zawiera odrębnego przedmiotu możliwego do wykrycia. Kantówka może czysto przejść przez wykrywacz przemysłowy i nadal mieć plamę 200 ppm żelaza na powierzchni zwróconej ku kablowi.

Klasa neutralności audio jest innym pomiarem, odpowiadającym na inne pytanie. Nie wyznacza jej ryzyko dla narzędzi, lecz granice Fe + Mn równe 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) i 1 ppm (6N), określone przez Bosque, Ferro, Parka i Tanakę (2026), a weryfikowane przez gradiometrię transduktorową dla odrębnych wtrąceń oraz VSM i ICP-MS dla podatności objętościowej i aureoli. Progi różnią się o rzędy wielkości. „Sprawdzone wykrywaczem metalu” znaczy „bez przedmiotu dość dużego, by złamać piłę”. „Neutralne 5N” znaczy „Fe + Mn nieprzekraczające 10 ppm wszędzie, zarówno w postaci odrębnej, jak i rozpuszczonej”. Pracownik odzysku może w dobrej wierze zapewnić pierwsze, ale w ogóle nie może zapewnić drugiego, ponieważ wymaga ono magnetometrii i analizy metali śladowych dla każdej kantówki, czego nie wykonuje żaden skład odzysku i czego większość odzyskanych kantówek nie przeszłaby niezależnie od staranności, wyłącznie na mocy swojej historii.

6. PYTANIE O ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ, Z INNĄ ODPOWIEDZIĄ

Najsilniejszy argument za drewnem odzyskanym nie jest akustyczny, lecz środowiskowy. Ponowne użycie stuletniego drewna pozwala uniknąć nowej ścinki, ratuje zdrowy materiał przed spaleniem i szanuje pracę ucieleśnioną w pierwotnym wzroście. Traktujemy ten argument poważnie i odpowiadamy na niego nie przez kwestionowanie, lecz za pomocą źródła pozbawionego zarówno zagrożenia żelaznego, jak i kosztu środowiskowego.

Bloki Equatorial Elevation są frezowane z teku zarządzanych plantacji, uprawianego w pasie 5 deg od równika geomagnetycznego na dzierżawionych, certyfikowanych terenach objętych zasadą ponownego sadzenia po ścinie. Właściwym porównaniem zrównoważonego rozwoju nie jest drewno odzyskane kontra wyrąb starodrzewu -- to fałszywy wybór -- lecz drewno odzyskane kontra zarządzana plantacja, której drzewa sadzi się właśnie po to, by je ścinać, które podczas wzrostu wiążą węgiel i które zastępuje się w stałym cyklu. Zarządzana plantacja równikowa zapewnia korzyść środowiskową, za którą ceni się odzysk (brak nacisku na starodrzew, cykl odnawialny), a dodatkowo jedną rzecz, której odzysk strukturalnie zapewnić nie może: dziewiczą historię łączników. Plantacyjne drewno pierwszego przerobu nigdy nie trzymało gwoźdździ, nigdy nie wykrawało aureoli taninianu żelaza i nigdy nie przeszło przez piłę, która obsiała je opiłkami. Przybywa z czystą kartą magnetyczną, jedynym stanem początkowym, z którego w ogóle można osiągnąć 5N.

Nie istnieje wreszcie droga rekultywacji odzyskanej kantówki do wymaganej klasy. Odrębne wtrącenia dają się czasem wydłubać, lecz wykop pozostawia ubytek i nie dosięga rozpuszczonej aureoli; aureolę można usunąć tylko przez wycięcie poplamionej objętości, która w mocno zabarwionej belce stodołowej stanowi większość użytecznego drewna. Ekonomia i fizyka wskazują ten sam kierunek. Taniej, czystiej i metrologicznie poprawniej jest zacząć od drewna, które wyrosło czyste, niż ścigać żelazo w drewnie, które rosnęło, a potem żyło, jako brudne.

7. WNIOSKI

Drewno odzyskane, porożbiórkowe, stodołowe i poprzemysłowe jest zdyskwalifikowane jako materiał podpór audio nie z powodu preferencji estetycznej ani słabości samego drewna, lecz z powodu historii łączników. Służba konstrukcyjna oznacza zatopione żelazo, zatopione żelazo oznacza trwałe wtrącenie o dużej przenikalności w ścieżce obciążenia kabla, a w gatunkach liściastych o aktywnych garbnikach oznacza również rozmytą paramagnetyczną aureolę korozyjną o rząd wielkości większą od metalu, który ją wytworzył. W naszym badaniu przesiewowym wtrącenia ferromagnetyczne wystąpiły w 74 procent odzyskanych kantówek należących do czterech klas pochodzenia, a dąb stodołowy -- klasa najbardziej romantyzowana -- nie przeszedł testu w 19 z 20 przypadków. Argument pojedynczego gwoźdźka pokazuje, że nawet jedno takie wtrącenie wystarcza do dyskwalifikacji, zatem odsetek badania raczej zaniża, niż wyolbrzymia problem.

Zapewnienie „sprawdzone wykrywaczem metalu” oferowane w marketingu drewna odzyskanego oznacza próg ochrony maszyn o rzędy wielkości zgrubniejszy od klasy neutralności audio i zgodnie z projektem przepuszcza dokładnie te zanieczyszczenia submiligramowe i rozpuszczone, które ma wychwycić klasa Bosque, Ferro, Parka i Tanaki (2026). Jest to rzeczywisty i użyteczny pomiar, który odpowiada na pytanie niebędące pytaniem audio. Z tego powodu bloki Equatorial Elevation frezuje się wyłącznie z plantacyjnego surowca pierwszego przerobu, nigdy z odzyskanego drewna jakiegokolwiek pochodzenia. Środowiskowy argument za odzyskiem jest autentyczny i w pełni odpowiada mu zarządzana plantacja równikowa, uprawiana do ścinki i ponownego sadzenia -- drewno niosące korzyść zrównoważonego rozwoju bez żelaza i rozpoczynające, jak musi każda klasyfikowana kantówka, z czystą kartą magnetyczną.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Klasyfikacja magnetycznej neutralności drewna konstrukcyjnego: klasy czystości N dla materiałów podpierających przewody audio. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Korozja wydobytego żelaza archeologicznego ze szczegółowym opisem wysięków i akaganeitu. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Rozkład żelaza i siarki oraz ich form chemicznych w odniesieniu do procesów degradacji drewna. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Katalizowane żelazem utlenianie węglowodanów drewna. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Wytyczne dobrych praktyk w wykrywaniu metali żelaznych i nieżelaznych w odzyskanym drewnie konstrukcyjnym. RWC Technical Bulletin TB-07, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Gradiometria transduktorowa i tomografia komputerowa w przesiewowym wykrywaniu wtrąceń ferromagnetycznych w kantówkach drewnianych. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.