



KLASYFIKACJA MAGNETYCZNEJ
NEUTRALNOŚCI DREWNA
KONSTRUKCYJNEGO: KLASY
CZYSTOŚCI N DLA MATERIAŁÓW
PODPIERAJĄCYCH PRZEWODY
AUDIO WRAZ Z CHARAKTERYSTYKĄ
ŚLADOWEJ PARAMAGNETYCZNOŚCI
TEKU RÓWNIKOWEGO



Klasyfikacja magnetycznej neutralności drewna konstrukcyjnego: klasy czystości N dla materiałów podpierających przewody audio wraz z charakterystyką śladowej paramagnetyczności teku równikowego

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstrakt

Przewodniki audio rutynowo specyfikuje się według metalurgicznych klas czystości -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%) i wyższych -- natomiast materiały konstrukcyjne, które te przewodniki podpierają, unoszą i zakańczają, określa się, o ile w ogóle, na podstawie wyglądu. Jest to asymetria bez uzasadnienia: materiał podporowy pozostający w ciągłym kontakcie z kablem sygnałowym uczestniczy w jego bliskim środowisku elektromagnetycznym, zatem jego właściwości magnetyczne i dielektryczne są mierzalnymi parametrami instalacji, a nie dekoracją. Proponujemy klasyfikację czystości N dla drewna konstrukcyjnego, analogiczną do skali N dla metali, lecz zdefiniowaną przez wielkość istotną dla nieprzewodnika: szcztątkową zawartość składników paramagnetycznych. Klasę drewna wyznacza jego objętościowa podatność magnetyczna oraz, równoważnie, łączny udział masowy dominujących zanieczyszczeń paramagnetycznych -- żelaza i manganu -- oznaczony metodą spektrometrii mas z plazmą sprzężoną indukcyjnie po mikrofalowym roztwarzaniu kwasowym. Charakteryzujemy 11 gatunków kandydujących i wykazujemy, że większość meblowych gatunków liściastych -- zwłaszcza dąb biały, zawierający od 41 do 190 ppm żelaza -- nie osiąga neutralności 4N, podczas gdy tek plantacyjny (*Tectona grandis*), uprawiany w pasie 5 deg od równika geomagnetycznego, osiąga przy dostawie 5N (99.999 procent magnetycznie neutralny, $Fe + Mn \leq 10$ ppm), a po selekcji pojedynczych kantówek -- 6N. Przedstawiamy aparaturę, granice klas, dielektryczne skutki orientacji włókien i wilgotności oraz zmianę statusu neutralnego drewna na „magnetycznie zdegradowane” po zastosowaniu dowolnego wykończenia katalizowanego metalem.

1. WPROWADZENIE

Rynek przewodników audiofilskich jest zorganizowany wokół czystości. Miedź beztlenową sprzedaje się jako 4N (99.99 procent), 5N, 6N oraz -- na granicy możliwości rafinacji elektrolitycznej -- 7N. Każda kolejna dziewiątka oznacza usunięcie centrum rozpraszania, zanieczyszczenia na granicy ziaren lub wtrącenia paramagnetycznego. To, czy słyszalna korzyść z ostatniej dziewiątki przetrwa kontrolowany test odsłuchowy, jest osobnym zagadnieniem, omówionym gdzie indziej w tym czasopiśmie; tutaj istotne jest, że branża dysponuje ścisłym, ilościowym i powszechnie rozumianym słownikiem czystości przewodnika.

Dla niczego innego taki słownik nie istnieje. Kabel otrzymuje klasę siedmiu dziewiątek, po czym kładzie się go na podłodze, mocuje do ściany albo opiera na podporze o całkowicie nieokreślonym składzie. Podporę wybiera się według koloru. Taką pozycję zajmuje drewno w systemie audio: przenosi obciążenie, pozostaje w ciągłym fizycznym kontakcie z przewodem sygnałowym i jest metrologicznie niewidzialne.

Uważamy to za niemożliwe do obrony. Materiał podporowy stykający się z kablem należy do jego bezpośredniego środowiska dielektrycznego i magnetycznego. Jeżeli zawiera wtrącenia ferromagnetyczne -- fragment opiłka z piły taśmowej, odłamany zszywacz, żelazo pobrane przez drzewo z gleby i związane w twardzieli -- tworzy wzdłuż trasy lokalną nieciągłość przenikalności. Jeżeli jest higroskopijny i polarny, tworzy rozłożoną pojemność zależną od wilgotności. Są to te same wielkości, które ma kontrolować klasa czystości samego przewodnika. Specyfikowanie od jednej do sześciu dziewiątek, a pozostawienie drugiej kwestii stolarzowi, jest niespójne.

W niniejszej pracy proponujemy klasyfikację N dla drewna konstrukcyjnego, zdefiniowaną nie przez czystość chemiczną w sensie objętościowym -- drewno składa się mniej więcej w połowie z węgla i nigdy nie będzie w żadnym sensownym znaczeniu „99.999 procent drewnem” -- lecz przez jedną właściwość sprzęgającą drewno z torem sygnału audio: szcztątkową zawartość składników paramagnetycznych i wynikającą z niej objętościową podatność magnetyczną.

2. KLASA NEUTRALNOŚCI I SKALA N

Suche drewno jest diamagnetyczne. Celuloza, lignina i woda związana mają niewielką ujemną objętościową podatność magnetyczną, a czyste drewno bez zanieczyszczeń pozostaje w pobliżu $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, bezwymiarowa podatność objętościowa), co odpowiada względnej przenikalności μ_r równej 0.999994 -- praktycznie nieodróżnialnej od jedności, a w istocie odrobinę od niej mniejszej. Idealnie neutralne drewno nie jest więc jedynie niemagnetyczne; jest słabo i powtarzalnie diamagnetyczne, czyli dokładnie takie, jak powinien być materiał umieszczony w polu statycznym i quasi-statycznym bez jego zakłócania.

Za odchylenia od tej wartości bazowej odpowiadają niemal wyłącznie paramagnetyczne zanieczyszczenia metalami przejściowymi, przede wszystkim żelazem, a w dalszej kolejności manganem. Drzewo jest pompą minerałów: pobiera jony



metali z wody glebowej i nierównomiernie odkłada je w swoich tkankach. Zawartość żelaza waha się więc od kilku części na milion w czystym drewnie plantacyjnym do setek części na milion w gatunkach, których związki garbnikowe aktywnie chelatują żelazo. Każda część żelaza na milion wnosi niewielki dodatni przyrost podatności, podnosząc drewno od jego diamagnetycznego minimum ku neutralności magnetycznej, a w najgorszych gatunkach -- poza nią.

Dlatego klasę neutralności drewna definiujemy na podstawie łącznego udziału masowego żelaza i manganu oraz, równoważnie, zmierzonego odchylenia objętościowej podatności magnetycznej od diamagnetycznej wartości bazowej:

- 4N (99.99 procent neutralności): $Fe + Mn \leq 100$ ppm. Typowy poziom nieselekcjonowanego drewna meblowego.
- 5N (99.999 procent neutralności): $Fe + Mn \leq 10$ ppm; podatność szczątkowa w granicach $\pm 1 \times 10^{-6}$ od diamagnetycznej wartości bazowej. Specyfikacja dostawy Equatorial Audio.
- 6N (99.9999 procent neutralności): $Fe + Mn \leq 1$ ppm; podatność netto nadal diamagnetyczna w granicach niepewności pomiaru. Osiągalna przez selekcję pojedynczych kantówek.
- 7N: $Fe + Mn \leq 0.1$ ppm. Odnotowana tutaj dla dwóch spośród 340 przebadanych kantówek tekowych. Nie jest klasą produkcyjną.

Przyznajemy, że wartości procentowe są retorycznym zapożyczeniem z konwencji metalurgicznej, a nie miarą składu objętościowego; „99.999 procent neutralności” oznacza 10 ppm istotnego zanieczyszczenia, a nie 10 ppm substancji innej niż drewno. Zachowujemy tę notację, ponieważ czytelnik już się nią posługuje, a wielkość leżąca u jej podstaw -- paramagnetyczne części na milion -- jest mierzona identycznie jak zanieczyszczenia katody przez rafinera miedzi.

3. APARATURA I METODA

Nadanie klasy kantówce wymaga trzech niezależnych pomiarów magnetycznych i chemicznych -- skanowania wtrąceń żelaznych, wyznaczenia podatności objętościowej i analizy metali śladowych -- oraz charakterystyki dielektrycznej do modelowania instalacji.

Skanowanie wtrąceń żelaznych. Każdą kantówkę przesuwamy na napędzanym stole z prędkością 20 mm/s przez macierz gradiometrów transduktorowych (Bartington Grad-13, trzy osie, rozdzielczość 1 nT). Gradiometr wykrywa odrębne wtrącenia ferromagnetyczne -- wbite gwoździe, śrut, opiłki z piły taśmowej, czyli typowe zanieczyszczenia każdego drewna, które przeszło przez maszyny przemysłowe -- aż do fragmentów mniejszych niż milimetr na głębokości 30 mm. Drewno odzyskane i porożbiórkowe regularnie nie przechodzi tego skanowania; jest to główny powód, dla którego bloki Equatorial Elevation powstają z plantacyjnego surowca pierwszego przerobu, nigdy zaś z drewna odzyskanego, niezależnie od romantyzmu jego pochodzenia.

Podatność objętościowa. Z każdej zaakceptowanej kantówki pobiera się rdzeń o średnicy 12 mm i mierzy magnetometrem z drgającą próbką (Lake Shore 8600, czułość 5×10^{-8} emu) w temperaturze 300 K. VSM zwraca objętościową podatność magnetyczną netto, z której bezpośrednio odczytuje się kryterium magnetyczne klasy. Czysty rdzeń tekowy daje wynik ujemny; rdzeń dębowy często dodatni.

Analiza metali śladowych. Zmierzony rdzeń jest następnie mielony kriogenicznie, roztwarzany mikrofalowo w mieszaninie kwasu azotowego i fluorowodorowego oraz analizowany metodą spektrometrii mas z plazmą sprzężoną indukcyjnie (ICP-MS) pod kątem Fe, Mn, Ni, Co i Cr. Jest to ten sam protokół dendrochemiczny, którym odtwarza się historię zanieczyszczeń z przyrostów rocznych drzew, zastosowany tu w celu, którego -- jak przyznajemy -- jego twórcy nie przewidzieli. Wartość $Fe + Mn$ wyznacza chemiczne kryterium klasy; kryteria magnetyczne i chemiczne muszą zgadzać się w obrębie danego przedziału, inaczej kantówkę odrzuca się jako wewnętrznie niespójną, co zwykle wskazuje na wtrącenie przeoczone przez gradiometr.

Charakterystyka dielektryczna. Na potrzeby modelowania instalacji mierzymy względną przenikalność elektryczną i tangens kąta strat na obrobionych próbkach za pomocą ekranowanej komórki z równoległymi płytkami i analizatora impedancji (Keysight E4990A), od 20 Hz do 10 MHz, wzdłuż i w poprzek włókien oraz po kondycjonowaniu do wilgotności 8, 12 i 16 procent. Wartości te nie wchodzą do klasy neutralności -- dielektryk nie jest zanieczyszczeniem magnetycznym -- lecz określają pojemność rozłożoną wnoszoną przez gotową podporę do kabla i są podawane obok klasy na certyfikacie każdego egzemplarza.

4. WYNIKI: PORÓWNANIE GATUNKÓW

Przebadano jedenaście gatunków, po $n = 20$ kantówek każdego z nich. Wyniki dzielą się wyraźnie na trzy grupy.

Gatunki odrzucone. Najgorszy wynik uzyskał dąb biały (*Quercus alba*): od 41 do 190 ppm żelaza i dodatnia podatność netto w 14 z 20 kantówek. Przyczyna jest dobrze znana każdemu, kto zostawił stalowy ścisk na wilgotnym dębie przez noc: wysoka zawartość garbników w dębie chelatuje żelazo, tworząc taninian żelaza -- niebieskoczarowy składnik atramentu żelazowo-galusowego -- dzięki czemu dąb aktywnie gromadzi dokładnie to zanieczyszczenie, które karze niniejsza skala. Dąb jest pięknym drewnem i magnetycznie nieprzyjaznym. Orzech i czereśnia wypadły lepiej, lecz ich średnia nadal



odpowiadała 4N lub niżej.

Trawy i kompozyty. Bambus, często sprzedawany jako zrównoważone „drewno”, jest trawą o dużej zawartości krzemionki i nieregularnej chemii węglów; jego podatność była zdominowana przez mineralne wtrącenia wielkości ziarna, przez co nie dało się przypisać mu stabilnej klasy. Płyta pilśniowa średniej gęstości (MDF) odpadła na zupełnie innej osi: jej spoiwo mocznikowo-formaldehadowe jest silnie polarne, nadaje względną przenikalność elektryczną od 4 do 6 i tangens kąta strat o rząd wielkości większy niż w litym drewnie, a proces wytwarzania sprzyja osadzaniu drobnych cząstek metalu. MDF zostaje zdyskwalifikowany jako materiał podporowy z przyczyn dielektrycznych, zanim w ogóle rozważy się jego klasę magnetyczną.

Wynik teku. Tek plantacyjny (*Tectona grandis*) uprawiany w pasie 5 deg od równika geomagnetycznego wykazał od 3 do 9 ppm Fe + Mn w 20 kantówkach, podatność diamagnetyczną netto w każdej próbce i klasę dostawy 5N. Po selekcji pojedynczych kantówek metodami VSM i ICP-MS 31 spośród 340 przebadanych sztuk osiągnęło 6N, a dwie -- 7N. Przewaga teku równikowego nie jest mistyczna: rośnie szybko na zarządzanych, wypłukanych glebach plantacyjnych o małej zawartości żelaza, jest ścinany młodo, zanim zgromadzi minerały głęboko w twardzieli, i nie wykazuje chemii garbnikowo-żelazowej dyskwalifikującej dąb. Jego stała dielektryczna 2.1 przy wilgotności 12 procent jest najniższa ze wszystkich przebadanych gatunków i zbliża się do wartości pianek technicznych stosowanych w oprzyrządowaniu RF.

5. PROBLEM WYKOŃCZENIA

Klasa drewna jest właściwością drewna, a nie przedmiotu, który z niego powstanie -- zaś najczęstszym sposobem zniszczenia dobrej klasy jest wykończenie powierzchni.

Niemal wszystkie wykończenia olejowe, lakiernicze i werniksowe utwardza się za pomocą metalicznych sykatyw: soli kobaltu, manganu i cyrkonu kwasu naftenowego lub 2-etyloheksanowego, dodawanych w ułamku procenta w celu katalizowania oksydacyjnego sieciowania utwardzającego powłokę. Kobalt i mangan są paramagnetyczne, a zawartość sykatywy wynosząca zaledwie 0.05 procent metalu odkłada na metrze kwadratowym wykończonej powierzchni większą masę paramagnetyczną, niż zawiera cała leżąca pod nią kantówka 5N. Zmierzyliśmy próbkę teku 5N przed nałożeniem pojedynczej warstwy konwencjonalnego pokostu lnianego i po nim: jej podatność odniesiona do powierzchni wzrosła od diamagnetycznej wartości bazowej do wartości dodatniej netto, zmieniając klasę próbki z 5N na poniżej 4N. Drewno się nie zmieniło. Wykończenie przywróciło zanieczyszczenie -- i umieściło je dokładnie na powierzchni, w bezpośrednim kontakcie z kablem, czyli w najgorszym możliwym miejscu.

Jest to pomiarowa podstawa -- nie preferencja estetyczna -- dostarczania bloków Equatorial Elevation bez wykończenia. Powłoka odwróciłaby w ostatnim kroku, i w miejscu najbardziej aktywnym magnetycznie, cały proces selekcji, dzięki któremu kantówka uzyskała swoją klasę. Srebrnoszara patyna pojawiająca się z czasem na niewykończonym teku jest wynikiem pierwiastkowego utleniania własnej powierzchni drewna; nie dodaje metalu paramagnetycznego, stanowi więc zmianę kosmetyczną i magnetycznie żadną.

6. ANIZOTROPIA WŁÓKIEN I DIELEKTRYCZNA ŚCIEŻKA OBCIĄŻENIA

Drewno jest dielektrycznie anizotropowe. W naszych próbkach teku względna przenikalność elektryczna wzdłuż włókien przewyższała wartość w poprzek włókien o 22 do 28 procent przy wilgotności 12 procent, a tangens kąta strat zachowywał tę samą orientację. Fizyczną przyczyną są uporządkowana, rurkowa struktura komórek oraz układ dipoli wody związanej wzdłuż włókna. W materiale podporowym anizotropia ta nie jest uciążliwością, którą należy uśrednić; jest zmienną projektową.

Kabel spoczywa w gnieździe wyfrezowanym w górnej powierzchni każdego bloku, zatem dominujące sprzężenie pojemnościowe między kablem a podporą przebiega przez krótki pionowy słup drewna bezpośrednio pod gniazdem. Obrabiając każdy blok z pionowym przebiegiem włókien -- słoje wzrostu widoczne na górnej powierzchni, włókna biegnące pionowo wzdłuż ścieżki obciążenia -- kierujemy oś poprzeczną o mniejszej przenikalności do płaszczyzny poziomej, gdzie pole kabla jest najsilniejsze, a oś podłużną o większej przenikalności zachowujemy dla pionowego kierunku przenoszenia obciążenia, w którym elektrycznie nie szkodzi, a mechanicznie wyraźnie pomaga. Orientację czołową przyjęto pierwotnie ze względu na sztywność przy ściskaniu; jej uzasadnienie dielektryczne wynikało z tych pomiarów później i niezależnie potwierdza wybór.

Wilgotność steruje całym zjawiskiem. Względna przenikalność elektryczna i tangens kąta strat gwałtownie rosną wraz z ilością wody związanej, dlatego każda sklasyfikowana kantówka jest suszona komorowo u źródła do 12 +/- 1 procent, a harmonogram konserwacji przewiduje coroczny pomiar wilgotności. Podpora, która wchłonęła wodę i przeszła z wilgotności 12 do 18 procent, zmieniła swój wkład dielektryczny bardziej, niż mogłaby to uczynić jakakolwiek różnica między gatunkami.



7. DYSKUSJA I WNIOSKI

Proponowana tu skala N świadomie pasyżtuje na konwencji, której czytelnik już ufa. Audiofil gotów zapłacić za szóstą dziewiątkę miedzianego przewodnika zaakceptował już założenie, że warto kontrolować szczątkowe zanieczyszczenia paramagnetyczne i centra rozpraszania mierzone w częściach na milion. Zastosowaliśmy jedynie to założenie i tę samą klasę pomiaru do materiału, na którym przewodnik spoczywa -- i stwierdziliśmy, że branżowy zwyczaj klasyfikowania metalu do sześciu dziewiątek, a następnie opierania go na niesklasyfikowanym drewnie liściastym zawierającym żelazo i aktywne garbniki, jest asymetrią, która nie wytrzymuje wypowiedzenia jej na głos.

Tek z plantacji równikowych osiąga przy dostawie neutralność 5N, po selekcji 6N, i robi to z przyczyn całkowicie prozaicznych: warunków wzrostu ubogich w żelazo, młodego wieku ścinki, braku chemii garbnikowo-żelazowej, małej zawartości żywic oraz diamagnetycznej wartości bazowej wspólnej dla całego czystego drewna. Nie jest materiałem magicznym. Jest materiałem czystym, zmierzonym, sklasyfikowanym i pozostawionym bez wykończenia, aby takim pozostał. Każdy blok Equatorial Elevation opuszcza zakład z klasą swojej kantówki, wartością Fe + Mn i zmierzoną podatnością wydrukowanymi na certyfikacie. Zachęcamy czytelnika, by poprosił dowolnego innego producenta podpór audio o odpowiadające im liczby i odnotował odpowiedź.

BIBLIOGRAFIA

- [1] James, W. L. (1975). Właściwości dielektryczne drewna i płyt pilśniowych: zmienność wraz z temperaturą, częstotliwością, wilgotnością i orientacją włókien. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Właściwości dielektryczne drewna i materiałów drewnopochodnych. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Relacje drewno-woda. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Czynniki anatomiczne, chemiczne i ekologiczne wpływające na wykorzystanie drewna w dendrochemii. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Klasyfikacja magnetycznej neutralności drewna konstrukcyjnego: aparatura i granice klas. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Pomiar przenikalności anizotropowych ciał stałych o małych stratach za pomocą ekranowanej komórki z równoległymi płytkami. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.