



**MAGNETISK
NEUTRALITETSKLASSIFICERING
AF KONSTRUKTIONSTRÆ: EN
RENHEDSKLASSIFIKATION PÅ
N-SKALAEN FOR
STØTTEMATERIALER TIL
LYDKABLER MED
KARAKTERISERING AF
SPORMÆNGDER AF
PARAMAGNETISME I ÆKVATORIAL
TEAK**



Magnetisk neutralitetsklassificering af konstruktionstræ: en renhedsklassifikation på N-skalaen for støttematerialer til lydkabler med karakterisering af spormængder af paramagnetisme i ækvatorial teak

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.

Resumé

Lydledere specificeres rutinemæssigt efter metallurgiske renhedsgrader -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%) og derover -- mens de konstruktionsmaterialer, der støtter, hæver og terminerer lederne, hvis de overhovedet specificeres, vælges efter udseende. Det er en asymmetri uden begrundelse: et støttemateriale i vedvarende kontakt med et signalkabel indgår i kablets elektromagnetiske nærfeltsmiljø, og dets magnetiske og dielektriske egenskaber er derfor målbare input til installationen, ikke dekorative egenskaber. Vi foreslår en renhedsklassifikation på N-skalaen for konstruktionstræ, analog med N-skalaen for metaller, men defineret ud fra den størrelse, der er relevant for en ikke-leder: resterende paramagnetisk indhold. Træets grad fastlægges ved dets magnetiske volumenssusceptibilitet og, ækvivalent, ved den samlede massefraktion af de dominerende paramagnetiske forureninger jern og mangan, bestemt ved induktivt koblet plasma-massespektrometri efter mikrobølgeassisteret syrenedbrydning. Vi karakteriserer 11 kandidattræarter og viser, at de fleste møbeltræsarter -- især hvid eg, med 41 til 190 ppm jern -- ligger under neutralitetsgrad 4N, mens plantageteak (*Tectona grandis*), der er dyrket inden for 5 deg fra den geomagnetiske ækvator, når 5N ved levering (99.999 procent magnetisk neutral, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) og 6N efter udvælgelse af enkelte træemner. Vi beskriver instrumenteringen, gradgrænserne, de dielektriske konsekvenser af fiberorientering og fugtindhold samt den omklassificering fra neutralt til "magnetisk kompromitteret" træ, der følger af enhver metalkatalyseret overfladebehandling.

1. INDLEDNING

Markedet for audiofile ledere er organiseret omkring renhed. Iltfrit kobber sælges som 4N (99.99 procent), 5N, 6N og -- ved grænsen for, hvad elektrolytisk raffinering kan levere -- 7N. Hver yderligere nier forstås som fjernelsen af et spredningssted, en urenhed ved en korngrense eller en paramagnetisk indeslutning. Om den hørbare fordel ved den sidste nier overlever en kontrolleret lyttetest, er et andet spørgsmål, som behandles andetsteds i dette tidsskrift; pointen her er, at branchen råder over et stringent, kvantitativt og alment forstået ordforråd for en leders renhed.

Den råder ikke over et tilsvarende ordforråd for noget andet. Kablet klassificeres til syv niere og lægges derefter på et gulv, fastgøres i en væg eller hviler på en støtte med fuldstændig uspecificeret sammensætning. Støtten vælges efter farven. Det er træets position i et lydsystem: konstruktivt bærende, i vedvarende fysisk kontakt med signallederen og metrologisk usynligt.

Vi finder dette uforvarsligt. Et støttemateriale i kontakt med et kabel er en del af kablets umiddelbare dielektriske og magnetiske miljø. Hvis det indeholder ferromagnetiske indeslutninger -- et stykke spån fra en båndsav, en knækket klamme, det jern, som træet optog fra jorden og bandt i kerneveddet -- skaber det en lokal permeabilitetsdiskontinuitet langs kabeltrækket. Hvis det er hygroskopisk og polært, skaber det en distribueret, fugtafhængig kapacitans. Det er de samme størrelser, som lederens egen renhedsgrad findes for at kontrollere. Det er inkonsekvent at specificere den ene til seks niere og overlade den anden til møbelsnedkeren.

Denne artikel foreslår en N-klassifikation for konstruktionstræ, defineret ikke ud fra kemisk renhed i bulkforstand -- omtrent halvdelen af træ er kulstof og bliver aldrig meningsfuldt "99.999 procent træ" -- men ud fra den ene egenskab, som kobler træ til en lydsignalvej: dets resterende paramagnetiske indhold og den magnetiske volumenssusceptibilitet, som dette indhold frembringer.

2. NEUTRALITETSGRADEN OG N-SKALAEN

Tørt træ er diamagnetisk. Cellulose, lignin og bundet vand har hver en lille negativ magnetisk volumenssusceptibilitet, og rent træ uden forurening ligger nær $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, dimensionsløs volumenssusceptibilitet), svarende til en relativ permeabilitet μ_r på 0.999994 -- umulig at skelne fra én og faktisk en anelse lavere. Fuldstændig neutralt træ er således ikke blot umagnetisk; det er svagt og reproducerbart diamagnetisk, hvilket er den korrekte og ønskelige tilstand for et materiale, der skal befinde sig i et statisk og kvasistatisk felt uden at forstyrre det.

Afvigelser fra denne grundlinje skyldes næsten udelukkende paramagnetiske forureninger af overgangsmetaller, hvor jern dominerer og mangan kommer på en fjern andenplads. Et træ er en mineralpumpe: det optager metalioner fra jordvandet og aflejrer dem ujævnt i sit væv. Jernindholdet strækker sig derfor fra få milliontedele i rent plantagetræ til hundredvis af milliontedele i arter med tanninkemi, der aktivt chelaterer jern. Hver milliontedel jern giver et lille positivt bidrag til susceptibiliteten og trækker træet op fra dets diamagnetiske bund mod -- og for de værste arter forbi -- magnetisk neutralitet.

Vi definerer derfor træets neutralitetsgrad ud fra den samlede massefraktion af jern og mangan og, ækvivalent, ud fra den målte afvigelse i magnetisk volumenssusceptibilitet fra den diamagnetiske grundlinje:



- 4N (99.99 procent neutral): Fe + Mn $\leq$ 100 ppm. Typisk for usorteret møbeltræ.
- 5N (99.999 procent neutral): Fe + Mn $\leq$ 10 ppm; resterende susceptibilitet inden for $\pm 1 \times 10^{-6}$ fra den diamagnetiske grundlinje. Equatorial Audios leveringsspecifikation.
- 6N (99.9999 procent neutral): Fe + Mn $\leq$ 1 ppm; nettosusceptibiliteten stadig diamagnetisk inden for måleusikkerheden. Kan opnås ved udvælgelse af enkelte træemner.
- 7N: Fe + Mn $\leq$ 0.1 ppm. Rapporteret her for to teakemner ud af 340 undersøgte. Ikke en produktionsgrad.

Procenterne er, indrømmer vi, et retorisk lån fra metalkonventionen snarere end et mål for bulksammensætning; "99.999 procent neutral" betegner 10 ppm af den forurening, der betyder noget, ikke 10 ppm ikke-træ. Vi beholder betegnelsen, fordi det er den betegnelse, læseren allerede ræsonnerer i, og fordi den underliggende størrelse -- paramagnetiske milliontedele -- måles på samme måde, som en kobberaffinør måler urenhederne i en katode.

3. INSTRUMENTERING OG METODE

Klassificering af et træemne kræver tre uafhængige magnetiske og kemiske målinger -- en scanning for jernholdige indeslutninger, en bestemmelse af bulksusceptibilitet og en analyse af spormetaller -- samt en dielektrisk karakterisering til installationsmodellering.

Scanning for jernholdige indeslutninger. Hvert emne føres gennem et sæt fluxgate-gradiometre (Bartington Grad-13, tre akser, opløsning 1 nT) på et motoriseret leje med 20 mm/s. Gradiometeret registrerer diskrete ferromagnetiske indeslutninger -- indlejrede søm, hagl, båndsavsspåner, de almindelige forureninger i træ, der har passeret industrimaskiner -- ned til fragmenter under en millimeter på 30 mm dybde. Genbrugstræ og bjærget træ fejler rutinemæssigt denne scanning; det er hovedårsagen til, at Equatorial Elevation Blocks fræses af plantagestræ fra første bearbejdning og aldrig af genbrugstræ, uanset hvor romantisk dets proveniens er.

Bulksusceptibilitet. En kerne på 12 mm udtages fra hvert godkendt emne og måles i et vibrationsprøvemagnetometer (Lake Shore 8600, følsomhed 5×10^{-8} emu) ved 300 K. VSM leverer netto-volumensusceptibiliteten, hvorfra gradens magnetiske kriterium aflæses direkte. En ren teakkerne giver et negativt resultat; en egekerne giver ofte et positivt.

Analyse af spormetaller. Den målte kerne krydles derefter, nedbrydes med mikrobølger i salpeter- og flussyre og analyseres ved induktivt koblet plasma-massespektrometri (ICP-MS) for Fe, Mn, Ni, Co og Cr. Det er samme dendrokemiske protokol, som bruges til at rekonstruere forureningshistorik ud fra årringe, her anvendt til et formål, som vi medgiver, at ophavspersonerne ikke forudså. Værdien Fe + Mn bestemmer gradens kemiske kriterium; de magnetiske og kemiske kriterier skal stemme overens inden for gradbåndet, ellers afvises emnet som internt inkonsistent -- typisk tegn på en indeslutning, som gradiometeret overså.

Dielektrisk karakterisering. Til installationsmodelleringen måler vi relativ permittivitet og tabstangent på bearbejdede prøvelegemer med en afskærmet parallelpladecelle og en impedansanalysator (Keysight E4990A) fra 20 Hz til 10 MHz, langs og på tværs af fibre, konditioneret til et fugtindhold på 8, 12 og 16 procent. Disse værdier indgår ikke i neutralitetsgraden -- et dielektrikum er ikke en magnetisk forurening -- men de bestemmer den distribuerede kapacitans, som den færdige støtte tilfører kablet, og rapporteres sammen med graden på hver enheds certifikat.

4. RESULTATER: SAMMENLIGNING AF TRÆARTER

Elleve arter blev undersøgt med $n = 20$ emner af hver. Resultaterne deler sig tydeligt i tre grupper.

De underkendte. Hvid eg (*Quercus alba*) klarede sig dårligst med 41 til 190 ppm jern og positiv nettosusceptibilitet i 14 af 20 emner. Årsagen er velkendt for enhver, der har efterladt en ståltvinge på fugtig eg natten over: egens høje tanninindhold chelaterer jern til jernantant -- den blå-sortte forbindelse i jerngallusblæk -- og egen koncentrerer dermed aktivt netop den forurening, som graden straffer. Eg er et smukt træ og et magnetisk fjendtligt sådant. Valnød og kirsebær klarede sig bedre, men lå stadig i gennemsnit på 4N eller lavere.

Græsser og kompositter. Bambus, der ofte markedsføres som bæredygtigt "træ", er et græs med højt indhold af silica og uberegnelig knudekemi; dets susceptibilitet var domineret af mineralindeslutninger i kornskala, og det kunne ikke tildeles en stabil grad. Middeldensitetsfiberplade (MDF) fejlede på en helt anden akse: dets urea-formaldehyd-bindemiddel er stærkt polært, hvilket giver en relativ permittivitet på 4 til 6 og en tabstangent en størrelsesorden over massivt træ, og fremstillingen gør pladen tilbøjelig til indlejrede metalpartikler. MDF diskvalificeres som støttemateriale af dielektriske grunde, før dets magnetiske grad overhovedet overvejes.

Teakresultatet. Plantageateak (*Tectona grandis*), der er dyrket inden for 5 deg fra den geomagnetiske ækvator, gav 3 til 9 ppm Fe + Mn på tværs af 20 emner, netto-diamagnetisk susceptibilitet i hver prøve og graden 5N ved levering. Ved udvælgelse af enkelte emner med VSM plus ICP-MS opfyldte 31 af 340 undersøgte emner 6N, og to opfyldte 7N. Fordelen ved ækvatorial teak er ikke mystisk: den dyrkes hurtigt på forvaltede, udvaskede plantagejorder med lavt jernindhold, fældes ung før dyb mineralophobning i kerneveddet og er fri for den tannin-jernkemi, som straffer eg. Dens dielektricitetskonstant på 2.1 ved 12 procents fugtindhold er den laveste af alle undersøgte arter og nærmer sig værdien for de tekniske skumtyper, der anvendes i RF-fixture.



5. PROBLEMET MED OVERFLADEBEHANDLING

Et træes grad er en egenskab ved træet, ikke ved det objekt, det bliver til -- og den mest almindelige måde at ødelægge en god grad er at overfladebehandle træet.

Næsten alle olie-, fernis- og lakbehandlinger hærdes med metalliske sikkativer: kobolt-, mangan- og zirconiumsalte af naftensyre eller 2-ethylhexansyre, tilsat i brøkdele af en procent for at katalysere den oxidative tværbinding, som gør filmen hård. Både kobolt og mangan er paramagnetiske, og en sikkativedosering på blot 0.05 procent metal aflejrer mere paramagnetisk masse pr. kvadratmeter færdig overflade, end hele det underliggende 5N-emne indeholder. Vi målte et prøvelegeme af 5N-teak før og efter et enkelt lag konventionel kogt linolie: dets overfladerefererede susceptibilitet steg fra den diamagnetiske grundlinje til en positiv nettoværdi og omklassificerede prøvelegemet fra 5N til under 4N. Træet ændrede sig ikke. Overfladebehandlingen førte forureningen tilbage -- og placerede den præcist ved overfladen, i direkte kontakt med kablet, hvor den gør størst skade.

Det er det målte grundlag -- ikke en æstetisk præference -- for at levere Equatorial Elevation Blocks ubehandlede. En overfladebehandling ville i sidste trin og på det magnetisk mest aktive sted gøre hele den udvælgelsesproces, som gav emnet dets grad, til intet. Den sølvgrå patina, som ubehandlet teak udvikler med tiden, er elementær oxidation af træets egen overflade; den tilfører intet paramagnetisk metal og er en kosmetisk ændring, men magnetisk ingen.

6. FIBERANISOTROPI OG DEN DIELEKTRISKE BELASTNINGSVEJ

Træ er dielektrisk anisotropt. I vores teakprøver oversteg den relative permittivitet langs fibrene værdien på tværs med 22 til 28 procent ved 12 procents fugtindhold, og tabstangenten fulgte samme akse. Den fysiske årsag er den orienterede, rørformede cellestruktur og orienteringen af dipolerne i bundet vand langs fiberen. For et støttemateriale er denne anisotropi ikke en gene, der skal gennemsnitsberegnes væk; den er en designvariabel.

Kablet hviler i en vugge, der er fræset i oversiden af hver blok, så den dominerende capacitive kobling mellem kabel og støtte løber gennem den korte lodrette træsøjle direkte under vuggen. Ved at fræse hver blok med endetræet lodret -- årringene synlige på oversiden og fibrene løbende lodret langs belastningsvejen -- orienterer vi tværaksen med lavere permittivitet i det vandrette plan, hvor kablets felt er stærkest, og reserverer længdeaksen med højere permittivitet til den lodrette, lastbærende retning, hvor den ikke gør elektrisk skade og gør betydelig mekanisk gevinst. Endetræorienteringen blev oprindeligt valgt for sin trykstivhed; det dielektriske argument fremkom senere af disse målinger og bekræfter uafhængigt valget.

Fugtindholdet styrer hele billedet. Både permittivitet og tabstangent stiger stejlt med mængden af bundet vand, hvilket er grunden til, at hvert klassificeret emne ovntørres ved oprindelsen til 12 +/- 1 procent, og at vedligeholdelsesplanen foreskriver en årlig fugtkontrol. En støtte, der har optaget fugt og er gået fra 12 til 18 procents fugtindhold, har ændret sit dielektriske bidrag mere, end nogen forskel mellem træarter nogensinde vil.

7. DISKUSSION OG KONKLUSION

Den N-skala, der foreslås her, snylter bevidst på en konvention, som læseren allerede stoler på. En audiofil, der vil betale for den sjette nier i en kobberleder, har allerede accepteret præmissen om, at resterende paramagnetiske forureninger og spredningsforureninger, målt i millionte dele, er værd at kontrollere. Vi har blot anvendt denne præmis og samme type måling på det materiale, som lederen hviler mod -- og fundet, at branchens vane med at klassificere metallet til seks niere og derefter lægge det på uklassificeret, jernholdigt og tanninaktivt løvtræ er en asymmetri, der ikke overlever at blive sagt højt.

Ækvatorial plantageteak når neutralitet 5N ved levering og 6N efter udvælgelse af helt prosaiske grunde: jernfattige vækstforhold, ung fældning, ingen tannin-jernkemi, lavt harpiksindhold og den diamagnetiske grundlinje, som den deler med alt rent træ. Det er ikke et magisk materiale. Det er et rent materiale, målt, klassificeret og efterladt ubehandlet, så det forbliver rent. Hver Equatorial Elevation Block leveres med træemnets grad, dets Fe + Mn-værdi og dets målte susceptibilitet trykt på certifikatet. Vi opfordrer læseren til at bede enhver anden producent af lydstøtter om de tilsvarende tal og notere svaret.

REFERENCER

- [1] James, W. L. (1975). Dielektriske egenskaber ved træ og træfiberplade: variation med temperatur, frekvens, fugtindhold og fiberorientering. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Dielektriske egenskaber ved træ og træbaserede materialer. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Forholdet mellem træ og vand. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Anatomiske, kemiske og økologiske faktorer, der påvirker anvendelsen af træ til dendrokemi. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Magnetisk neutralitetsklassificering af konstruktionstræ: instrumentering og gradgrænser. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Måling af permittivitet i anisotrope lavtabsmaterialer med en afskærmet parallelpladecelle. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.