



**MAGNETISK
NEUTRALITETSKLASSNING AV
KONSTRUKTIONSVIRKE: EN
RENHETSKLASSIFICERING ENLIGT
N-SKALAN FÖR STÖDMATERIAL
TILL LJUDKABLAR, MED
SPÅRPARAMAGNETISK
KARAKTERISERING AV
EKVATORIELL TEAK**



Magnetisk neutralitetsklassning av konstruktionsvirke: en renhetsklassificering enligt N-skalan för stödmateri till ljudkablar, med spårparamagnetisk karakterisering av ekvatoriell 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.

Sammanfattning

Ljudledare specificeras rutinmässigt enligt metallurgiska renhetsgrader -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%) och därutöver -- medan de konstruktionsmaterial som stöder, höjer och terminerar ledarna, om de alls specificeras, väljs efter utseende. Det är en omotiverad asymmetri: ett stödmateri i ständig kontakt med en signalkabel deltar i kabelns elektromagnetiska närfältsmiljö, och dess magnetiska och dielektriska egenskaper är därför mätbara indata till installationen, inte dekorativa sådana. Vi föreslår en renhetsklassificering enligt N-skalan för konstruktionsvirke, analog med N-skalan för metaller men definierad utifrån den storhet som är relevant för en icke-ledare: kvarvarande paramagnetiskt innehåll. Virkets grad fastställs genom dess magnetiska volymsusceptibilitet och, ekvivalent, genom den sammanlagda massfraktionen av de dominerande paramagnetiska föreningarna järn och mangan, bestämd med induktivt kopplad plasma-masspektrometri efter mikrovågsassisterad syranedbrytning. Vi karakteriserar 11 kandidatarter och visar att de flesta möbelträslag -- i synnerhet vitek, med 41 till 190 ppm järn -- ligger under neutralitetsgrad 4N, medan plantage-teak (*Tectona grandis*) odlad inom 5 deg från den geomagnetiska ekvatorn når 5N vid leverans (99.999 procent magnetiskt neutral, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) och 6N efter urval av enskilda virkesämnen. Vi redovisar instrumenteringen, gradgränserna, de dielektriska följderna av fiberorientering och fukthalt samt den omklassificering från neutralt till "magnetiskt komprometterat" virke som följer när en metallkatalyserad ytbehandling appliceras.

1. INLEDNING

Marknaden för audiofila ledare är organiserad kring renhet. Syrefri koppar säljs som 4N (99.99 procent), 5N, 6N och -- vid gränsen för vad elektrolytisk raffinering kan åstadkomma -- 7N. Varje ytterligare nia anses avlägsna ett spridningscentrum, en förening vid en korngrens eller en paramagnetisk inneslutning. Huruvida den hörbara nyttan av den sista nian överlever ett kontrollerat lyssningstest är en annan fråga, behandlad på annan plats i denna tidskrift; poängen här är att branschen har ett rigoröst, kvantitativt och allmänt förstått språk för en ledares renhet.

Den har inget motsvarande språk för någonting annat. Kabeln klassas till sju nior och läggs sedan på golvet, fästs i en vägg eller vilar på ett stöd med helt ospecificerad sammansättning. Stödet väljs efter färg. Det är tråets ställning i ett ljudsystem: konstruktivt lastbärande, i ständig fysisk kontakt med signalledaren och metrologiskt osynligt.

Vi anser detta oförsvarbart. Ett stödmateri i kontakt med en kabel är en del av kabelns omedelbara dielektriska och magnetiska miljö. Om det innehåller ferromagnetiska inneslutningar -- ett stycke spån från en bandsåg, en avbruten klammer, det järn som trädet tog upp ur marken och band i kärnveden -- skapar det en lokal permeabilitetsdiskontinuitet längs kabeldragningen. Om det är hygroskopiskt och polärt skapar det en distribuerad, fuktberoende kapacitans. Detta är samma storheter som ledarens egen renhetsgrad är avsedd att kontrollera. Det är inkonsekvent att specificera den ena till sex nior och överlåta den andra åt möbelsnickaren.

Denna artikel föreslår en N-klassificering för konstruktionsvirke, definierad inte utifrån kemisk renhet i bulkmening -- trä består till ungefär hälften av kol och kommer aldrig meningsfullt att vara "99.999 procent trä" -- utan utifrån den enda egenskap som kopplar trä till en ljudsignalväg: dess kvarvarande paramagnetiska innehåll och den magnetiska volymsusceptibilitet som detta innehåll ger upphov till.

2. NEUTRALITETSGRADEN OCH N-SKALAN

Torr trä är diamagnetiskt. Cellulosa, lignin och bundet vatten har var för sig en liten negativ magnetisk volymsusceptibilitet, och rent virke utan föreningar ligger nära $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, dimensionslös volymsusceptibilitet), motsvarande en relativ permeabilitet μ_r på 0.999994 -- omöjlig att skilja från ett och i själva verket en aning lägre. Fullständigt neutralt trä är alltså inte bara omagnetiskt; det är svagt och reproducerbart diamagnetiskt, vilket är det korrekta och önskvärda tillståndet för ett material som ska finnas i ett statiskt och kvasistatiskt fält utan att störa det.

Avvikelser från denna baslinje orsakas nästan helt av paramagnetiska föreningar av övergångsmetaller, där järn dominerar och mangan kommer på avlägsen andra plats. Ett träd är en mineralpump: det tar upp metalljoner ur markvattnet och avsätter dem ojämnt i sina vävnader. Järnhalten sträcker sig därför från några få miljondelar i rent plantagevirke till hundratals miljondelar i arter med tanninkemi som aktivt kelaterar järn. Varje miljondel järn ger ett litet positivt tillskott till susceptibiliteten och drar virket upp från dess diamagnetiska golv mot -- och för de sämsta arterna förbi -- magnetisk neutralitet.

Vi definierar därför virkets neutralitetsgrad utifrån den sammanlagda massfraktionen av järn och mangan och, ekvivalent, utifrån den uppmätta avvikelserna i magnetisk volymsusceptibilitet från den diamagnetiska baslinjen:



- 4N (99.99 procent neutral): Fe + Mn $\leq$ 100 ppm. Typiskt för osorterat möbelträ.
- 5N (99.999 procent neutral): Fe + Mn $\leq$ 10 ppm; kvarvarande susceptibilitet inom $\pm 1 \times 10^{-6}$ från den diamagnetiska baslinjen. Equatorial Audios leveransspecifikation.
- 6N (99.9999 procent neutral): Fe + Mn $\leq$ 1 ppm; nettosusceptibiliteten fortfarande diamagnetisk inom mätosäkerheten. Kan uppnås genom urval av enskilda virkesämnen.
- 7N: Fe + Mn $\leq$ 0.1 ppm. Redovisas här för två teakämnen av 340 undersökta. Ingen produktionsgrad.

Procentsatserna är, det medger vi, ett retoriskt lån från metallkonventionen snarare än ett mått på bulksammansättning; "99.999 procent neutral" betecknar 10 ppm av den förorening som är relevant, inte 10 ppm icke-trä. Vi behåller beteckningen eftersom det är den beteckning läsaren redan resonerar i och eftersom den underliggande storheten -- paramagnetiska miljondelar -- mäts på samma sätt som en kopparraffinör mäter föroreningarna i en katod.

3. INSTRUMENTERING OCH METOD

För att klassa ett virkesämne krävs tre oberoende magnetiska och kemiska mätningar -- skanning efter järnhaltiga inneslutningar, bestämning av bulksusceptibilitet och analys av spårmetaller -- samt en dielektrisk karakterisering för installationsmodellering.

Skanning efter järnhaltiga inneslutningar. Varje ämne förs genom en uppsättning fluxgate-gradiometrar (Bartington Grad-13, tre axlar, upplösning 1 nT) på en motoriserad bädd med 20 mm/s. Gradiometern urskiljer diskreta ferromagnetiska inneslutningar -- inbäddade spikar, hagel, bandsågsspån, de vanliga föroreningarna i virke som passerat industrimaskiner -- ned till submillimeterfragment på 30 mm djup. Återbrukat och bärgat virke misslyckas rutinmässigt i denna skanning; detta är huvudskälet till att Equatorial Elevation Blocks fräses ur plantagevirke från första bearbetningen och aldrig ur återbrukat trä, oavsett hur romantisk dess proveniens är.

Bulksusceptibilitet. En kärna på 12 mm tas ur varje godkänt ämne och mäts i en vibrationsprovsmagnetometer (Lake Shore 8600, känslighet 5×10^{-8} emu) vid 300 K. VSM ger nettovärdet för den magnetiska volymsusceptibiliteten, varifrån gradens magnetiska kriterium avläses direkt. En ren teakkärna ger ett negativt värde; en ekkärna ger ofta ett positivt.

Analys av spårmetaller. Den uppmätta kärnan kryomals därefter, bryts ned med mikrovågor i salpeter- och fluorvätesyra och analyseras med induktivt kopplad plasma-masspektrometri (ICP-MS) för Fe, Mn, Ni, Co och Cr. Detta är samma dendrokemiska protokoll som används för att rekonstruera föroreningshistorik ur årsringar, här tillämpat på ett ändamål som vi medger att dess upphovspersoner inte förutsåg. Värdet Fe + Mn bestämmer gradens kemiska kriterium; de magnetiska och kemiska kriterierna måste överensstämma inom gradbandet, annars underkänns ämnet som internt inkonsekvent -- vanligen ett tecken på en inneslutning som gradiometern missade.

Dielektrisk karakterisering. För installationsmodelleringen mäter vi relativ permittivitet och förlusttangent på bearbetade provbitar med en skärmad parallellplattcell och en impedansanalysator (Keysight E4990A) från 20 Hz till 10 MHz, längs och tvärs fibrerna, konditionerade till en fukthalt på 8, 12 och 16 procent. Dessa värden ingår inte i neutralitetsgraden -- ett dielektrikum är inte en magnetisk förorening -- men de bestämmer den distribuerade kapacitans som det färdiga stödet tillför kabeln och redovisas tillsammans med graden på varje enhets certifikat.

4. RESULTAT: JÄMFÖRELSE MELLAN TRÄSLAG

Elva arter undersöktes med $n = 20$ ämnen vardera. Resultaten delar tydligt upp sig i tre grupper.

Underkända arter. Vitek (*Quercus alba*) presterade sämst, med 41 till 190 ppm järn och positiv nettosusceptibilitet i 14 av 20 ämnen. Orsaken är välkänd för var och en som lämnat en ståltving på fuktig ek över natten: ekens höga tanninhalt kelaterar järn till järntannat -- den blåsvarta föreningen i järgallusbläck -- och eken koncentrerar därmed aktivt just den förorening som graden bestraffar. Ek är ett vackert träslag och ett magnetiskt fientligt sådant. Valnöt och körsbär klarade sig bättre men låg fortfarande i genomsnitt på 4N eller lägre.

Gräs och kompositer. Bambu, som ofta marknadsförs som hållbart "trä", är ett gräs med hög kiselhalt och oberäknelig nodkemi; dess susceptibilitet dominerades av mineralinneslutningar i kornskala och någon stabil grad kunde inte tilldelas. Medeldensitetsfiberskiva (MDF) underkändes i stället på en helt annan axel: dess urea-formaldehydbindemedel är starkt polärt, vilket ger en relativ permittivitet på 4 till 6 och en förlusttangent en storleksordning över massivt trä, och tillverkningen gör skivan mottaglig för inbäddade metallpartiklar. MDF diskvalificeras som stödmaterial av dielektriska skäl innan dess magnetiska grad ens övervägs.

Teakresultatet. Plantageateak (*Tectona grandis*) odlad inom 5 deg från den geomagnetiska ekvatorn gav 3 till 9 ppm Fe + Mn över 20 ämnen, nettodiamagnetisk susceptibilitet i varje prov och graden 5N vid leverans. Vid urval av enskilda ämnen med VSM plus ICP-MS uppfyllde 31 av 340 undersökta ämnen 6N och två uppfyllde 7N. Fördelen med ekvatoriell teak är inte mystisk: den snabbodlas på skötta, urlakade plantagejordar med låg järnhalt, avverkas ung innan mineraler hinner ansamlas djupt i kärnveden och saknar den tannin-järnkemi som missgynnar ek. Dess dielektricitetskonstant på 2.1 vid 12 procents fukthalt är den lägsta av alla undersökta arter och närmar sig värdet hos de tekniska skum som används i RF-fixturer.



5. YTBEHANDLINGSPROBLEMET

Ett virkesämnes neutralitetsgrad är en egenskap hos virket, inte hos föremålet det blir -- och det vanligaste sättet att förstöra en god grad är att ytbehandla träet.

Nästan alla olje-, ferniss- och lackytbehandlingar hårdas med metalliska sickativ: kobolt-, mangan- och zirkoniumsalter av naftensyra eller 2-etylhexansyra, tillsatta i bråkdelar av en procent för att katalysera den oxidativa tvärbinding som gör filmen hård. Både kobolt och mangan är paramagnetiska, och en sickativdos på så lite som 0.05 procent metall avsätter mer paramagnetisk massa per kvadratmeter färdig yta än hela det underliggande 5N-ämnet innehåller. Vi mätte en provbit av 5N-teak före och efter ett enda lager konventionell kokt linolja: dess ytbaserade susceptibilitet steg från den diamagnetiska baslinjen till ett positivt nettovärde och omklassificerade provbiten från 5N till under 4N. Träet förändrades inte. Ytbehandlingen återförde föroreningen -- och placerade den exakt vid ytan, i direkt kontakt med kabeln, där den gör störst skada.

Detta är den uppmätta grunden -- inte en estetisk preferens -- för att leverera Equatorial Elevation Blocks obehandlade. En ytbehandling skulle i sista steget och på den magnetiskt mest aktiva platsen göra hela den urvalsprocessen gjord som gav ämnet dess grad. Den silvergrå patina som obehandlad teak utvecklar med tiden är elementär oxidation av träs egen yta; den tillför ingen paramagnetisk metall och är en kosmetisk förändring men magnetiskt ingen alls.

6. FIBERANISOTROPI OCH DEN DIELEKTRISKA LASTVÄGEN

Trä är dielektriskt anisotropt. I våra teakprov översteg den relativa permittiviteten längs fibrerna värdet tvärs fibrerna med 22 till 28 procent vid 12 procents fukthalt, och förlusttangentsen följde samma axel. Den fysikaliska orsaken är den riktade, rörformiga cellstrukturen och orienteringen av dipolerna i bundet vatten längs fibern. För ett stödmaterial är denna anisotropi inte en olägenhet som ska medelvärdesbildas bort; den är en konstruktionsvariabel.

Kabeln vilar i en vaggå fräst i ovansidan av varje block, så den dominerande kapacitiva kopplingen mellan kabel och stöd löper genom den korta vertikala träpelaren direkt under vaggan. Genom att fräsa varje block med fibrerna vertikalt -- årsringarna synliga på ovansidan och fibrerna löpande lodrätt längs lastvägen -- orienterar vi tvärsaxeln med lägre permittivitet i det horisontella planet där kabelns fält är starkast och reserverar längdaxeln med högre permittivitet för den vertikala, lastbärande riktning där den inte gör någon elektrisk skada och betydande mekanisk nytta. Ändröorienteringen valdes ursprungligen för sin tryckstyvhet; det dielektriska argumentet framkom först senare ur dessa mätningar och bekräftar oberoende valet.

Fukthalten styr hela bilden. Både permittivitet och förlusttangens stiger brant med mängden bundet vatten, vilket är skälet till att varje klassat ämne ugnstorkas vid ursprunget till 12 +/- 1 procent och att underhållsschemat föreskriver en årlig fuktkontroll. Ett stöd som har absorberat sig från 12 till 18 procents fukthalt har förändrat sitt dielektriska bidrag mer än någon skillnad mellan träslag någonsin gör.

7. DISKUSSION OCH SLUTSATS

Den N-skala som föreslås här parasiterar avsiktligt på en konvention som läsaren redan litar på. En audiofil som betalar för den sjätte nian i en kopparledare har redan accepterat premisen att kvarvarande paramagnetiska föroreningar och spridningsföroreningar, mätta i miljondelar, är värda att kontrollera. Vi har bara tillämpat denna premiss, och samma slags mätning, på materialet som ledaren vilar mot -- och funnit att branschens vana att klassa metallen till sex nior och sedan lägga den på oklassat, järnhaltigt och tanninaktivt lövträ är en asymmetri som inte överlever att uttalas högt.

Ekvatoriell plantageteak når neutralitet 5N vid leverans och 6N efter urval, av helt prosaiska skäl: järnfattiga växtförhållanden, ung avverkning, ingen tannin-järnkemi, låg hartshalt och den diamagnetiska baslinjen som den delar med allt rent trä. Det är inget magiskt material. Det är ett rent material, uppmätt, klassat och lämnat obehandlat så att det förblir rent. Varje Equatorial Elevation Block levereras med virkesämnets grad, dess Fe + Mn-värde och dess uppmätta susceptibilitet tryckta på certifikatet. Vi uppmanar läsaren att be valfri annan tillverkare av ljudstöd om motsvarande siffror och notera svaret.

REFERENSER

- [1] James, W. L. (1975). Dielektriska egenskaper hos trä och träfiberskiva: variation med temperatur, frekvens, fukthalt och fiberorientering. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Dielektriska egenskaper hos trä och träbaserade material. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Förhållandet mellan trä och vatten. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Anatomiska, kemiska och ekologiska faktorer som påverkar användning av trä för dendrokemi. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Magnetisk neutralitetsklassning av konstruktionsvirke: instrumentering och gradgränser. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Mätning av permittivitet i anisotropa lågförlustmaterial med skärmd parallellplattcell. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.