



GENBRUGSTRÆ OG RISIKOEN VED JERNHOLDIGE INDESLUTNINGER: HVORFOR BJÆRGET TRÆ, LADETRÆ OG INDUSTRIELT GENBRUGSTRÆ ER MAGNETISK DISKVALIFICERET SOM STØTTEMATERIALE TIL LYDKABLER



Genbrugstræ og risikoen ved jernholdige indeslutninger: hvorfor bjærget træ, ladetræ og industrielt genbrugstræ er magnetisk diskvalificeret som støttemateriale til lydkabler

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Resumé

Genbrugstræ opnår en markedsføringspræmie bygget på proveniens: ladeeg med et århundredes vejrpåvirkning, harpiksholdig fyr hentet fra et nedrevet lager, teak bjærget fra en udfaset minestryger eller en pensioneret laboratoriebank. Romantikken er ægte, og bæredygtighedsargumentet er ikke useriøst. Men et støttemateriale vælges efter, hvad det gør ved kablet, der hviler på det, ikke efter sin biografi, og genbrugstræ har en defekt, som dets proveniens aktivt garanterer frem for blot at tillade: indlejret ferromagnetisk metal. Klippesøm, skruer, klammer, hegnskramper, bolte, fragmenter af pigtråd, indlejrede bly- og stålhagl samt spåner fra bånd- og rundsaven er almindeligt inventar i ethvert træ, der har levet et arbejdsliv. Det er ikke en sjælden forureningshændelse; det er grunden til, at savværker kører industrielle jerndetektorer foran hovedsaven, og at forhandlere af genbrugstræ overhovedet markedsfører træ som "metaldetekteret".

Vi rapporterer en screeningsundersøgelse af 96 genbrugte emner fra fire proveniensklasser -- ladeeg, fyr og gran fra industrilagre, genbrugsteak fra marine kilder og laboratorier samt eg fra vinfade -- som blev ført gennem et fluxgate-gradiometer og ved ethvert positivt resultat gennem røntgencomputertomografi for at kortlægge indeslutninger. Ferromagnetiske indeslutninger blev fundet i 71 af 96 emner (74 procent), og ladeeg fejlede i 19 af 20 tilfælde. Et enkelt indlejret stålsøm er en permanent indeslutning med høj permeabilitet: med μ_r for blødt stål i hundredvis til lave tusinder er det en lokal feldiskontinuitet få millimeter fra lederen, og ingen dielektrisk renhed i det omgivende træ opvejer den. Vi karakteriserer desuden korrosionshaloen -- den diffuse paramagnetiske jerntannatplet, som en indlejret jerngenstand gennem årtier bløder ud i eg og skaber en forurenede volumen flere størrelsesordener større end selve metallet -- og viser, hvorfor selv "metaldetekteret" træ kun klarer en grov industritærskel, ikke den submilligramklasse til lyd, som Bosque, Ferro, Park og Tanaka (2026) definerede. Equatorial Elevation Blocks fræses udelukkende af plantagetæ fra første bearbejdning og aldrig af genbrugstræ; bæredygtighedsargumentet for genbrug besvares i stedet med forvaltet ækvatorial plantage, hvilket vi behandler direkte.

1. INDLEDNING

Den ledsagende undersøgelse i dette tidsskrift (Bosque, Ferro, Park og Tanaka, 2026) fastlagde en neutralitetsskala efter N for konstruktionstræ, defineret ud fra resterende paramagnetisk indhold og den magnetiske volumenssusceptibilitet, som det frembringer, og viste, at ækvatorial plantageteak når 5N ved levering. Undersøgelsen klassificerede rent træ fra første bearbejdning. Genbrugstræ blev kun nævnt i forbifarten -- som en kategori, der "rutinemæssigt" fejler scanningen for jernholdige indeslutninger -- og derefter forladt. Denne artikel er den forbigående sætning udviklet i sin fulde og diskvalificerende detalje, fordi spørgsmålet om genbrugstræ ikke er en fodnote for købere. Det er den hyppigste indvending, vi modtager: hvis forvaltet ækvatorial teak er sjælden og dyr, og hvis lader og gamle lagerbygninger er fulde af smukt, tæt og dimensionsstabilt træ fra gamle bevoksninger, som ellers ville blive brændt, hvorfor så ikke fræse støtterne af det?

Svaret er metallurgisk og ikke i nærheden af et grænsetilfælde. Genbrugstræ defineres ved at have tjent et tidligere konstruktivt liv, og konstruktiv tjeneste betyder fastgørelsesmidler. En ladebjælke er blevet sømmet, spigret, boltet og klammet; en gulvbjælke fra et lager er blevet gennemboltet og fastgjort med franske skruer; skibstømmer er blevet samlet med jernborne og trædyvler låst med jern; en laboratoriebank har båret stålbefug og kanter med klippesøm i et århundrede. Det meste metal trækkes ud ved genindvindingen. Noget gør ikke, fordi det knækkede under overfladen, blev drevet for langt ind og forsænket, korroderede til en uigenkendelig klump eller aldrig var synligt udefra. Genbrugsarbejderen fjerner det metal, han kan se. Gradiometeret finder det metal, han ikke kan se.

Vi behandler ikke det indlejrede fastgørelsesmiddel som en kosmetisk fejl, der skal fyldes og skjules, men som det, det elektromagnetisk er: en permanent indeslutning med høj permeabilitet placeret, gennem kabelstøttens geometri, få millimeter fra signallederen. Et støttemateriale findes for at holde et klassificeret kabel i et kontrolleret nærfeltsmiljø. Et støttemateriale med et stålsøm i sig er en magnetisk defekt, som tilfældigvis holder et kabel.

2. ARGUMENTET MED ÉT SØM

Betragt den mindst dramatiske forurening, man kan forestille sig: ét klippesøm, knækket plant med overfladen og usynligt, begravet i et ellers fejlfrit emne af genbrugseg. Tilfældet er værd at gennemgå fuldt ud, for hvis det mindst dramatiske tilfælde diskvalificerer, er den efterfølgende undersøgelsesstatistik blot bogføring.

Rent, tørt træ ligger nær en magnetisk volumenssusceptibilitet på $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- svagt og ensartet diamagnetisk, den ønskelige tilstand for et materiale, der skal befinde sig i et statisk felt uden at forstyrre det. Et søm af blødt stål har en relativ permeabilitet μ_r i hundredvis til lave tusinder. Forholdet mellem permeabiliteterne over grænsen træ-stål er derfor ikke få procent, men tre til seks størrelsesordener. Grænsen er en feldiskontinuitet: statiske og kvasistatiske fluxlinjer, der passerer jævnt



gennem diamagnetisk træ, samles, koncentrerer og genudstråles af indeslutningen og skaber en lokal feltgradient på titals til hundredvis af nT ved overfladen direkte over den -- hvilket i en kabelstøtte er præcis dér, hvor vuggen og kablet befinder sig.

Indeslutningen er også, i modsætning til en paramagnetisk spormetalbelastning fordelt jævnt gennem bulken, en punktkilde med struktur. Den bærer remanens: et stålfastgørelsesmiddel, der har siddet i Jordens felt i årtier, får et permanent magnetisk moment, så indeslutningen ikke blot er en passiv permeabilitetsforstyrrelse, men en lille permanent magnet med sin egen faste dipolakse, ligeglad med den ækvatoriale justering, som resten af installationen er bygget til at opnå. Ingen egenskab ved det omgivende træ -- ikke en 7N-susceptibilitet, ikke en rekordlav dielektricitetskonstant, ikke perfekt fræsning med endetræet lodret -- opvejer en permanent dipol i belastningsvejen. Emnet klassificeres efter sit værste punkt, ikke sit gennemsnit, og det værste punkt er sømmet.

3. UNDERSØGELSE: PROVENIENSKLASSER OG FUNDRATER

Seksohalvfems genbrugte emner blev indhentet fra fire proveniensklasser, 20 til 28 pr. klasse, hos etablerede forhandlere af genbrugstræ i Nordamerika og Europa; alle blev solgt som rensat for fastgørelsesmidler og, i tre klasser, som "metaldetekteret". Hvert emne blev ført gennem et treakset fluxgate-gradiometer (Bartington Grad-13, opløsning 1 nT) på et motoriseret leje med 20 mm/s -- samme instrument og protokol, der anvendes til produktionsscreening af teak i den ledsagende undersøgelse. Ethvert emne, der gav en diskret anomali over 5 nT mod sin diamagnetiske baggrund, blev markeret og sendt til røntgencomputertomografi (225 kV mikrofokuskilde, 90 µm voxel) for at lokalisere og identificere indeslutningen.

Den samlede fundrate var 71 af 96 (74 procent). Efter klasse: ladeeg fejlede i 19 af 20 emner og klarede sig dårligst, med indeslutninger domineret af klippesøm, trådsøm og hegnskræmper samt en median på tre diskrete indeslutninger pr. underkendt emne. Fyr og gran fra industrilagre fejlede i 22 af 28 tilfælde med skafter fra franske skruer, maskinbolte og -- i fire emner -- indlejrede bly- og stålhagl fra et tidligere liv, som vi ikke undersøgte. Genbrugsteak fra marine kilder og laboratorier fejlede i 21 af 25 tilfælde: skibstømmeret indeholdt fragmenter af jerndorne og rester af rorbeslag, og teak fra laboratoriebænke indeholdt forsænkede stålskruer og, i to tilfælde, messing, som gradiometeret lod passere, men som diskvalificeres på andre grunde. Eg fra vinfade var bedst af de fire og fejlede alligevel i 9 af 23 tilfælde, hovedsageligt på fragmenter af tøndebåndsnitter og klammetråd fra afmonterede bånd.

To fund fra CT-kortene fortjener at blive fremhævet. For det første lå størstedelen af de registrerede indeslutninger under overfladen og var usynlige på den færdige side -- præcis den population, der overlever visuel fjernelse af fastgørelsesmidler. For det andet viste flere emner, som en håndholdt detektor af genbrugskvalitet ville have godkendt, flere små indeslutninger (spor af spåner fra tidligere omsavning på båndsav, klammebøjler), hver enkelt under en grov detektortærskel, men samlet en distribueret jernbelastning. Industriedektoren besvarer spørgsmålet "er der et søm stort nok til at ødelægge mit savblad"; den besvarer ikke spørgsmålet "er dette emne magnetisk rent", og det var den aldrig konstrueret til.

4. KORROSIONSHALOEN

En jerngenstand indlejret i træ er ikke en stabil, afgrænset indeslutning. Den korroderer og eksporterer sine korrosionsprodukter til det omgivende væv, og i eg gør den det gennem en kemi, der er termodynamisk begunstiget og århundreder gammel.

Egens kerneved er rig på hydrolyserbare tanniner. Jern i kontakt med fugtig eg oxiderer, og de resulterende jern(II)- og jern(III)-ioner vandrer langs fugtgradienten ind i træet og kompleksbinder med tanninerne til jerntannat -- den blå-sort forbindelse i jerngallusblæk og samme reaktion, der farver eg sort omkring ethvert stålfastgørelsesmiddel, der efterlades i den. Gennem årtier i en lade eller kælder forbliver et indlejret søm derfor ikke et problem på størrelse med et søm. Det bløder en diffus halo af jerntannat ud i en trævolumen, som både CT og ICP-MS viser er én til to størrelsesordener større end selve genstanden. Metalkernen er ferromagnetisk; haloen omkring den er paramagnetisk; og fordi haloen er stor, uregelmæssig og gennemtrænger den kabelvendte overflade, er den i visse henseender den værre forurening, da den ikke kan trækkes ud med en tang og slet ikke giver sig til kende for en metaldetektor.

Vi sektionerede fire emner af ladeeg omkring kendte indeslutninger og kortlagde Fe med ICP-MS langs et radiale tværsnit. Jernkoncentrationen faldt fra procentniveau ved metalgrænsen til et paramagnetisk plateau på 60 til 240 ppm over en halo, der strakte sig 15 til 40 mm fra genstanden -- en plet langt over 4N-loftet på 100 ppm i en volumen stor nok til at opsluge en hel kabelvugge. Det er mekanismen, hvorved ét historisk fastgørelsesmiddel ikke forurener et punkt, men et område, og den er specifik for netop de tanninaktive løvtræsarter -- især eg -- som markedsføringen af genbrugstræ værdsætter højest. Den proveniens, der gør ladeeg romantisk -- et århundredes fugtig konstruktiv tjeneste ved siden af jern -- er den samme historie, der garanterer haloen.

5. HVORFOR "METALDETEKTERET" IKKE ER EN GRAD

Forhandlere af genbrugstræ, der markedsfører "metaldetekteret" træ, er ærlige om en reel proces, og det er værd tydeligt at angive, hvad processen leverer og ikke leverer, fordi udtrykket rutinemæssigt læses som en renhedsattest, det ikke er.

Industrielt metaldetektion i træ findes for at beskytte maskiner. En jerndetektor på en omsavningslinje indstilles til at udløse på en genstand stor nok til at slå en hårdmetaltand af eller knuse et båndsavblad -- et søm, en skrue, en bolt. Tærsklen sættes bevidst

højt: en linje, der standsede ved ethvert submilligramspor af jern, ville aldrig save et bræt. Det er en produktionssikkerhedsforrigling kalibreret i værktøjsskader, og den lader efter hensigten præcis den population passere, som diskvalificerer et emne til lydbrug: spåner under en millimeter, fragmenter af klammetråd, hagl og frem for alt den opløste paramagnetiske halo, der ikke indeholder nogen diskret genstand, som en detektor kan finde. Et emne kan passere en industridetektor uden anmærkning og stadig bære en jernplet på 200 ppm gennem den kabelvendte side.

Lydsystemets neutralitetsgrad er en anden måling, der besvarer et andet spørgsmål. Den bestemmes ikke af værktøjsrisiko, men af grænserne 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) og 1 ppm (6N) Fe + Mn hos Bosque, Ferro, Park og Tanaka (2026), verificeret ved fluxgate-gradiometri for diskrete indeslutninger og ved VSM plus ICP-MS for bulk- og halosusceptibilitet. De to tærskler adskiller sig med størrelsesordener. "Metaldetekteret" betyder "ingen genstand stor nok til at ødelægge en sav". "5N-neutral" betyder "Fe + Mn på eller under 10 ppm overalt, diskret og opløst". En genbrugsforhandler kan i god tro levere det første og kan slet ikke levere det andet, fordi det andet kræver magnetometri og spormetalanalyse af hvert emne, som ingen genbrugsplads udfører, og som de fleste genbrugte emner ville fejle uanset omhu, alene på grund af deres historie.

6. BÆREDYGTIGHEDSSPØRGSMÅLET, BESVARET ANDERLEDES

Det stærkeste argument for genbrugstræ er ikke akustisk, men miljømæssigt. Genbrug af århundredgammelt træ undgår ny fældning, holder sundt materiale væk fra brændebunken og ærer det arbejde, der er indlejret i den oprindelige vækst. Vi tager argumentet alvorligt og besvarer det ikke ved at bestride det, men ved at møde det med en forsyning, der hverken bærer jernrisikoen eller miljøomkostningen.

Equatorial Elevation Blocks fræses af teak fra forvaltede plantager inden for 5 deg fra den geomagnetiske ækvator på lejede, certificerede plantager med genplantning efter fældning. Den relevante bæredygtighedssammenligning er ikke genbrugstræ mod fældning af gammel skov -- det er et falsk valg -- men genbrugstræ mod en forvaltet plantage, hvis træer plantes udtrykkeligt for at blive fældet, binder kulstof, mens de står, og erstattes i en fast omdrift. Forvaltet ækvatorial plantage leverer den miljøfordel, som genbrug værdsættes for (intet pres på gammel skov, et vedvarende kredsløb), og desuden det ene, som genbrug strukturelt ikke kan levere: en jomfruelig historik uden fastgørelsesmidler. Plantagetræ fra første bearbejdning har aldrig holdt et søm, aldrig blødt en jerntannathalo ud og aldrig passeret en omsav, der såede det med spåner. Det ankommer magnetisk rent, det eneste udgangspunkt, hvorfra graden 5N overhovedet kan nås.

Endelig findes der ingen vej til at sanere et genbrugsemne op til graden. De diskrete indeslutninger kan undertiden graves ud, men udgravningen efterlader et hulrum og kan ikke nå den opløste halo; haloen kan kun fjernes ved at skære det plettede volumen bort, hvilket i en stærkt plettet ladebjælke er det meste af det anvendelige træ. Økonomien og fysikken peger samme vej. Det er billigere, renere og metrologisk velfunderet at begynde med træ, der voksede rent, end at jage jernet ud af træ, der voksede og derefter levede beskidt.

7. KONKLUSION

Genbrugstræ, bjærget træ, ladetræ og industrielt genbrugstræ diskvalificeres som støttemateriale til lydkabler ikke af æstetisk præference og ikke af nogen svaghed i træet, men af sin historik med fastgørelsesmidler. Konstruktiv tjeneste betyder indlejret jern, indlejret jern betyder en permanent indeslutning med høj permeabilitet i kablets belastningsvej, og i tanninaktive løvtræsarter betyder det en diffus paramagnetisk korrosionshalo en størrelsesorden større end det metal, der skabte den. Vores screeningsundersøgelse fandt ferromagnetiske indeslutninger i 74 procent af genbrugte emner på tværs af fire proveniensklasser, og ladeeg -- den mest romantiserede klasse -- fejlede i 19 af 20 tilfælde. Argumentet med ét søm viser, at selv én sådan indeslutning er diskvalificerende i sig selv, så undersøgelsesraten undervurderer snarere end overdriver problemet.

Forsikringen "metaldetekteret" i markedsføringen af genbrugstræ er en maskinbeskyttelsestærskel, der er størrelsesordener grovere end lydsystemets neutralitetsgrad, og den lader efter hensigten netop forurening i submilligramstørrelse og opløst form passere, som graden hos Bosque, Ferro, Park og Tanaka (2026) findes for at fange. Det er en reel og nyttig måling, som besvarer et spørgsmål, der ikke er lydsspørgsmålet. Derfor fræses Equatorial Elevation Blocks udelukkende af plantagetræ fra første bearbejdning og aldrig af genbrugstræ af nogen proveniens. Miljøargumentet for genbrug er ægte og besvares fuldt ud af forvaltet ækvatorial plantage, der dyrkes til fældning og genplantning -- træ, som leverer bæredygtighedsfordelen uden jernet, og som begynder, som ethvert klassificeret emne må, med et magnetisk rent udgangspunkt.

REFERENCER

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Magnetisk neutralitetsklassificering af konstruktionstræ: en renhedsklassifikation på N-skalaen for støttematerialer til lydkabler. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Korrosion af udgravet arkæologisk jern med oplysninger om væskedannelse og akaganeit. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Fordeling og speciering af jern og svovl i relation til nedbrydningsprocesser i træ. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.



- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Jernkatalyseret oxidation af trækulhydrater. Wood Science and Technology, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Retningslinjer for bedste praksis ved detektion af jern- og ikke-jernmetaller i bjærget konstruktionstræ. RWC Technical Bulletin TB-07, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Fluxgate-gradiometri og computertomografi til screening for ferromagnetiske indeslutninger i træemner. Journal of Equatorial Audio Science, 7(3), 122-140.