



ÅTERBRUKAT VIRKE OCH RISKEN MED JÄRNHALTIGA INNESLUTNINGAR: VARFÖR BÄRGAT, LADUGÅRDS- OCH INDUSTRIELLT ÅTERBRUKAT TRÄ ÄR MAGNETISKT DISKVALIFICERAT SOM STÖDMATERIAL FÖR LJUDKABLAR



Återbrukat virke och risken med järnhaltiga inneslutningar: varför bärgat, ladugårds- och industriellt återbrukat trä är magnetiskt diskvalificerat som stödmaterial för ljudkablar

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Sammanfattning

Återbrukat virke betingar ett marknadspåslag byggt på proveniens: ladugårdsek med ett sekel av väder, hartstall hämtad ur ett rivet lagerhus, teak bärgad från en utrangerad minsvepare eller en pensionerad laboratoriebank. Romantiken är verklig och hållbarhetsargumentet är inte oseriöst. Men ett stödmaterial väljs för vad det gör med kabeln som vilar på det, inte för sin biografi, och återbrukat trä bär en defekt som dess proveniens aktivt garanterar snarare än bara tillåter: inbäddad ferromagnetisk metall. Klippspik, skruvar, klammer, stängselmärklar, bultar, fragment av taggtråd, inbäddat bly- och stålhagel samt spån från band- och cirkelsågar är normal inredning i varje virke som har levt ett arbetsliv. Detta är ingen sällsynt kontamineringshändelse; det är skälet till att sågverk kör industriella jändetektorer före ramsågen och till att återbrukshandlare alls marknadsför sitt virke som "metalldetekterat".

Vi redovisar en screeningstudie av 96 återbrukade ämnen i fyra proveniensklasser -- ladugårdsek, tall och gran från industrilager, återbrukat teak från marina källor och laboratorier samt ek från vinfat -- som fördes genom en fluxgate-gradiometer och, vid varje positivt resultat, genom röntgendatortomografi för kartläggning av inneslutningar. Ferromagnetiska inneslutningar upptäcktes i 71 av 96 ämnen (74 procent), och ladugårdsek underkändes i 19 av 20 fall. En enda inbäddad stålspek är en permanent inneslutning med hög permeabilitet: med μ_r för mjukt stål i hundratal till låga tusental utgör den en lokal fältdiskontinuitet några millimeter från ledaren, och ingen dielektrisk renhet i det omgivande träet uppväger den. Vi karakteriserar dessutom korrosionshalon -- den diffusa paramagnetiska järntannatfläck som ett inbäddat järnföremål under årtionden blöder ut i ek och som omfattar en kontaminerad volym storleksordningar större än själva metallen -- och visar varför även "metalldetekterat" virke bara klarar en grov industriröskel, inte den submilligramklass för ljud som definierats av Bosque, Ferro, Park och Tanaka (2026). Equatorial Elevation Blocks fräses uteslutande ur plantagevirke från första bearbetningen och aldrig ur återbrukat trä; hållbarhetsargumentet för återbruk besvaras i stället med skött ekvatoriell plantage, vilket vi behandlar direkt.

1. INLEDNING

Den kompletterande studien i denna tidskrift (Bosque, Ferro, Park och Tanaka, 2026) fastställde en neutralitetsskala enligt N för konstruktionsvirke, definierad utifrån kvarvarande paramagnetiskt innehåll och den magnetiska volymsusceptibilitet det ger upphov till, och visade att ekvatoriell plantageatek når 5N vid leverans. Den studien klassade rent trä från första bearbetningen. Återbrukat virke nämndes bara i förbigående -- som en kategori som "rutinmässigt" misslyckas i skanningen efter järnhaltiga inneslutningar -- och lämnades sedan därhän. Denna artikel är den förbigående meningen utvecklad till sin fulla, diskvalificerande detaljrikedom, eftersom frågan om återbrukat trä inte är en fotnot för köpare. Det är den vanligaste invändningen vi möter: om skött ekvatoriell teak är sällsynt och dyr och om lador och gamla lagerbyggnader är fulla av vackert, tätt och dimensionsstabil gammelskogstimmer som annars skulle brännas, varför inte fräsa stöden ur det?

Svaret är metallurgiskt och inte ens nära ett gränssfall. Återbrukat virke definieras av att det har tjänat i en tidigare konstruktion, och konstruktiv tjänst innebär fästdon. En ladugårdsbjälke har spikats, dubbats, bultats och klamrats; en lagergolvsbjälke har genombultats och skruvats med fransk träskruv; fartygsvirke har fästs med järndubbar och trädymlingar låsta med järn; en laboratoriebank bar stålbeslag och klippspikskanter i ett sekel. Det mesta av metallen dras ut vid återbruket. En del gör det inte, eftersom den bröts av under ytan, drevs in för långt och försänktes, korroderade till en oigenkännlig klump eller aldrig syntes utifrån från början. Återbrukaren tar bort den metall han kan se. Gradiometern hittar den metall han inte kan se.

Vi behandlar det inbäddade fästdonet inte som ett kosmetiskt fel som ska fyllas och döljas utan som vad det elektromagnetiskt är: en permanent inneslutning med hög permeabilitet placerad, genom kabelstödet geometri, inom några millimeter från signalledaren. Ett stödmaterial finns för att hålla en klassad kabel i en kontrollerad närfältsmiljö. Ett stödmaterial med en stålspek i sig är ett magnetiskt fel som råkar hålla en kabel.

2. ARGUMENTET MED EN ENDA SPIK

Betrakta den minst dramatiska kontaminering som går att föreställa sig: en klippspik, avbruten jäms med ytan och osynlig, begravd i ett i övrigt felfritt ämne av återbrukat ek. Det är värt att gå igenom fallet fullständigt, för om det minst dramatiska fallet är diskvalificerande är den efterföljande undersökningsstatistiken bara bokföring.

Rent, torrt trä ligger nära en magnetisk volymsusceptibilitet på $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- svagt och jämnt diamagnetiskt, det önskvärda tillståndet för ett material som ska befinna sig i ett statiskt fält utan att störa det. En spik av mjukt stål har en relativ permeabilitet μ_r i hundratal till låga tusental. Förhållandet mellan permeabiliteterna över gränsen trä-stål är därför inte några procent utan tre till sex storleksordningar. Gränsen är en fältdiskontinuitet: statiska och kvasistatiska flödeslinjer som går jämnt genom diamagnetiskt trä samlas, koncentreras och återutstrålas av inneslutningen och ger en lokal fältgradient på tiotals till



hundratals nT vid ytan omedelbart ovanför -- vilket i ett kabelstöd är exakt där vaggan och kabeln befinner sig.

Inneslutningen är också, till skillnad från en paramagnetisk spårmetallbelastning jämnt fördelad genom bulken, en punktkälla med struktur. Den bär remanens: ett stålfästdon som har legat i jordfältet i årtionden får ett permanent magnetiskt moment, så inneslutningen är inte bara en passiv permeabilitetsstörning utan en liten permanentmagnet med en egen fixerad dipolaxel, likgiltig inför den ekvatoriella inriktning som resten av installationen är byggd för att uppnå. Ingen egenskap hos det omgivande träet -- inte en 7N-susceptibilitet, inte en rekordlåg dielektricitetskonstant, inte perfekt fräsning med ändträet vertikalt -- uppväger en permanent dipol placerad i lastvägen. Ämnet klassas efter sin sämsta punkt, inte sitt genomsnitt, och dess sämsta punkt är spiken.

3. UNDERSÖKNING: PROVENIENSKLASSER OCH DETEKTIONSFREKVENNS

Nittiosex återbrukade ämnen anskaffades i fyra proveniensklasser, 20 till 28 per klass, från etablerade återbrukshandlare i Nordamerika och Europa; samtliga såldes som rensade från fästdon och, i tre klasser, som "metalldetekterade". Varje ämne fördes genom en treaxlig fluxgate-gradiometer (Bartington Grad-13, upplösning 1 nT) på en motoriserad bädd med 20 mm/s -- samma instrument och protokoll som används för produktionsscreening av teak i den kompletterande studien. Varje ämne som gav en diskret anomali över 5 nT mot sin diamagnetiska bakgrund markerades och skickades till röntgendatortomografi (225 kV mikrofokuskälla, 90 μ m voxel) för att lokalisera och identifiera inneslutningen.

Den sammanlagda detektionsfrekvensen var 71 av 96 (74 procent). Per klass: ladugårdsek underkändes i 19 av 20 ämnen och presterade sämst, med inneslutningar dominerade av klippspik, trådspik och stängselmärklor samt en median på tre diskreta inneslutningar per underkänt ämne. Tall och gran från industrilager underkändes i 22 av 28 fall, med skaft från fransk träskruv, maskinbultar och -- i fyra ämnen -- inbäddat bly- och stålhagel från ett tidigare liv som vi inte undersökte. Återbrukat teak från marina källor och laboratorier underkändes i 21 av 25 fall: fartygsvirket innehöll fragment av järndubbar och tappar från roderbeslag, och teak från laboratoriebänkar innehöll försänkta stålskruvar och, i två fall, mässing som gradiometern släppte igenom men som diskvalificeras på andra grunder. Ek från vinfat var bäst av de fyra och underkändes ändå i 9 av 23 fall, främst på fragment av bandnitar och klammertråd från demonterade tunnbånd.

Två fynd i CT-kartorna förtjänar att betonas. För det första låg merparten av de upptäckta inneslutningarna under ytan och var osynliga på den färdiga sidan -- exakt den population som överlever visuell borttagning av fästdon. För det andra visade flera ämnen som en handhållen detektor av återbrukskvalitet skulle ha godkänt flera små inneslutningar (spånsår från tidigare omsågning i bandsåg, klammerbryggor), var och en under en grov detektortröskel men tillsammans en distribuerad järnbelastning. Industriedetektorn besvarar frågan "finns här en spik stor nog att förstöra mitt sågblad"; den besvarar inte frågan "är detta ämne magnetiskt rent", och det var den aldrig byggd för.

4. KORROSIONSHALON

Ett järnföremål inbäddat i trä är ingen stabil, självinnesluten inneslutning. Det korroderar och exporterar sina korrosionsprodukter till den omgivande vävnaden, och i ek gör det detta genom en kemi som är termodynamiskt angelägen och flera sekel gammal.

Ekens kärnved är rik på hydrolyserbara tanniner. Järn i kontakt med fuktig ek oxiderar, och de resulterande järn(II)- och järn(III)-jonerna vandrar längs fuktgradienten in i träet och komplexbinder med tanninerna till järntannat -- den blåsvarta föreningen i järngallusbläck och samma reaktion som färgar ek svart kring varje stålfästdon som lämnas i den. Under årtionden i en lada eller källare förblir en inbäddad spik därför inte ett problem i spikstorlek. Den blöder ut en diffus halo av järntannat i en trävolym som både CT och ICP-MS visar vara en till två storleksordningar större än själva föremålet. Metallkärnan är ferromagnetisk; halon runt den är paramagnetisk; och eftersom halon är stor, oregelbunden och genomtränger ytan mot kabeln är den i vissa avseenden den värre föroreningen, eftersom den inte kan dras ut med tång och inte alls tillkännager sig för en metalldetektor.

Vi sektionerade fyra ämnen av ladugårdsek kring kända inneslutningar och kartlade Fe med ICP-MS längs ett radiellt tvärsnitt. Järnkonzentrationsen föll från procentnivå vid metallgränsen till en paramagnetisk plåt på 60 till 240 ppm över en halo som sträckte sig 15 till 40 mm från föremålet -- en fläck långt över 4N-taket på 100 ppm i en volym stor nog att svälja en hel kabelvagg. Detta är mekanismen genom vilken ett enda historiskt fästdon förorenar inte en punkt utan en region, och den är specifik för just de tanninaktiva lövträslag -- framför allt ek -- som marknadsföringen av återbrukat virke värderar högst. Den proveniens som gör ladugårdsek romantisk -- ett sekel av fuktig konstruktiv tjänst intill järn -- är samma historia som garanterar halon.

5. VARFÖR "METALLDETEKTERAT" INTE ÄR EN GRAD

Återbrukshandlare som marknadsför "metalldetekterat" virke är ärliga om en verklig process, och det är värt att tydligt ange vad processen levererar och inte levererar, eftersom uttrycket rutinmässigt läses som ett friskintyg som det inte är.

Industriell metalldetektering i virke finns för att skydda maskiner. En järndetektor på en omsågningslinje ställs in för att lösa ut på ett föremål stort nog att flisa en hårdmetalltand eller slå sönder ett bandsågblad -- en spik, en skruv, en bult. Tröskeln sätts avsiktligt högt: en linje som stannade för varje submilligramspår av järn skulle aldrig säga en bräda. Det är en säkerhetsförräglning för produktionen, kalibrerad i verktygsskador, och den släpper konstruktionsmässigt igenom exakt den population som diskvalificerar

ett ämne för ljudbruk: submillimeterspån, fragment av klammertråd, hagel och framför allt den upplösta paramagnetiska halon, som inte innehåller något diskret föremål för en detektor att finna. Ett ämne kan passera en industridetektor utan anmärkning och ändå bära en järnfläck på 200 ppm genom sidan mot kabeln.

Ljudets neutralitetsgrad är en annan mätning som besvarar en annan fråga. Den fastställs inte av verktygsrisk utan av gränserna 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) och 1 ppm (6N) Fe + Mn enligt Bosque, Ferro, Park och Tanaka (2026), verifierade genom fluxgate-gradiometri för diskreta inneslutningar och genom VSM plus ICP-MS för bulk- och halosusceptibilitet. De två trösklarna skiljer sig med storleksordningar. "Metalldetekterat" betyder "inget föremål stort nog att bryta en såg". "5N-neutralt" betyder "Fe + Mn på eller under 10 ppm, överallt, diskret och upplöst". En återbrukare kan i god tro leverera det första och kan inte alls leverera det andra, eftersom det andra kräver magnetometri och spårmetallanalys per ämne som ingen återbrukshandel utför och som de flesta återbrukade ämnen skulle underkännas i oavsett omsorg, enbart på grund av sin historia.

6. HÅLLBARHETSFRÅGAN, BESVARAD PÅ ANNAT SÄTT

Det starkaste argumentet för återbrukat virke är inte akustiskt utan miljömässigt. Att återanvända sekelgammalt trä undviker ny avverkning, håller sunt material borta från brännhögen och hedrar det arbete som är inbyggt i den ursprungliga tillväxten. Vi tar argumentet på allvar och besvarar det inte genom att bestrida det utan genom att möta det med en försörjning som varken bär järnrisken eller miljökostnaden.

Equatorial Elevation Blocks fräses ur teak från skötta plantager inom 5 deg från den geomagnetiska ekvatorn, på arrenderade och certifierade plantager med återplantering efter avverkning. Den relevanta hållbarhetsjämförelsen är inte återbrukat trä mot avverkning av gammelskog -- det är ett falskt val -- utan återbrukat trä mot en skött plantage vars träd planteras uttryckligen för att fällas, binder kol medan de står och ersätts i en fast omloppstid. Skött ekvatoriell plantage ger den miljönytta som återbruk värderas för (inget tryck på gammelskog, ett förnybart kretslopp) och dessutom det enda som återbruk strukturellt inte kan ge: en jungfrulig fästdonshistorik. Plantagevirke från första bearbetningen har aldrig hållit en spik, aldrig blött ut en järntannathalo och aldrig passerat en omsåg som sådde det med spån. Det anländer magnetiskt rent, det enda utgångsläge från vilket en grad 5N ens är möjlig.

Det finns slutligen ingen väg för att sanera ett återbrukat ämne upp till graden. De diskreta inneslutningarna kan ibland grävas ut, men utgrävningen lämnar ett hålrum och kan inte nå den upplösta halon; halon kan bara avlägsnas genom att det fläckade området sågas bort, vilket i en kraftigt fläckad ladugårdsbjälke är merparten av det användbara träet. Ekonomin och fysiken pekar åt samma håll. Det är billigare, renare och metrologiskt välgrundat att börja med virke som vuxit rent än att jaga järnet ur virke som vuxit och sedan levt smutsigt.

7. SLUTSATS

Återbrukat, bärgat, ladugårds- och industriellt återbrukat virke diskvalificeras som stödmaterial för ljudkablar inte av estetisk preferens och inte av någon svaghet i träet, utan av sin fästdonshistorik. Konstruktiv tjänst innebär inbäddat järn, inbäddat järn innebär en permanent inneslutning med hög permeabilitet i kabelns lastväg och i tanninaktiva lövträslog innebär det en diffus paramagnetisk korrosionshalo en storleksordning större än metallen som skapade den. Vår screeningundersökning fann ferromagnetiska inneslutningar i 74 procent av återbrukade ämnen över fyra proveniensklasser, och ladugårdsek -- den mest romantiserade klassen -- underkändes i 19 av 20 fall. Argumentet med en enda spik visar att även en enda sådan inneslutning är diskvalificerande på egen hand, så undersökningsfrekvensen underskattar snarare än överdriver problemet.

Försäkran "metalldetekterat" i marknadsföringen av återbrukat virke är en maskinskyddströskel som är storleksordningar grövre än ljudets neutralitetsgrad och konstruktionsmässigt släpper igenom just den submilligramkontaminering och upplösta kontaminering som graden enligt Bosque, Ferro, Park och Tanaka (2026) finns till för att upptäcka. Den är en verklig och användbar mätning som besvarar en fråga som inte är ljudfrågan. Därför fräses Equatorial Elevation Blocks uteslutande ur plantagevirke från första bearbetningen och aldrig ur återbrukat trä av någon proveniens. Miljöargumentet för återbruk är genuint och besvaras fullständigt av skött ekvatoriell plantage som odlas för att avverkas och återplanteras -- virke som ger hållbarhetsnyttan utan järnet och som börjar, vilket varje klassat ämne måste, med ett magnetiskt rent utgångsläge.

REFERENSER

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Magnetisk neutralitetsklassning av konstruktionsvirke: en renhetsklassificering enligt N-skalan för stödmaterial till ljudkablar. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Korrosion hos utgrävt arkeologiskt järn med uppgifter om vätskning och akaganeit. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Fördelning och speciering av järn och svavel i relation till nedbrytningsprocesser i trä. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Järnkatalyserad oxidation av träkolhydrater. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Riktlinjer för bästa praxis vid detektering av järn- och icke-järnmetaller i bärgat konstruktionsvirke. RWC Technical Bulletin TB-07, London.



- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Fluxgate-gradiometri och datortomografi för screening av ferromagnetiska inneslutningar i virkesämnen. Journal of Equatorial Audio Science, 7(3), 122-140.