



**ENDURUNNINN VIÐUR OG HÆTTAN
AF JÁRNSEGULINNLYKSU:
HVERS VEGNA BJARGAÐUR VIÐUR,
HLÖÐUVIÐUR OG
IÐNAÐARENDURUNNINN VIÐUR ER
SEGULLEGA ÓHÆFUR SEM
BURÐAREFNI HLJÓÐKAPLA**

Endurunninn viður og hættan af járnsegulinnlyksum: hvers vegna bjargaður viður, hlöðuviður og iðnaðarendurunninn viður er segullega óhæfur sem burðarefni hljóðkapla

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Útdráttur

Endurunninn viður fær markaðsálag sem byggist á uppruna: hlöðueik með heila öld af veðrun, bikfura úr rifnu vöruhúsi, tekk bjargað úr aflögðum tundurduflasæðara eða úreltum rannsóknarþekki. Rómantíkin er raunveruleg og sjálfbærnisrökin eru ekki léttvæg. Burðarefni er þó valið eftir því hvað það gerir kaplinum sem hvílir á því, ekki eftir ævisögu þess, og endurunninn viður ber galla sem uppruni hans tryggir beinlínis fremur en aðeins leyfir: innfelldan járnsegulmagnaðan málm. Skornir naglar, skrúfur, hefti, girðingakrampar, boltar, brot úr gaddavír, innfelld blý- og stálhögl og svarf úr band- og hringsögum eru venjulegur húsbúnaður hvers tímurs sem hefur átt starfsævi. Þetta er ekki sjaldgæfur mengunaratburður; þess vegna keyra sögunarmyllur iðnaðarmálmleitaartæki á undan aðalsöginni og þess vegna auglýsa endurvinnslusalar efnið yfirleitt sem „málmleitað“.

Við skráum skimunarrannsókn á 96 endurunnum efnisbútum í fjórum upprunaflokkum -- hlöðueik, furu og þin úr iðnaðarvöruhúsum, endurunnu tekki úr skipum og rannsóknarstofum og eik úr vintunnum -- sem voru færðir gegnum fluxgate-stigulmæli og, við jákvæða niðurstöðu, röntgentölvusneiðmyndaðir til kortlagningar innlyksa. Járnsegulinnlyksur fundust í 71 af 96 bótum (74 prósent), og hlöðueik féll í 19 af 20 tilvikum. Einn innfelldur stálnagli er varanleg innlyksa með háan segulsvörunarstuðul: þar sem μ_r smíðastáls er frá hundruðum upp í lágar þúsundir myndar hann staðbundið rof í sviðinu aðeins millimetra frá leiðaranum, sem ekkert magn rafsvörunarhreinleika í viðnum umhverfis getur vegið upp. Við greinum einnig tæringarhjúpin -- dreifða parasegulmagnaða jártannatblettinn sem innfelldur járnhlutur lætur blæða út í eik á áratugum og myndar mengað rúmmál stærðarþrepum stærra en málmurinn sjálfur -- og sýnum hvers vegna jafnvel „málmleitaður“ viður stenst aðeins grófan iðnaðarþröskuld, ekki hljóðgráðuna undir milligrammi sem Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) skilgreina. Equatorial Elevation Blocks eru eingöngu fræstir úr ónotuðum plantekruviði og aldrei endurunnum við; sjálfbærnimálinu er þess í stað svarað með stýrðum miðbaugsplankrum, sem við tökum sérstaklega fyrir.

1. INNGANGUR

Hliðarrannsóknin í þessu tímariti (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) skilgreindi N-gráðu hlutleysis fyrir burðarvið út frá magni parasegulvirkra leifa og því rúmmálssegulnæmi sem þær valda og sýndi að miðbaugsplankrutekkur nær 5N í afhentu ástandi. Sú rannsókn flokkaði hreinan, ónotaðan við. Hún nefndi endurunninn við aðeins í framhjáhlaupi -- sem flokk sem „reglulega“ fellur á skimun eftir járnsegulinnlyksum -- og hélt áfram. Þessi grein þróar þá lauslegu athugasemd til fulls, með öllum hennar útilokandi smáatriðum, því spurningin um endurunninn við er ekki neðanmálsgrein fyrir kaupendur. Hún er algengasta mótbáran sem okkur berst: ef stýrður miðbaugstekkur er sjaldgæfur og dýr, og ef hlöður og gömul vöruhús eru full af fallegu, þéttu og formstöðugu gömlu tímri sem yrði annars brennt, hvers vegna ekki að fræsa stöðir úr því?

Svarið er málmfræðilegt og ekki tæpt. Endurunninn viður er samkvæmt skilgreiningu viður sem hefur áður gegnt burðarhlutverki, og burðarhlutverk þýðir festingar. Hlöðubiti var negldur, teinaður, boltaður og heftaður; gólfbiti í vöruhúsi var gegnumboltaður og skrúfaður með dráttarskrúfum; skipstímur var fest með járnreikboltum og trénögllum sem voru læstir með járn; rannsóknarþekkur bar stálvinka og kant með skornum nöglum í heila öld. Mest af málmnum er dregið út við endurvinnslu. Sumt situr eftir vegna þess að það brotnaði undir yfirborðinu, var keyrt of djúpt og sokkið niður, tærðist í óþekktanlegan kökk eða sást aldrei utan frá. Endurvinnsluaðilinn fjarlægir málminn sem hann sér. Stigulmælirinn finnur málminn sem hann sér ekki.

Við lítum ekki á innfellda festingu sem útlitsgalla sem á að fylla og fela heldur sem það sem hún er rafsegulfræðilega: varanleg innlyksa með háan segulsvörunarstuðul, staðsett vegna rúmfræði kapalstoðar aðeins millimetra frá merkjaleiðaranum. Burðarefni er til þess að halda flokkuðum kapli í stýrðu nærsviði. Burðarefni með stálnagla í sér er segulgalli sem fyrir tilviljun heldur kapli.

2. RÖKIN UM EINN NAGLA

Lítum á minnst dramatísku mengun sem hugsast getur: einn skorinn nagla, brotinn slétt við yfirborðið og ósýnilegur, grafinn í annars gallalausan efnisbút úr endurunnni eik. Það er þess virði að fara ítarlega yfir þetta tilvik, því ef minnst dramatíska tilvikði útilokar efnið er könnunartölfræðin hér á eftir aðeins bókhald.

Hreinn, þurr viður liggur nærri rúmmálssegulnæminu $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- veiklega og jafnt mótsegulmagnaður, æskilegt ástand fyrir efni sem á að vera í kyrru sviði án þess að raska því. Nagli úr smíðastáli hefur hlutfallslegan segulsvörunarstuðul μ_r frá hundruðum upp í lágar þúsundir. Hlutfall segulsvörunar yfir mörk viðar og stáls er því ekki fáein prósent heldur þrjú til sex stærðarþrep. Mörkin eru rof í sviðinu: kyrrar og hálfkyrrar flæðilínur sem fara jafnt gegnum mótsegulmagnaðan við safnast, þéttast og geislast aftur frá innlyksunni og mynda staðbundinn sviðsstigul upp á tugi til hundruð nT á yfirborðinu beint fyrir ofan -- nákvæmlega þar sem vaggan og kapallinn liggja í kapalstöð.



Innlyksan er einnig punktuppspretta með innri byggingu, ólíkt paraseguldáslutun sem dreifist jafnt um rúmmálið. Hún hefur leifarseglun: stálfesting sem hefur setið í segulsviði jarðar í áratugi öðlast varanlegt segulvægi, þannig að innlyksan er ekki aðeins óvirk röskun á segulsvörun heldur lítil varanlegur segull með eigin föstum tvíþólaás, án tillits til miðbaugsstillingarinnar sem öll hin uppsetningin á að ná. Enginn eiginleiki viðarins umhverfis -- hvorki 7N-seguldáslutun, metlágt rafsvörunargildi né fullkomin fræsing með lóðréttum endatrefjum -- vegur upp varanlegan tvíþól í álagssleiddinni. Efnisbúturinn flokkast eftir versta punkti sínum, ekki meðaltalinu, og versti punkturinn er naglinn.

3. KÖNNUN: UPPRUNAFLOKKAR OG TÍÐNI INNLYKSA

Niutíu og sex endurnir efnisbútar voru fengnir úr fjórum upprunaflokkum, 20 til 28 úr hverjum flokki, frá rótgrónum endurvinnslusölum í Norður-Ameríku og Evrópu. Allir voru seldir sem losaðir við festingar og í þremur flokkum sem „málmleitaðir“. Hver bútur var færður á vélknúnu borði með 20 mm/s í gegnum þriggja ása fluxgate-stigulmæli (Bartington Grad-13, 1 nT upplausn) -- sama tæki og verklag og notað var til framleiðsluskimunar tekks í hliðarrannsókninni. Sérhver bútur sem gaf stakt frávik yfir 5 nT frá mótsegulgrunnlinu sinni var merktur og sendur í röntgentölvusneiðmyndun (225 kV örfókusgjafi, 90 um rúmmálseining) til að staðsetja og greina innlyksuna.

Heildartíðnin var 71 af 96 (74 prósent). Eftir flokkum: hlöðueik féll í 19 af 20 bútum og stóð sig verst; skornir naglar, vírnaglar og girðingakrampar voru algengastir, með miðgildi þriggja stakra innlyksa í hverjum bút sem féll. Fura og þin úr iðnaðarvöruhúsum féllu í 22 af 28 bútum, með brotum úr dráttarskrúfum, vélboltum og -- í fjórum bútum -- innfelldum blý- og stálhöglum frá fyrri lífi sem við rannsókuðum ekki. Endurnið tekk úr skipum og rannsóknarstofum féll í 21 af 25: skipstímur bar brot úr járnrekboltum og stýrisásstubbum, og tekk úr rannsóknarþekkjum bar sokknar stálviðarskrúfur og í tveimur tilvikum látún sem stigulmælirinn hleypti í gegn en er útilokað af öðrum ástæðum. Vintunnueik var best flokkanna fjögurra og féll samt í 9 af 23 bútum, einkum vegna hnoðbrota úr gjörðum og heftivírs úr sundurteknum gjörðum.

Tvær niðurstöður úr CT-kortunum ber að undirstrika. Í fyrsta lagi var meirihluti greindra innlyksa undir yfirborðinu og ósýnilegur á fullnum fleti -- einmitt sá hópur sem lifir af sjónræna fjarlægingu festinga. Í öðru lagi sýndu nokkrir bútar sem færanlegt gróft endurvinnslumálmleitað tæki hefði samþykkt margar litlar innlyksur (svarfrákir eftir fyrri endursögun með bandsög, krónur úr heftum), hverja fyrir sig undir grófum leitarmörkum en saman dreifða járnhleðslu. Iðnaðarmálmleitað tækið svarar „er hér nagli sem er nógu stór til að eyðileggja sagarblaðið mitt?“; það svarar ekki „er þessi efnisbútur segullega hreinn?“ og var aldrei hannað til þess.

4. TÆRINGARHJÚPURINN

Innfeldur járnhlutur í viði er ekki stöðug, afmörkuð innlyksa. Hann tærist og flytur tæringarafurðir sínar út í vefinn umhverfis, og í eik gerir hann það með efnafræði sem er varmafræðilega fús og aldagömul.

Kjarnviður eikar er ríkur af vatnsrofanlegum tannínum. Járn í snertingu við raka eik oxast, og járn(II)- og járn(III)-jónirnar sem myndast flytjast með rakastiglinum inn í viðinn og mynda fléttur með tannínunum sem verða að járnannati -- blásvarta efni járn gallbleks og sama efnahvarf og svertir eik umhverfis hverja stálfestingu sem er skilin eftir í henni. Eftir áratugi í hlöðu eða kjallara helst innfeldur nagli því ekki vandamál af stærð nagla. Hann lætur dreifðan járnannathjúp blæða inn í viðarrúmmál sem bæði CT og ICP-MS sýna að sé einu til tveimur stærðarþrepum stærra en hluturinn sjálfur. Málmkjarninn er járnsegulmagnaður; hjúpurinn umhverfis er paraseguldáslutun; og þar sem hjúpurinn er stór, óreglulegur og fléttast inn í kapallötinn er hann að sumu leyti verri mengun, því ekki er hægt að draga hann út með töng og hann gefur sig alls ekki til kynna í málmleitað tæki.

Við sneiddum fjóra hlöðueikarbúta umhverfis þekktar innlyksur og kortlögðum Fe með ICP-MS eftir geislasniði. Járnstyrkurinn féll úr prósentugildi við málmfyrirborðið niður á paraseguldáslutun þrep frá 60 til 240 ppm í hjúp sem náði 15 til 40 mm frá hlutnum -- blettur langt yfir 100 ppm 4N-þakinu í rúmmáli nógu stóru til að gleypa heila kapallvögg. Þannig mengar ein söguleg festing ekki punkt heldur svæði, og þetta á sérstaklega við um nákvæmlega þann tannínvirka harðið -- eik umfram allt -- sem markaðssetning endurunnins viðar metur mest. Uppruninn sem gerir hlöðueik rómantíska -- öld í röku burðarhlutverki við hlið járn -- er nákvæmlega sama sagan og tryggir hjúpinn.

5. HVERS VEGNA „MÁLMLEITAÐ“ ER EKKI GRÁÐA

Endurvinnslusalar sem auglýsa „málmleitað“ efni segja satt um raunverulegt ferli, og rétt er að taka skýrt fram hvað það ferli skilar og hvað ekki, því orðalagið er reglulega lesið sem hreinleikavottorð sem það er ekki.

Iðnaðarmálmleiti í timbri er til að verja vélar. Járn málmleitað tæki á endursögunarlínu er stillt til að nema hlut sem er nógu stór til að brjóta karbíðtönn eða slíta bandsagarblað -- nagla, skrúfu eða bolta. Þröskuldurinn er viljandi hár: lína sem stöðvaðist við hverja járnögn undir milligrammi myndi aldrei saga borð. Þetta er framleiðsluöryggisálag, kvörðuð í gjaldmiðli verkfæraskemmda, og hún hleypir samkvæmt hönnun nákvæmlega þeim hópi í gegn sem útilokar efnisbút frá hljóðnotkun: svarfi undir millimetra, brotum úr heftivír, höglum og umfram allt uppleysta paraseguldáslutunum, sem inniheldur engan stakan hlut sem leitað tæki getur fundið. Efnisbútur getur farið hreint í gegnum iðnaðarleitað tæki en samt borið 200 ppm járnblett sem nær gegnum kapallötinn.

Hljóðhlutleysisgráðan er önnur mæling sem svarar annarri spurningu. Hún ræðst ekki af áhættu fyrir verkfæri heldur af Fe +



Mn-mörkunum 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) og 1 ppm (6N) samkvæmt Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026), staðfestum með fluxgate-stigulmælingu fyrir stakar innlyksur og VSM ásamt ICP-MS fyrir heildar- og hjúpsegulnæmi. Þröskuldarnir tveir eru stærðarþrepum frá hvor öðrum. „Málmleitað“ merkir „enginn hlutur nógu stór til að brjóta sög“. „5N-hlutlaust“ merkir „Fe + Mn við eða undir 10 ppm, alls staðar, bæði stakt og uppleyst“. Endurvinnsluaðili getur afhent hið fyrri í góðri trú en getur alls ekki afhent hið síðara, því það krefst segulmælingar og snefilmálmagreiningar á hverjum efnisbút sem enginn endurvinnslusali framkvæmir og sem flestir endurunnir bítar myndu falla á óháð vandvirkni, einfaldlega vegna sögu sinnar.

6. SJÁLFBÆRNISPUINGUNNI SVARÐ ÖÐRUVÍSI

Sterkustu rökin fyrir endurunninn viði eru ekki hljóðfræðileg heldur umhverfisleg. Endurnotkun aldargamals viðar kemur í veg fyrir nýtt skógarhögg, heldur heillegu efni frá brennuhaugnum og virðir vinnuna sem fólst í upphaflegum vexti. Við tökum þessi rök alvarlega og svörum þeim ekki með því að hafna þeim heldur með hráefni sem ber hvorki járnhættuna né umhverfiskostnaðinn.

Equatorial Elevation Blocks eru fræstir úr stýrðum plantekrutekki sem er ræktaður innan 5 deg frá jarðsegulmiðbaug á leigðum, vottuðum plantekrum þar sem gróðursett er að nýju eftir uppskeru. Rétti sjálfbærnisamanburðurinn er ekki endurunninn viður gegn skógarhöggi á frumskógi -- það er falskt val -- heldur endurunninn viður gegn stýrðri plantekru þar sem trén eru sérstaklega gróðursett til fellingar, binda kolefni meðan þau standa og eru endurnýjuð í föstum hring. Stýrð miðbaugsplantekra skilar umhverfisávinningnum sem endurvinnsla er metin fyrir (enginn þrýstingur á frumskóg, endurnýjanleg hringrás) og þar að auki því eina sem endurvinnsla getur vegna eðlis síns ekki skilað: óspjallaðri festingasögu. Ónotaður plantekruviður hefur aldrei haldið nagla, aldrei blætt jártannathjúp og aldrei farið gegnum endursög sem sáði í hann svarfi. Hann kemur með hreint segullegt upphaf, eina upphafsástandið sem gerir 5N-gráðu yfirleitt mögulega.

Að lokum er engin leið til að hreinsa endurunninn efnisbút upp í gráðu. Stundum er hægt að grafa stakar innlyksur út, en grófturinn skilur eftir holu og nær ekki uppleysta hjúpnum; hjúpin er aðeins hægt að fjarlægja með því að skera burt litaða rúmmálið, sem í mjög lituðum hlöðubita er stærstur hluti nýtanlegs viðar. Hagfræði og eðlisfræði vísa í sömu átt. Það er ódýrara, hreinnara og mælifræðilega traustara að byrja með við sem óx hreinn en að elta járníð úr við sem óx, og lifði síðan, óhreinn.

7. NIÐURSTAÐA

Endurunninn, bjargaður, hlöðu- og iðnaðarendurunninn viður er útilokaður sem burðarefni hljóðkapla, ekki vegna fagurfræðilegs smekks og ekki vegna veikleika viðarins, heldur vegna festingasögu sinnar. Burðarhlutverk þýðir innfellt járn, innfellt járn þýðir varanlega innlyksu með háan segulsvörunarstuðul í álagsleið kapalsins, og í tannínvirkum harðviði þýðir það dreifðan parasegulgagnaðan tæringarhjúp sem er stærðarþrepi stærri en málmurinn sem myndaði hann. Skimunarkönnun okkar fann járnsegulinnlyksur í 74 prósentum endurunninna efnisbúta í fjórum upprunaflokkum, og hlöðueik -- rómantískasti flokkurinn -- féll í 19 af 20 tilvikum. Rökin um einn nagla sýna að ein slík innlyksa útilokar efnið ein og sér, þannig að könnunartíðnin vanmetur vandann fremur en að ýkja hann.

Fullvissan „málmleitað“ í markaðssetningu endurunnins viðar er verndarþröskuldur fyrir vélar sem er stærðarþrepum grófari en hljóðhlutleysisgráðan og hleypir samkvæmt hönnun einmitt mengun undir milligrammi og uppleystu menguninni í gegn sem gráða Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) á að finna. Þetta er raunveruleg og gagnleg mæling sem svarar spurningu sem er ekki hljóðspurningin. Af þessari ástæðu eru Equatorial Elevation Blocks eingöngu fræstir úr ónotuðum plantekruviði og aldrei endurunninn viði af neinum uppruna. Umhverfisrökin fyrir endurvinnslu eru gild og þeim er svarað til fulls með stýrðri miðbaugsplantekru sem er ræktað til uppskeru og endurgroðursetningar -- viði sem ber sjálfbærniávinninginn án járnins og byrjar, eins og hver flokkaður efnisbútur verður að gera, með hreint segullegt upphaf.

HEIMILDIR

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Flokkun segulhlutleysis burðarviðar: hreinleikaflokkun á N-kvarða fyrir burðarefni hljóðkapla. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Tæring uppgrafins fornleifajárns, með upplýsingum um væt og akaganeit. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Dreifing járn og brennisteins og efnategundir þeirra í tengslum við niðurbrotsferli í viði. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Járnhvötuð oxun kolvetna í viði. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Leiðbeiningar um bestu starfshætti við leit að járn- og málmum öðrum en járn í björguðu burðartimtri. RWC Technical Bulletin TB-07, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Fluxgate-stigulmæling og tölvusneiðmyndun til skimunar járnsegulinnlyksa í viðarefnisbútum. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.