



**FLOKKUN SEGULHLUTLEYSIS
BURÐARVIÐAR:
HREINLEIKAFLOKKUN Á
N-KVARÐA FYRIR BURÐAREFNI
HLJÓÐKAPLA, MEÐ GREININGU
PARASEGULSNEFILEFNA Í
MIÐBAUGSTEKKI**



Flokkun segulhlutleysis burðarviðar: hreinleikaflokkun á N-kvarða fyrir burðarefni hljóðkapla, með greiningu parasegulsnefilefna í miðbaugstekki

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.

Útdráttur

Hljóðleiðarar eru reglulega skilgreindir með málfræðilegum hreinleikagráðum -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%) og þar yfir -- en burðarefni sem styðja, lyfta og enda þessa leiðara eru, ef þau eru yfirleitt skilgreind, valin eftir útliti. Þessi ósamhverfa á sér enga réttlætningu: burðarefni í samfelldri sneringu við merkjakapal tekur þátt í rafsegulumhverfi nærsviðs kapalsins, og segul- og rafsvörunareiginleikar þess eru því mælanlegar inntaksstærðir uppsetningarinnar, ekki skraut. Við leggjum til hreinleikaflokkun á N-kvarða fyrir burðarvið, hliðstæða N-kvarða málma en skilgreinda út frá þeirri stærð sem skiptir máli fyrir óleiðara: magni parasegulvirkra leifa. Gráða viðar ræðst af segulnæmi rúmmáls hans og, jafngilt, samanlögðu massahlutfalli ríkjandi parasegulumengunar, járnns og mangans, mældu með massagreiningu í spanvöktuðu plasma eftir örbylgjusýrumeltingu. Við greinum 11 viðartegundir og sýnum að flest harðviðarhúsgagnaefni -- einkum hvít eik, með 41 til 190 ppm járn -- falla undir 4N-hlutleysi, en plantekrutekkur (*Tectona grandis*), ræktaður innan 5 deg frá jarðsegulmiðbaug, nær 5N í afhentu ástandi (99.999 prósent segulhlutlaus, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) og 6N með vali einstakra efnisbúta. Við lýsum tækjabúnaði, mörkum gráðanna, rafsvörunarafleiðingum trefjastefnu og rakainnihalds og endurflokkun hlutlauss viðar sem „segullega skerts“ eftir að málmhvötuð yfirborðsmeðferð hefur verið borin á.

1. INNGANGUR

Markaður hljóðfíla fyrir leiðara snýst um hreinleika. Súrefnislaus kopar er seldur sem 4N (99.99 prósent), 5N, 6N og -- við mörk þess sem rafgreiningarhreinsun getur skilað -- 7N. Hver viðbótarnía er talin fjarlægja dreifistað, óhreinindi við kornamörk eða parasegulumagnaða innlyksu. Hvort heyranlegur ávinningur síðustu níunnar stenst stýrða hlustunartilraun er sérstök spurning sem er tekin fyrir annars staðar í þessu tímariti; hér skiptir máli að iðnaðurinn býr yfir ströngu, magnbundnu og almennt skildu orðfæri um hreinleika leiðara.

Ekkert slíkt orðfæri er til um neitt annað. Kapallinn er flokkaður með sjö níum og síðan lagður á gólf, klemmdur í vegg eða látinn hvíla á stoð af algerlega ótilgreindri samsetningu. Stoðin er valin eftir lit. Þetta er staða viðar í hljóðkerfi: hann ber burðarálag, er í samfelldri líkamlegri sneringu við merkjaleiðarann og er ósýnilegur mælifræðinni.

Við teljum þetta óverjandi. Burðarefni í sneringu við kapal er hluti af nánasta rafsvörunar- og segulumhverfi kapalsins. Ef það inniheldur járnsegulmagnaðar innlyksur -- bandsagarsvarf, brotna heftu eða járníð sem tré dró úr jarðveginum og batt í kjarnvið sinn -- myndar það staðbundið rof í segulsvörun eftir lögninni. Ef það er rakadrægt og skautað myndar það dreifða, rakaháða rýmd. Þetta eru sömu stærðir og hreinleikagráða leiðarans sjálfs á að halda í skefjum. Það er ósamræmi að skilgreina annað með sex níum en fela húsgagnasmiðnum hitt.

Þessi grein leggur til N-gráðuflokkun fyrir burðarvið, ekki skilgreinda með efnahreinleika í heild -- viður er um það bil hálfur kolefni og verður aldrei „99.999 prósent viður“ í neinum merkingarbærum skilningi -- heldur út frá þeim eina eiginleika sem tengir viðinn við hljóðmerkjaleið: magni parasegulvirkra leifa og því segulnæmi rúmmáls sem þær valda.

2. HLUTLEYSISGRÁÐAN OG N-KVARÐINN

Þurr viður er mótsegulmagnaður. Sellulósi, lignín og bundið vatn hafa hvert um sig lítið neikvætt segulnæmi rúmmáls, og hreinn, ómengaður viður liggur nærri $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, víddarlaust rúmmálssegulnæmi), sem samsvarar hlutfallslegum segulsvörunarstuðli μ_r 0.999994 -- ógreinanlegum frá einum og raunar örlítið undir honum. Fullkomlega hlutlaus viður er því ekki aðeins ósegulmagnaður; hann er veiklega og endurtakanlega mótsegulmagnaður, sem er rétta og æskilega ástandið fyrir efni sem á að sitja í kyrru eða hálfkyrru sviði án þess að raska því.

Frávik frá þessari grunnlínu stafa nær alfarið af parasegulvirkum óhreinindum úr hliðarmálum, þar sem járn ræður ríkjum og mangan kemur langt á eftir. Tré er steinefnadæla: það dregur málmjónir úr jarðvatni og fellir þær ójafnt inn í vefi sína. Járninnihald getur því verið frá fáeinum ppm í hreinum plantekruharðviði upp í hundruð ppm í tegundum með tannínefnafraði sem bindur járn með klóbindingu. Hvert ppm járnss bætir litlu jákvæðu framlagi við segulnæmið og dregur viðinn upp frá mótsegulgrunnlínunni að segulhlutleysi -- og hjá verstu tegundunum yfir hana.

Við skilgreinum því hlutleysisgráðu viðar út frá samanlögðu massahlutfalli járnns og mangans og, jafngilt, mældu frávik rúmmálssegulnæmis frá mótsegulgrunnlínunni:

- 4N (99.99 prósent hlutlaus): $Fe + Mn \leq 100$ ppm. Dæmigert fyrir óvalinn harðvið til húsgagnagerðar.
 - 5N (99.999 prósent hlutlaus): $Fe + Mn \leq 10$ ppm; leifarsegulnæmi innan $\pm 1 \times 10^{-6}$ frá mótsegulgrunnlínunni.
- Afhendingarforskrift Equatorial Audio.



- 6N (99.9999 prósent hlutlaust): Fe + Mn $\leq$ 1 ppm; nettósegulnæmi enn mótsegulmagnað innan mælióvissu. Næst með vali einstakra efnisbúta.
- 7N: Fe + Mn $\leq$ 0.1 ppm. Hér skráð fyrir tvo tekkbúta af 340 sem voru skimaðir. Ekki framleiðslugráða.

Prósentutölurnar eru, eins og við viðurkennum, mælskuleg lántaka úr málmhefðinni fremur en tala um heildarsamsetningu; „99.999 prósent hlutlaust“ merkir 10 ppm af menguninni sem skiptir máli, ekki 10 ppm af einhverju sem er ekki viður. Við höldum tákuninni vegna þess að lesandinn hugsar nú þegar með henni og vegna þess að undirliggjandi stærð -- paraseguldæmni hlutar af milljón -- er mæld á sama hátt og koparhreinistöð mælir óhreinindi í bakskauti.

3. TÆKJABÚNAÐUR OG AÐFERÐ

Flokkun efnisbúts krefst þriggja óháðra segul- og efnamælinga -- skimunar eftir járnsegulinnlyksum, ákvörðunar á heildarsegulnæmi og snefilmálmagreiningar -- auk rafsvörunargreiningar fyrir uppsetningarlíkan.

Skimun eftir járnsegulinnlyksum. Hver efnisbútur er færður á vélknúna borði með 20 mm/s í gegnum fylki fluxgate-stigulmæla (Bartington Grad-13, þrír ásar, 1 nT upplausn). Stigulmælirinn greinir stakar járnsegulmagnaðar innlyksur -- innfellda nagla, högl, bandsagarsvarf og algenga mengun úr iðnaðarvinnslu viðar -- allt niður í brot undir millimetra í 30 mm dýpi. Endurunninn og bjargaður viður fellur reglulega á þessari skimun; það er meginástæða þess að Equatorial Elevation Blocks eru fræstir úr ónotuðum plantekruviði en aldrei endurunnum viði, hversu rómantískur sem uppruni hans kann að vera.

Heildarsegulnæmi. Úr hverjum samþykktum efnisbút er tekinn 12 mm kjarni og hann mældur í titringssýnasegulmæli (Lake Shore 8600, næmi 5×10^{-8} emu) við 300 K. VSM-mælirinn skilar nettósegulnæmi rúmmálsins, sem segulviðmið gráðunnar er lesið beint af. Hreinn tekkkjarni mælist neikvæður; eikarkjarni mælist oft jákvæður.

Snefilmálmagreining. Mældi kjarninn er síðan frostmalaður, leystur upp með örbylgjum í saltþéturs- og flúorsýru og greindur með massagreiningu í spanvöktuðu plasma (ICP-MS) fyrir Fe, Mn, Ni, Co og Cr. Þetta er sama trjáefnafræðilega verklag og notað er til að endurgera mengunarsögu úr áhringjum, hér beitt í tilgangi sem við teljum ólíklegt að upphafsmenn þess hafi séð fyrir. Fe + Mn-talan setur efnaviðmið gráðunnar; segul- og efnaviðmið verða að falla saman innan gráðubilsins, annars er efnisbútnum hafnað sem innbyrðis ósamræmdum -- yfirleitt merki um innlyksu sem stigulmælirinn missti af.

Rafsvörunargreining. Fyrir uppsetningarlíkanið mælum við hlutfallslegan rafsvörunarstuðul og taptangens á vélunarsýnum með varinni samsíða plötusellu og viðnámsgreini (Keysight E4990A) frá 20 Hz til 10 MHz, bæði með og þvert á trefjar, eftir að sýnin hafa verið jöfnuð við 8, 12 og 16 prósent rakainnihald. Þessar tölur fara ekki inn í hlutleysisgráðuna -- einangrunarefni er ekki segulmengun -- en þær stýra dreifðu rýmddinni sem fullunnin stoð leggur á kapalinn og eru skráðar við hlið gráðunnar á vottorði hverrar einingar.

4. NIÐURSTÖÐUR: SAMANBURÐUR VIÐARTEGUNDA

Ellefu tegundir voru skimaðar, með $n = 20$ efnisbútum af hverri. Niðurstöðurnar skiptast skýrt í þrjú bil.

Tegundirnar sem féllu. Hvít eik (Quercus alba) stóð sig verst, með 41 til 190 ppm járn og jákvætt nettósegulnæmi í 14 af 20 efnisbútum. Ástæðan er kunnug öllum sem hafa skilið stálþvingu eftir á rakri eik yfir nótt: hátt tanninnihald eikar klóbinsst járni í járntannat -- blásvarta efnið í járn gallbleki -- og eikin safnar því með virkum hætti einmitt þeirri mengun sem gráðan refsar. Eik er fallegur viður og segullega fjandsamlegur. Valhneta og kirsuber stóðu sig betur en voru samt að meðaltali 4N eða þar undir.

Grös og samsett efni. Bambus, sem oft er markaðssettur sem sjálfbær „viður“, er gras með miklu kísilinnihaldi og óreglulega hnútaefnafræði; segulnæmi hans réðst af steinefnainnlyksum á kornakvarða og ekki var hægt að gefa honum stöðuga gráðu. Meðalþétt trefjaplata (MDF) féll á allt öðrum ás: þvagefnis-formaldehýðbindiefnið er mjög skautað, gefur hlutfallslegan rafsvörunarstuðul 4 til 6 og taptangens stærðarþrepi hærra en gegnheill viður, auk þess sem framleiðslan gerir plötuna viðkvæma fyrir innfelldu málmryki. MDF er útilokað sem burðarefni af rafsvörunarástæðum áður en segulgráða þess kemur til álita.

Niðurstaða tekksins. Plantekrutekkur (Tectona grandis), ræktaður innan 5 deg frá jarðsegulmiðbaug, mældist með 3 til 9 ppm Fe + Mn í 20 efnisbútum, nettósegulnæmið var mótsegulmagnað í hverju sýni og viðurinn náði 5N í afhentu ástandi. Með vali einstakra búta samkvæmt VSM og ICP-MS uppfylltu 31 af 340 skimuðum bútum 6N og tveir 7N. Yfirburðir miðbaugstekks eru ekki dulrænir: hann vex hratt í stýrðum, útskoluðum og járnsmiðum plantekrujarðvegi, er felldur ungur áður en steinefni safnast djúpt í kjarnviðinn og skortir tanninn-járnefnafræðina sem refsar eik. Rafsvörunarstuðull hans, 2.1 við 12 prósent rakainnihald, er sá lægsti af öllum prófuðum tegundum og nálgast stuðul verkfræðifrauðs í hátíðnimælubúnaði.

5. VANDINN VIÐ YFIRBORÐSMEÐFERÐ

Gráða viðar er eiginleiki viðarins, ekki hlutarins sem úr honum verður -- og algengasta leiðin til að eyðileggja góða gráðu er að yfirborðsmeðhöndla viðinn.

Nær allar olíu-, fernis- og lakkmeðferðir eru hertar með málmþurrkefnum: kóbalt-, mangan- og sirkonsöltum naftensýru eða



2-etylhexansýru, bætt í sem broti af prósentu til að hvata oxunarþvertengingu sem herðir filmuna. Kóbalt og mangan eru bæði parasegulgögnuð, og jafnvel 0.05 prósent málmhleðsla þurrkefnis fellir á hvern fermetra meðhöndlaðs yfirborðs meiri parasegulgögnuðan massa en allur undirliggjandi 5N-efnisbúturinn inniheldur. Við mældum 5N-tekkprófstykki fyrir og eftir eitt lag af hefðbundinni soðinni línólíumefni: yfirborðstengt segulnæmi þess hækkaði frá mótsegulgrunnlínunni í jákvætt nettógildi og endurflokkaði prófstykkið úr 5N í undir 4N. Viðurinn breyttist ekki. Yfirborðsmeðferðin setti mengunina aftur inn -- nákvæmlega á yfirborðið, í beinni snertingu við kapalinn, þar sem hún veldur mestum skaða.

Þetta er mæld forsenda -- ekki fagurfræðileg smekksatriði -- þess að Equatorial Elevation Blocks eru afhentir ómeðhöndlaðir. Yfirborðsmeðferð myndi á síðasta skrefi og á segulvirkasta staðnum gera allt valferlið sem vann efnisbútnum gráðuna að engu. Silfurgráa áferðin sem ómeðhöndlað tekk fær með aldrinum er frumefnaoxun á eigin yfirborði viðarins; hún bætir engum parasegulgögnuðum málmum við og er útlitsbreyting en engin segulbreyting.

6. TREFJAMISÁTTA OG RAFSVÖRUNARÁLAGSLEIÐIN

Viður er rafsvörunarlega misátta. Í tekkprófstykkjum okkar var hlutfallslegur rafsvörunarstuðull með trefjunum 22 til 28 prósent hærri en þvert á þær við 12 prósent rakainnihald, og taptangens fylgdi sama ás. Líkamlega orsökina er samstillt pípulaga frumubygging og stefna tvíþóla bundins vatns eftir trefjunum. Fyrir burðarefni er þessi misátta ekki óþægindi sem á að meðaltalsjafna burt; hún er hönnunarbreyta.

Kapallinn liggur í vöggum sem er fræst í efra borð hvers kubbs, þannig að ríkjandi rýmdartenging milli kapals og stoðar fer í gegnum stuttu lóðréttu viðarsúluna beint undir vöggunni. Með því að fræsa hvern kubb með endatrefjarnar lóðréttar -- áhringir sýnilegir á efra borði, trefjar lóðréttar eftir álagsleiðinni -- leggjum við þverás lægri rafsvörunarstuðuls í lárétta planið þar sem svið kapalsins er sterkast og geymum lengdarás hærri rafsvörunarstuðuls fyrir lóðréttu, burðarþolna stefnu þar sem hann veldur engum rafskaða en miklum vélrænum ávinningi. Endatrefjastefnan var upphaflega valin vegna þrýstistífleika; rafsvörunarrökin komu síðar fram úr þessum mælingum og staðfesta valið óháð.

Rakainnihald ræður heildarmyndinni. Rafsvörunarstuðull og taptangens hækka bæði hratt með bundnu vatni; þess vegna er hver flokkaður efnisbútur ofþurrkaður við uppruna í 12 +/- 1 prósent og viðhaldsáætlunin krefst árlegrar rakamælingar. Stoð sem hefur drukkið sig úr 12 í 18 prósent raka hefur breytt rafsvörunarframlagi sínu meira en nokkur munur milli viðartegunda myndi nokkurn tíma gera.

7. UMRÆÐA OG NIÐURSTAÐA

N-kvarðinn sem hér er lagður til sníkir meðvitað á hefð sem lesandinn treystir þegar. Hljóðfyll sem greiðir fyrir sjöttu níuna í koparleiðara hefur þegar samþykkt þá forsögu að stjórna eigi parasegulvirkum leifum og dreifimengun sem mæld eru í ppm. Við höfum aðeins beitt þeirri forsögu og sama flokki mælinga á efnið sem leiðarinn hvílir á -- og komist að því að venja iðnaðarins að flokka málminn með sex níum en leggja hann á öflokkaðan, járnberandi og tannínvirkkan harðvið er ósamhverfa sem þolir ekki að vera sögð upphátt.

Miðbaugsplantekrutekkur nær 5N-hlutleysi í afhentu ástandi og 6N með vali, af algerlega hversdagslegum ástæðum: járnsmáum vaxtarskilyrðum, ungri fellingu, engri tannín-járnefnafraði, litlu trjákvöðuinnihaldi og mótsegulgrunnlínunni sem hann deilir með öllum hreinum viði. Hann er ekki töfraefni. Hann er hreint efni, mælt, flokkað og skilið eftir ómeðhöndlað svo hann haldist þannig. Hver Equatorial Elevation Block er afhentur með gráðu efnisbútsins, Fe + Mn-tölu hans og mældu segulnæmi prentuðu á vottorðið. Við bjóðum lesandanum að biðja hvaða annan framleiðanda kapalstoða sem er um samsvarandi tölur og taka svarið til athugunar.

HEIMILDIR

- [1] James, W. L. (1975). Rafsvörunareiginleikar viðar og harðplötu: breytileiki með hitastigi, tíðni, rakainnihaldi og trefjastefnu. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Rafsvörunareiginleikar viðar og viðarefna. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Tengsl viðar og vatns. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Líffærafræðilegir, efnafræðilegir og vistfræðilegir þættir sem hafa áhrif á notkun viðar í trjáefnafræði. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Flokkun segulhlutleysis burðarviðar: tækjabúnaður og mörk gráða. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Mæling rafsvörunarstuðuls misátta, taplilla fastefna með varinni samsíða plötusellu. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.