



**UPANGAJI WA DARAJA LA
KUTOPENDELEA KWA SUMAKU
KWA MBAO ZA MIUNDO:
UAINISHAJI WA USAFI WA
N-GRADE KWA NYENZO ZA KIUNZI
CHA SAUTI, PAMOJA NA
UAINISHAJI WA PARAMAGNETIKI
YA KIWANGO CHA CHINI KATIKA
TEAK YA IKWETA**



Upangaji wa Daraja la Kutopendelea kwa Sumaku kwa Mbao za Miundo: Uainishaji wa Usafi wa N-Grade kwa Nyenzo za Kiunzi cha Sauti, pamoja na Uainishaji wa Paramagnetiki ya Kiwango cha Chini katika Teak ya Ikweta

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.

Muhtasari

Kondakta za sauti kwa kawaida hubainishwa kwa madaraja ya usafi wa kimetalurgia -- 4N (99.99%), 6N (99.9999%), na zaidi -- ilhali nyenzo za miundo zinazoshikilia, kuinua, na kukomesha kondakta hizo hubainishwa, kama zinabainishwa kabisa, kwa mwonekano. Huu ni ulinganifu usio sawa usio na hoja: nyenzo ya kiunzi iliyo katika mguso endelevu na kebo ya ishara hushiriki katika mazingira ya karibu ya sumakuumeme ya kebo, na kwa hiyo sifa zake za sumaku na dielektriki ni viingizo vinavyopimika vya usakinishaji, si mapambo. Tunapendekeza uainishaji wa usafi wa N-grade kwa mbao za miundo, unaofanana na kipimo cha N-grade cha metali lakini unaofafanuliwa kwa kiasi muhimu kwa kisicho kondakta: maudhui ya paramagnetiki yaliyobaki. Daraja la mbao huamuliwa na usikivu wake wa sumaku kwa ujazo na, kwa usawa, sehemu ya pamoja ya wingi ya vichafuzi vikuu vya paramagnetiki, chuma na manganizi, inayobainishwa kwa spektrometri ya wingi ya plazma iliyounganishwa kwa uingizaji baada ya umeng'enyaji wa asidi kwa mikrowevu. Tunaainisha spishi 11 zinazowezekeza na kuonyesha kwamba mbao nyingi ngumu za fanicha -- hasa mwaloni mweupe, wenye chuma cha 41 hadi 190 ppm -- ziko chini ya kutopendelea kwa 4N, ilhali teak ya shamba (Tectona grandis) iliyokuzwa ndani ya 5 deg kutoka ikweta ya kijiomagnetiki hufikia 5N (asilimia 99.999 isiyopendelea kisumaku, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) kama inavyowasilishwa na 6N kwa uteuzi wa gogo moja moja. Tunaripoti ala, mipaka ya madaraja, athari za dielektriki za mwelekeo wa nafaka na kiwango cha unyevu, na kuainishwa upya kwa mbao isiyopendelea kuwa "iliyodhoofishwa kisumaku" kunakofuata uwekaji wa mpako wowote unaochochewa na metali.

1. UTANGULIZI

Soko la kondakta za wapenzi wa sauti limepangwa kuzunguka usafi. Shaba isiyo na oksijeni huuzwa kama 4N (asilimia 99.99), 5N, 6N, na -- kwenye mpaka wa kile utakaso wa kielektroliti unaweza kutoa -- 7N. Kila tisa ya ziada hueleweka kuwa inaondoa eneo la mtawanyiko, uchafu wa mpaka wa nafaka, au jumuisho la paramagnetiki. Ikiwa manufaa yanayosikika ya tisa ya mwisho yanastahimili jaribio la kusikiliza lililodhibitiwa ni swali tofauti, linaloshughulikiwa kwingineko katika jarida hili; hoja hapa ni kwamba tasnia ina msamiati madhubuti, wa kiasi, na unaoeleweka kote kuhusu usafi wa kondakta.

Haina msamiati kama huo kwa kitu kingine chochote. Kebo hupewa daraja la tisa saba kisha huwekwa sakafuni, hubanwa ukutani, au hulazwa juu ya kiunzi chenye muundo usiobainishwa kabisa. Kiunzi huchaguliwa kwa rangi yake. Hii ndiyo nafasi ya mbao katika mfumo wa sauti: inabeba mzigo wa kimuundo, iko katika mguso wa kimwili unaoendelea na kondakta ya ishara, na haionekani katika metrolojia.

Tunaona hali hii haiwezi kutetewa. Nyenzo ya kiunzi inayogusa kebo ni sehemu ya mazingira ya karibu ya dielektriki na sumaku ya kebo. Ikiwa ina mijuisho ya ferromagnetiki -- kipande cha masalia ya msumeno wa bendi, kikuu kilichovunjika, au chuma ambacho mti ulivuta kutoka udongoni na kukifunga katika kiini chake -- huleta ukatizaji wa ndani wa upenyezaji kwenye njia. Ikiwa ni higroskopiki na polari, huleta kapasitansi iliyosambazwa inayotegemea unyevunyevu. Hivi ndivyo vipimo ambavyo daraja la usafi la kondakta yenyewe limekusudiwa kudhibiti. Si thabiti kubainisha kimoja hadi tisa sita na kukiacha kingine kwa seremala wa fanicha.

Makaratasi hii inapendekeza uainishaji wa N-grade kwa mbao za miundo, unaofafanuliwa si kwa usafi wa kemikali katika maana ya muundo wa jumla -- mbao ni takriban nusu kaboni na kamwe haitakuwa "asilimia 99.999 mbao" kwa maana yoyote yenye manufaa -- bali kwa sifa moja inayounganisha mbao na njia ya ishara ya sauti: maudhui yake ya paramagnetiki yaliyobaki, na usikivu wa sumaku kwa ujazo unaotokana na maudhui hayo.

2. DARAJA LA KUTOPENDELEA NA KIPIMO CHA N

Mbao kavu ni diamagnetiki. Selulosi, lignini, na maji yaliyofungamana kila kimoja hubeba usikivu mdogo hasi wa sumaku kwa ujazo, na mbao safi isiyo na uchafu hukaa karibu na $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, usikivu wa sumaku kwa ujazo usio na kipimo), unaolingana na upenyezaji linganishi μ_r wa 0.999994 -- usiotofautika na moja, na kwa kweli ulio chini yake kidogo sana. Kwa hiyo mbao isiyopendelea kikamilifu si tu isiyo na sumaku; ni diamagnetiki kwa udhaifu unaoweza kurudiwa, hali sahihi na inayotakiwa kwa nyenzo inayoombwa kukaa katika uwanja tuli na takriban-tuli bila kuuvuruga.

Mikengeuko kutoka msingi huu karibu yote husababishwa na vichafuzi vya metali za mpito vya paramagnetiki, ambapo chuma hutawala na manganizi hufuata kwa mbali. Mti ni pampu ya madini: huvuta ioni za metali kutoka maji ya udongo na kuziweka, bila usawa, katika tishu zake. Maudhui ya chuma yanayotokana huanzia sehemu chache kwa milioni katika mbao ngumu safi ya shamba hadi mamia ya sehemu kwa milioni katika spishi zenye kemia za tanini zinazofunga chuma kikamilifu. Kila sehemu kwa milioni ya chuma huongeza nyongeza ndogo chanya kwenye usikivu, ikiivuta mbao kutoka sakafu yake ya diamagnetiki kuelekea --



na katika spishi mbaya zaidi, kuvuka -- kutopendelea kwa sumaku.

Kwa hiyo tunafafanua daraja la kutopendelea kwa mbao kwa sehemu ya pamoja ya wingi wa chuma-na-manganizi, na kwa usawa kwa mkengeuko uliopimwa wa usikivu wa sumaku kwa ujazo kutoka msingi wa diamagnetiki:

- 4N (asilimia 99.99 isiyopendelea): $Fe + Mn \leq 100$ ppm. Kawaida kwa mbao ngumu ya fanicha isiyoteuliwa.
- 5N (asilimia 99.999 isiyopendelea): $Fe + Mn \leq 10$ ppm; usikivu uliobaki ndani ya $\pm 1 \times 10^{-6}$ kutoka msingi wa diamagnetiki. Bainisho la uwasilishaji la Equatorial Audio.
- 6N (asilimia 99.9999 isiyopendelea): $Fe + Mn \leq 1$ ppm; usikivu halisi bado ni diamagnetiki ndani ya kutokuwa na uhakika kwa kipimo. Hufikiwa kwa uteuzi wa gogo moja moja.
- 7N: $Fe + Mn \leq 0.1$ ppm. Imeripotiwa hapa kwa magogo mawili ya teak kati ya 340 yaliyochunguzwa. Si daraja la uzalishaji.

Tunakiri kuwa asilimia hizo ni ukopaji wa kibalagha kutoka kaida ya metali, si takwimu ya muundo wa jumla; "asilimia 99.999 isiyopendelea" humaanisha 10 ppm ya kichafuzi muhimu, si 10 ppm ya kisicho mbao. Tunadumisha mwandiko huo kwa sababu ndio mwandiko ambao msomaji tayari hutumia kufikiri, na kwa sababu kiasi cha msingi -- sehemu za paramagnetiki kwa milioni -- hupimwa kwa namna ileile ambayo msafishaji wa shaba hupima uchafu katika kathodi.

3. ALA NA MBINU

Kutoa daraja kwa gogo kunahitaji vipimo vitatu huru vya sumaku na kemikali -- uchanganuzi wa mijumuisho ya feri, ubainishaji wa usikivu wa jumla, na uchanganuzi wa metali za kiwango cha chini -- pamoja na uainishaji wa dielektriki kwa uundaji wa modeli ya usakinishaji.

Uchanganuzi wa mijumuisho ya feri. Kila gogo hupitishwa kwenye safu ya gradiomita ya fluxgate (Bartington Grad-13, mihimili mitatu, azimio la 1 nT) kwenye kitanda chenye mota kwa 20 mm/s. Gradiomita hubaini mijumuisho mahususi ya ferromagnetiki -- misumari iliyopachikwa, risasi, masalia ya msumeni wa bendi, na vichafuzi vya kawaida vya mbao yoyote iliyopita kwenye mashine za viwandani -- hadi vipande vidogo kuliko milimita vilivyo katika kina cha 30 mm. Mbao iliyotumika tena na iliyokolewa hushindwa uchanganuzi huu mara kwa mara; hii ndiyo sababu kuu Equatorial Elevation Blocks hukatawa kutoka mbao ya shamba ya mpito wa kwanza na kamwe si kutoka mbao iliyotumika tena, bila kujali mvuto wa asili yake.

Usikivu wa jumla. Kiini cha 12 mm hutolewa kutoka kila gogo lililokubaliwa na kupimwa katika magnetomita ya sampuli inayotetemeshwa (Lake Shore 8600, unyeti wa 5×10^{-8} emu) kwa 300 K. VSM hutoa usikivu halisi wa sumaku kwa ujazo, ambapo kigezo cha sumaku cha daraja husomwa moja kwa moja. Kiini safi cha teak husoma hasi; kiini cha mwaloni mara nyingi husoma chanya.

Uchanganuzi wa metali za kiwango cha chini. Kisha kiini kilichopimwa husagwa kikiwa kimegandishwa, humeng'enywa kwa mikrowevu katika asidi ya nitriki pamoja na hidrofloriki, na kuchanganuliwa kwa spektrometri ya wingi ya plazma iliyounganishwa kwa uingizaji (ICP-MS) kwa Fe, Mn, Ni, Co, na Cr. Hii ni itifaki ileile ya dendrokemia inayotumiwa kujenga upya historia za uchafuzi kutoka pete za miti, ikitumika hapa kwa lengo ambalo tunakiri waanzilishi wake hawakulitarajia. Takwimu ya $Fe + Mn$ huweka kigezo cha kemikali cha daraja; vigezo vya sumaku na kemikali lazima vikubaliane ndani ya bendi ya daraja, au gogo hukataliwa kwa kutokuwa thabiti ndani -- kwa kawaida ishara ya jumuisho ambalo gradiomita haikuliona.

Uainishaji wa dielektriki. Kwa uundaji wa modeli ya usakinishaji tunapima permittiviti linganishi na tanjenti ya upotevu kwenye vipande vilivyotengenezwa kwa kutumia seli ya bamba-sambamba yenye guard na kichanganuzi cha impedansi (Keysight E4990A) kutoka 20 Hz hadi 10 MHz, sambamba na nafaka na kuvuka nafaka, vikiwa vimewekwa katika asilimia 8, 12, na 16 ya unyevu. Takwimu hizi haziingii katika daraja la kutopendelea -- dielektriki si kichafuzi cha sumaku -- lakini hutawala kapasitansi iliyosambazwa ambayo kiunzi kilichokamilika huleta kwa kebo, na huripotiwa pamoja na daraja kwenye cheti cha kila kitengo.

4. MATOKEO: ULINGANISHO WA SPISHI

Spishi kumi na moja zilichunguzwa kwa $n = 20$ magogo kila moja. Matokeo yanajitenga wazi katika bendi tatu.

Zilizoshindwa. Mwaloni mweupe (*Quercus alba*) ulifanya vibaya zaidi, ukiwa na chuma cha 41 hadi 190 ppm na usikivu halisi chanya katika magogo 14 kati ya 20. Sababu inajulikana vizuri kwa yeyote aliyewahi kuacha kibano cha chuma kwenye mwaloni wenye unyevunyevu usiku mmoja: maudhui makubwa ya tanini ya mwaloni hufunga chuma kuwa tanati ya chuma -- kiungo cha bluu-nyeusi cha wino wa chuma-gali -- na hivyo mwaloni hukusanya kikamilifu kichafuzi kilekile ambacho daraja hili huadhibu. Mwaloni ni mbao nzuri na yenye uhasama wa sumaku. Jozi na mcheri zilifanya vizuri zaidi lakini wastani wao bado ulikuwa 4N au chini.

Nyasi na kompoziti. Mwanzi, unaouzwa mara nyingi kama "mbao" endelevu, ni nyasi yenye mzigo mkubwa wa silika na kemia ya vifundo isiyotabirika; usikivu wake ulitawaliwa na mijumuisho ya madini ya kiwango cha nafaka na haukuweza kupewa daraja thabiti. Bodi ya nyuzi yenye msongamano wa kati (MDF) ilishindwa kwenye mhimili tofauti kabisa: kiunganishi chake cha urea-formaldehidi ni polari sana, kikiwezesha kuwa na permittiviti linganishi ya 4 hadi 6 na tanjenti ya upotevu ya kiwango kimoja zaidi ya mbao thabiti, na utengenezaji wake huiweka katika hatari ya chembechembe za metali zilizopachikwa. MDF hukataliwa



kama nyenzo ya kiunzi kwa misingi ya dielektriki kabla hata daraja lake la sumaku halijazingatiwa.

Tokeo la teak. Teak ya shamba (*Tectona grandis*) iliyokuzwa ndani ya 5 deg kutoka ikweta ya kijiomagnetiki ilirudisha 3 hadi 9 ppm Fe + Mn katika magogo 20, usikivu halisi wa diamagnetiki katika kila sampuli, na daraja la 5N kama ilivyowasilishwa. Chini ya uteuzi wa VSM-pamoja-na-ICP-MS wa gogo moja moja, magogo 31 kati ya 340 yaliyochunguzwa yalifikia 6N na mawili yalifikia 7N. Faida ya teak ya ikweta si ya kifumbo: hukuzwa haraka kwenye udongo wa shamba unaosimamiwa, uliooshwa na wenye chuma kidogo, huvunwa ikiwa michanga kabla ya mkusanyiko mkubwa wa madini katika kiini, na haina kemia ya tanini-chuma inayouadhibu mwaloni. Konstanti yake ya dielektriki ya 2.1 kwa asilimia 12 ya unyevu ndiyo ya chini zaidi kati ya spishi zote zilizojaribiwa na hukaribia ile ya povu za kihandisi zinazotumiwa katika vifaa vya RF.

5. TATIZO LA MPAKO WA MWISHO

Daraja la mbao ni sifa ya mbao, si ya kitu inachokuwa -- na njia ya kawaida zaidi ya kuharibu daraja zuri ni kuipaka mbao.

Takriban mipako yote ya mafuta, vanishi, na laka hukauka kwa vichocheo vya ukaushaji vya metali: chumvi za kobalti, manganizi, na zirconiamu za asidi ya nafteniki au 2-ethylhexanoic, zinazoongezwa kwa sehemu ndogo ya asilimia ili kuchochea kuunganika kwa oksidishaji kunakofanya filamu kuwa ngumu. Kobalti na manganizi zote ni paramagnetiki, na mzigo wa kichocheo cha ukaushaji wa hata asilimia 0.05 ya metali huweka, kwa kila mita mraba ya uso uliopakwa, wingi mkubwa zaidi wa paramagnetiki kuliko gogo lote la 5N lililo chini yake. Tulipima kipande cha teak cha 5N kabla na baada ya koti moja la mpako wa kawaida wa linseed uliochemshwa: usikivu wake wa uso ulipanda kutoka msingi wa diamagnetiki hadi thamani halisi chanya, ukikiainisha upya kipande kutoka 5N hadi chini ya 4N. Mbao haikubadilika. Mpako ulirudisha uchafuzi -- na ukauweka hasa kwenye uso, katika mguso wa moja kwa moja na kebo, mahali pabaya zaidi kuuweka.

Huu ndio msingi uliopimwa -- si upendeleo wa mwonekano -- wa kusambaza Equatorial Elevation Blocks bila mpako. Mpako ungebatilisha, katika hatua ya mwisho na mahali penye shughuli nyingi zaidi za sumaku, mchakato mzima wa uteuzi uliilipatia gogo daraja lake. Patina ya fedha-kijivu inayositawi kwenye teak isiyopakwa kadiri inavyozeeka ni oksidishaji wa kimsingi wa uso wa mbao yenyewe; haiongezi metali ya paramagnetiki, na ni badiliko la mwonekano lakini si tukio la sumaku.

6. ANISOTROPIA YA NAFKA NA NJIA YA MZIGO WA DIELEKTRIKI

Mbao ina anisotropia ya dielektriki. Vipimo katika vipande vyetu vya teak vilionyesha permittiviti linganishi sambamba na nafaka ilizidi ile ya kuvuka nafaka kwa asilimia 22 hadi 28 katika asilimia 12 ya unyevu, na tanjenti ya upotevu ilifuata mhimili huohuo. Sababu ya kifiziikia ni muundo wa seli ulioelekezwa na wa mirija pamoja na mwelekeo wa dipoli za maji yaliyofungamana sambamba na nyuzi. Kwa nyenzo ya kiunzi, anisotropia hii si usumbufu wa kuchukuliwa wastani; ni kigeu cha muundo.

Kebo hukaa katika utando uliokatwa kwenye sehemu ya juu ya kila bloku, kwa hiyo muunganiko mkuu wa kapasitansi kati ya kebo na kiunzi hupitia safu fupi wima ya mbao iliyo moja kwa moja chini ya utando. Kwa kukata kila bloku huku nafaka ya mwisho ikiwa wima -- pete za ukuaji zikionekana kwenye uso wa juu, nyuzi zikikimbia wima kwenye njia ya mzigo -- tunaelekeza mhimili wa kuvuka nafaka wenye permittiviti ndogo katika ndege ya mlalo ambako uwanja wa kebo una nguvu zaidi, na kuhifadhi mhimili wa sambamba na nafaka wenye permittiviti kubwa kwa mwelekeo wima unaobeba mzigo, ambako hauna madhara ya umeme na una manufaa makubwa ya kimakanika. Mwelekeo wa nafaka ya mwisho ulikubaliwa awali kwa ugumu wake wa kubanwa; hoja ya dielektriki iliibuka baadaye kutoka vipimo hivi na kuthibitisha chaguo hilo kwa kujitegemea.

Kiwango cha unyevu hutawala picha nzima. Permittiviti na tanjenti ya upotevu zote huongezeka kwa kasi pamoja na maji yaliyofungamana, ndiyo sababu kila gogo lililopewa daraja hukaukwa kwenye tanuru mahali lilipotoka hadi asilimia 12 +/- 1 na ratiba ya matengenezo hubainisha ukaguzi wa unyevu kila mwaka. Kiunzi kilichofyonza kutoka asilimia 12 hadi 18 ya unyevu kimebadili mchango wake wa dielektriki zaidi kuliko tofauti yoyote kati ya spishi itakavyoweza.

7. MJADALA NA HITIMISHO

Kipimo cha N-grade kinachopendelezwa hapa kwa makusudi kinategemea kaida ambayo msomaji tayari anaiamini. Mpenzi wa sauti atakayelipia tisa ya sita kwenye kondakta ya shaba tayari amekubali dhana kwamba uchafuzi wa paramagnetiki na wa mtawanyiko uliobaki, unaopimwa kwa sehemu kwa milioni, unastahili kudhibitiwa. Hatukufanya zaidi ya kutumia dhana hiyo, na aina ileile ya kipimo, kwa nyenzo ambayo kondakta hulalia -- na tukagundua kwamba desturi ya tasnia ya kuipa metali daraja la tisa sita huku ikiilaza juu ya mbao ngumu isiyopewa daraja, yenye chuma, na tanini amilifu ni ulinganifu usio sawa ambao hauwezi kustahimili kutamkwa wazi.

Teak ya shamba la ikweta hufikia kutopendelea kwa 5N kama inavyowasilishwa, 6N chini ya uteuzi, na hufanya hivyo kwa sababu za kawaida kabisa: hali za ukuaji zenye chuma kidogo, uvunaji wa mapema, kutokuwepo kwa kemia ya tanini-chuma, resini kidogo, na msingi wa diamagnetiki unaoshirikiwa na mbao yote safi. Si nyenzo ya kichawi. Nyenzo hiyo ni safi, imepimwa, imepewa daraja, na imeachwa bila mpako ili ibaki hivyo. Kila Equatorial Elevation Block husafirishwa ikiwa na daraja la gogo lake, takwimu yake ya Fe + Mn, na usikivu wake uliopimwa zikiwa zimechapishwa kwenye cheti. Tunamwalika msomaji kumuuliza mtengenezaji mwingine yeyote wa viunzi vya sauti kwa namba zinazolingana, na kutambua jibu.



MAREJEO

- [1] James, W. L. (1975). Sifa za Dielektriki za Mbao na Hardboard: Mabadiliko kulingana na Halijoto, Marudio, Kiwango cha Unyevu, na Mwelekeo wa Nafaka. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Sifa za Dielektriki za Mbao na Nyenzo Zinazotokana na Mbao. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Mahusiano ya Mbao na Maji. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Sababu za anatomia, kemikali, na ikolojia zinazoathiri matumizi ya mbao kwa dendrokemia. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Upangaji wa daraja la kutopendelea kwa sumaku kwa mbao za miundo: ala na mipaka ya daraja. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Kipimo cha permittiviti kwa bamba-sambamba lenye guard cha vitu yabisi vya anisotropia na upotevu mdogo. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.