



RAKENNUSPUUN MAGNEETTISEN NEUTRAALIUDEN LUOKITUS: N-LUOKAN PUHTAUSLUOKITUS AUDIOTUKIMATERIAALEILLE SEKÄ EKVATORIAALISEN TIIKIN PARAMAGNEETTISTEN HIVENAINEIDEN KARAKTERISOINTI



Rakennuspuun magneettisen neutraaliuden luokitus: N-luokan puhtausluokitus audiotukimateriaaleille sekä ekvatoriaalisen tiikin paramagneettisten hivenaineiden karakterisointi

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.

Tiivistelmä

Audiojohtimille määritetään rutiininomaisesti metallurgiset puhtausluokat -- 4N (99.99 %), 6N (99.9999 %) ja sitäkin korkeammat -- mutta näitä johtimia kannattavat, kohottavat ja päättävät rakennemateriaalit määritetään korkeintaan ulkonäön perusteella. Tälle epäsymmetriselle ei ole perusteita: jatkuvassa kosketuksessa signaalikaapeliin oleva tukimateriaali osallistuu kaapelin lähikentän sähkömagneettiseen ympäristöön, joten sen magneettiset ja dielektriset ominaisuudet ovat asennuksen mitattavia lähtöarvoja eivätkä koristeellisia seikkoja. Ehdotamme rakennuspuulle N-luokan puhtausluokitusta, joka vastaa metallien N-luokka-asteikkoa mutta perustuu johtamattomassa aineessa merkitykselliseen suureeseen: jäljellä olevaan paramagneettiseen pitoisuuteen. Puun luokka määräytyy sen magneettisen tilavuussuskeptibiliteetin ja vastaavasti hallitsevien paramagneettisten epäpuhtauksien, raudan ja mangaanin, yhteenlasketun massaosuuden perusteella; massaosuus määritetään induktiivisesti kytketyllä plasmamassaspektrometrillä mikroaaltoavusteisen happohajotuksen jälkeen. Karakterisoimme 11 ehdokaslajia ja osoitamme, että useimmat huonekalulehtipuut -- erityisesti valkotammi, jonka rautapitoisuus on 41-190 ppm -- jäävät alle 4N-neutraaliuden, kun taas enintään 5 deg:n etäisyydellä geomagneettisesta päiväntasaajasta kasvatettu viljelmätiikki (*Tectona grandis*) saavuttaa toimitustilassa 5N-luokan (99.999 prosenttia magneettisesti neutraali, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) ja yksittäisen aihion valinnalla 6N-luokan. Raportoimme mittalaitteet, luokkarajat, syysuunnan ja kosteuspitoisuuden dielektriset seuraukset sekä neutraalin puun uudelleenluokituksen "magneettisesti vaarantuneeksi", kun siihen levitetään mikä tahansa metallikatalysoitu pintakäsittely.

1. JOHDANTO

Audiofiilisten johdinten markkinat rakentuvat puhtauden varaan. Happivapaata kuparia myydään luokissa 4N (99.99 prosenttia), 5N, 6N ja -- elektrolyyttisen puhdistuksen ääriarjalla -- 7N. Jokaisen uuden yhdeksikön ymmärretään poistavan sirontakohdan, raerajaepäpuhtauden tai paramagneettisen sulkeuman. Se, säilyykö viimeisen yhdeksikön kuultava hyöty kontrolloidussa kuuntelukokeessa, on erillinen kysymys, jota käsitellään muualla tässä julkaisussa; olennaista on, että alalla on johdinten puhtaudelle täsmällinen, määrällinen ja yleisesti ymmärretty sanasto.

Millekään muulle vastaavaa sanastoa ei ole. Kaapeli luokitellaan seitsemään yhdeksikköön ja lasketaan sitten lattialle, kiinnitetään seinään tai asetetaan koostumukseltaan täysin määrittelemättömälle tuelle. Tuki valitaan värinsä perusteella. Tämä on puun asema audiojärjestelmässä: se kantaa rakenteellista kuormaa, on jatkuvassa fyysisessä kosketuksessa signaalihohtimeen ja jää metrologisesti näkymättömäksi.

Pidämme tätä kestävämmänä. Kaapeliin koskettava tukimateriaali kuuluu kaapelin välittömään dielektriseen ja magneettiseen ympäristöön. Jos siinä on ferromagneettisia sulkeumia -- vannesahan lastun pala, katkennut sinkilä tai rauta, jonka puu on ottanut maasta ja sitonut sydänpuuhunsa -- se muodostaa paikallisen permeabiliteettijatkuvuuden kaapelivedon varrelle. Jos materiaali on hygroskooppinen ja polaarinen, se muodostaa jakautuneen, kosteudesta riippuvan kapasitanssin. Juuri näitä suuria johtimen oma puhtausluokkaa on tarkoitettu hallitsemaan. On epä johdonmukaista määrittää toiselle yhdestä kuuteen yhdeksikköä ja jättää toinen puusepän harkintaan.

Tässä artikkelissa ehdotetaan rakennuspuulle N-luokitusta, jota ei määritellä kemiallisena puhtautena kokonaiskoostumuksen merkityksessä -- puu on suunnilleen puoliksi hiiltä eikä voi millään mielekkäällä tavalla olla "99.999-prosenttisesti puuta" -- vaan sen ainoan ominaisuuden perusteella, jonka kautta puu kytkeytyy audiosignaaliin: jäljellä olevan paramagneettisen pitoisuuden ja sen synnyttämän magneettisen tilavuussuskeptibiliteetin perusteella.

2. NEUTRAALIUSLUOKKA JA N-ASTEIKKO

Kuiva puu on diamagneettista. Selluloosalla, ligniinillä ja sitoutuneella vedellä on kullakin pieni negatiivinen magneettinen tilavuussuskeptibiliteetti, ja puhdas, kontaminoitumaton puu asettuu lähelle arvoa $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, dimensioton tilavuussuskeptibiliteetti), jota vastaa suhteellinen permeabiliteetti $\mu_r = 0.999994$ -- käytännössä yksi, mutta itse asiassa hyvin vähän sen alapuolella. Täysin neutraali puu ei siis ole pelkästään ei-magneettista vaan heikosti ja toistettavasti diamagneettista, mikä on oikea ja tavoiteltava tila materiaalille, jonka on oltava staattisessa ja kvasistaattisessa kentässä häiritsemättä sitä.

Poikkeamat tästä perustasosta johtuvat lähes kokonaan paramagneettisista siirtymämetalliepäpuhtauksista, joista rauta on hallitseva ja mangaani selvästi kaukainen kakkonen. Puu toimii mineraalipumppuna: se ottaa metalli-ioneja maavedestä ja kerrosta niitä epätasaisesti kudoksiinsa. Näin syntyvä rautapitoisuus vaihtelee puhtaan viljelmälehtipuun muutamasta miljoonasosasta satoihin miljoonasosiin lajeissa, joiden tanniinikemia kelatoi rautaa aktiivisesti. Jokainen miljoonasosa rautaa lisää



suskeptibiliteettiin pienen positiivisen osuuden ja vetää puuta sen diamagneettiselta pohjatasolta kohti magneettista neutraaliutta -- ja pahimmissa lajeissa sen yli.

Määrittelemme siksi puun neutraaliusluokan raudan ja mangaanin yhteenlasketun massaosuuden sekä vastaavasti tilavuussuskeptibiliteetin diamagneettisesta perustasosta mitatun poikkeaman perusteella:

- 4N (99.99 prosenttia neutraali): $Fe + Mn \leq 100$ ppm. Tyypillinen valikoimattomalle huonekalulehtipuulle.
- 5N (99.999 prosenttia neutraali): $Fe + Mn \leq 10$ ppm; jäännössuskeptibiliteetti enintään $\pm 1 \times 10^{-6}$ diamagneettisesta perustasosta. Equatorial Audion toimitusmääritys.
- 6N (99.9999 prosenttia neutraali): $Fe + Mn \leq 1$ ppm; nettosuskeptibiliteetti pysyy diamagneettisena mittausepävarmuuden rajoissa. Saavutettavissa yksittäisen aihion valinnalla.
- 7N: $Fe + Mn \leq 0.1$ ppm. Tässä raportoitu kahdelle tiikkiaihiolle 340 seulotusta. Ei tuotantoluokkaa.

Myönnämme prosenttien olevan retorinen laina metallien käytännöstä eikä kokonaiskoostumusta kuvaava luku; "99.999 prosenttia neutraali" tarkoittaa 10 ppm merkityksellistä epäpuhtautta, ei 10 ppm muuta kuin puuta. Säilytämme merkintätavan, koska lukija on jo tottunut päättelämään sen avulla ja koska taustalla oleva suure -- paramagneettiset miljoonaset -- mitataan samalla tavalla kuin kuparinjaloitaja mittaa katodin epäpuhtaudet.

3. MITTALAITTEET JA MENETELMÄ

Aihion luokittelu edellyttää kolmea toisistaan riippumatonta magneettista ja kemiallista mittausta -- rautapitoisten sulkeumien skannausta, kokonaissuskeptibiliteetin määrittystä ja hivenmetallianalyysiä -- sekä dielektristä karakterisointia asennuksen mallinnusta varten.

Rautapitoisten sulkeumien skannaus. Jokainen aihio kuljetetaan kolmiakselisen fluxgate-gradiometrianturin (Bartington Grad-13, erotuskyky 1 nT) ohi moottoroidulla alustalla nopeudella 20 mm/s. Gradiometri havaitsee erilliset ferromagneettiset sulkeumat -- upotetut naulat, haulit, vannesahan lastut ja muut teollisten koneiden kautta kulkeneen puun tavalliset epäpuhtaudet -- aina alle millimetrin kokosiin sirpaleisiin asti 30 mm:n syvyydestä. Uusiokäytetty ja pelastettu puu epäonnistuu tässä skannauksessa säännönmukaisesti; pääasiassa tästä syystä Equatorial Elevation Block -tuotetyyppien ensimmäisen käyttökerran viljelmäpuusta eikä koskaan uusiopuusta, oli pa sen alkuperätarinassa kuinka paljon romantiikkaa tahansa.

Kokonaissuskeptibiliteetti. Jokaisesta hyväksytystä aihioista irrotetaan 12 mm:n ydinnäyte, joka mitataan värähtelevän näytteen magnetometrillä (Lake Shore 8600, herkkyys 5×10^{-8} emu) lämpötilassa 300 K. VSM antaa nettotilavuussuskeptibiliteetin, josta luokan magneettinen kriteeri luetaan suoraan. Puhdas tiikkiydin antaa negatiivisen arvon, tammiydin usein positiivisen.

Hivenmetallianalyysi. Mitattu ydin jauhetaan sitten kylmäjauhatuksella, hajotetaan typpi- ja fluorivetyhapon seoksessa mikroaaltovälikäytinillä ja analysoidaan induktiivisesti kytketyllä plasmamassaspektrometrillä (ICP-MS) alkuaineille Fe, Mn, Ni, Co ja Cr. Kyseessä on sama dendrokemiallinen protokolla, jolla puiden vuosirenkaista rekonstruoidaan saastehistoriaa, nyt sovellettu tarkoitukseen, jota sen kehittäjät eivät tietävästi ennakoineet. $Fe + Mn$ -luku määrittää luokan kemiallisen kriteerin; magneettisen ja kemiallisen kriteerin on sovittava samaan luokan alueeseen, tai aihio hylätään sisäisesti ristiriitaisena -- tavallisesti siksi, että gradiometri ei havainnut jotakin sulkeumaa.

Dielektrinen karakterisointi. Asennuksen mallinnusta varten mittaamme koneistetuista koekappaleista suhteellisen permittiivisyyden ja häviötangentin suojarenkaallisella rinnakkaislevykennolla sekä impedanssianalyysaattorilla (Keysight E4990A) taajuuksilla 20 Hz-10 MHz syiden suuntaan ja niiden poikki, kun näytteet on tasapainotettu 8, 12 ja 16 prosentin kosteuspitoisuuksiin. Nämä luvut eivät vaikuta neutraaliusluokkaan -- dielektri ei ole magneettinen epäpuhtaus -- mutta ne määräävät valmiin tuen kaapeliin tuottaman jakautuneen kapasitanssin, ja ne ilmoitetaan luokan rinnalla jokaisen yksikön todistuksessa.

4. TULOKSET: PUULAJIEN VERTAILU

Seuloimme yksitoista lajia, kustakin $n = 20$ aihiota. Tulokset jakautuvat selvästi kolmeen ryhmään.

Hylätyt. Valkotammi (*Quercus alba*) menestyi heikoimmin: rautaa oli 41-190 ppm, ja 14 aihiota 20:stä osoitti positiivisen nettosuskeptibiliteetin. Syy on tuttu jokaiselle, joka on jättänyt teräspuristimen yöksi kostealle tammelle: tammen suuri tanniinipitoisuus kelatoi rautaa rautatannaatiksi -- rautagallusmusteen sinimustaksi yhdisteeksi -- joten tammi rikastaa aktiivisesti juuri sitä epäpuhtautta, jota tämä luokitus rankaisee. Tammi on kaunis ja magneettisesti vihamielinen puu. Pähkinä ja kirsikka menestyivät paremmin mutta jäivät keskimäärin silti luokkaan 4N tai sen alle.

Heinät ja komposiitit. Bambu, jota markkinoidaan usein kestävä "puuna", on runsaasti piidioksidia sisältävä heinä, jonka nivelten kemia vaihtelee; sen susceptibiliteettia hallitsivat raekokoiset mineraalisulkeumat, eikä sille voitu antaa vakaata luokkaa. Keskitiheä kuitulevy (MDF) epäonnistui kokonaan toisella ulottuvuudella: sen urea-formaldehydisideaine on voimakkaasti polaarinen, minkä vuoksi suhteellinen permittiivisyys on 4-6 ja häviötangentti kertaluokkaa suurempi kuin massiivipuulla, ja valmistus altistaa levyn upotetulle metallihienoaineelle. MDF hylätään tukimateriaalina dielektrisin perustein jo ennen kuin sen magneettista luokkaa edes tarkastellaan.



Tiikkitulok. Enintään 5 deg:n etäisyydellä geomagneettisesta päiväntasaajasta kasvatetun viljelmätiikin (Tectona grandis) Fe + Mn -pitoisuus oli 20 aihiossa 3-9 ppm, jokaisen näytteen nettosuskeptibiliteetti oli diamagneettinen ja toimitusluokka 5N. Kun yksittäiset aihiot valittiin VSM- ja ICP-MS-mittausten perusteella, 31 aihiota 340:stä täytti 6N-vaatimukset ja kaksi 7N-vaatimukset. Ekvatoriaalisen tiikin etu ei ole mystinen: puu kasvaa nopeasti hoidetuilla, huuhtoutuneilla ja vähärautaisilla viljelymailla, se kaadetaan nuorena ennen mineraalien kertymistä syvään sydänpuuhun eikä siinä esiinny tammea haittaavaa tanniiniä ja raudan kemialla. Sen dielektrinen vakio 2.1 kosteuspitoisuuden ollessa 12 prosenttia oli pienin kaikista tutkituista lajeista ja lähestyy RF-mittalaitteissa käytettyjen teknisten vaahtojen arvoa.

5. PINTAKÄSITTELYONGELMA

Puun luokka on puun, ei siitä valmistettavan esineen ominaisuus -- ja tavallisin tapa tuhota hyvä luokka on pintakäsittellä puu.

Lähes kaikkien öljy-, vernissa- ja lakkapintojen kovettamiseen käytetään metallikuivikkeita: nafteenihapon tai 2-etyyliheksaanihapon koboltti-, mangaani- ja zirkoniumsuoloja, joita lisätään prosentin murto-osina katalysoimaan kalvon kovettavaa oksidatiivista ristisilloittumista. Sekä koboltti että mangaani ovat paramagneettisia, ja jo 0.05 prosentin metallikuivikeannos kerrosta valmiin pinnan neliömetrille enemmän paramagneettista massaa kuin koko pinnan alla oleva 5N-aiho sisältää. Mittasimme 5N-tiikkikoekappaleen ennen yhtä tavanomaista keitettyä pellavaöljykäsittelyä ja sen jälkeen: pintaan suhteutettu susceptibiliteetti nousi diamagneettiselta perustasolta positiiviseksi ja koekappaleen luokitus putosi 5N:stä alle 4N:n. Puu ei muuttunut. Pintakäsittely palautti epäpuhtauden -- ja sijoitti sen täsmälleen pinnalle suoraan kosketukseen kaapelin kanssa, eli huonoimpaan mahdolliseen paikkaan.

Tämä on mitattu eikä esteettinen peruste sille, että Equatorial Elevation Block -tuot toimitetaan käsittelemättöminä. Pintakäsittely kumoaisi viimeisessä vaiheessa ja magneettisesti aktiivisimmassa kohdassa koko valintaprosessin, jolla aihio ansaitsi luokkansa. Käsittelemättömyyden tiikkiin ajan myötä kehittyvä hopeanharmaa patina on puun oman pinnan alkuaineellista hapettumista; se ei lisää paramagneettista metallia ja on kosmeettinen muutos, mutta magneettisesti ei muutos lainkaan.

6. SYIDEN ANISOTROPIA JA DIELEKTRINEN KUORMITUSREITTI

Puu on dielektrisesti anisotrooppista. Tiikkikoekappaleistamme mitattu suhteellinen permittiivisyys oli syiden suunnassa 22-28 prosenttia suurempi kuin niiden poikki kosteuspitoisuuden ollessa 12 prosenttia, ja häviötangentti noudatti samaa akselia. Fysikaalisena syynä ovat linjautunut putkimainen solurakenne ja kuitujen suuntaiset sitoutuneen veden dipolit. Tutkimateriaalissa tätä anisotropiaa ei pidä pitää keskiarvoistettavana häirtäna vaan suunnittelumuuttujana.

Kaapeli lepää jokaisen tuen yläpintaan jyrskyssä urassa, joten hallitseva kapasitiivinen kytkentä kaapelin ja tuen välillä kulkee suoraan uran alla olevan lyhyen pystysuuntaisen puupylvään läpi. Kun jokainen tuki jyrskittää päätypuu ylöspäin -- vuosirenkaat näkyvät yläpinnassa ja kuidut kulkevat pystysuoraan kuormitusreittiä pitkin -- pienemmän permittiivisyyden poikittainen akseli asettuu vaakatasoon, jossa kaapelin kenttä on voimakas, ja suuremman permittiivisyyden pitkittäinen akseli jää pystysuuntaiselle kantavalle akselille, jossa se ei aiheuta sähköistä häirtä mutta tarjoaa huomattavan mekaanisen hyödyn. Päätypuusuunta valittiin alun perin puristusjäykkyyden vuoksi; näistä mittauksista johdettu dielektrinen perustelu syntyi myöhemmin ja vahvistaa valinnan siitä riippumatta.

Kosteuspitoisuus hallitsee kokonaisuutta. Sekä permittiivisyys että häviötangentti kasvavat jyrkästi sitoutuneen veden mukana, minkä vuoksi jokainen luokiteltu aihio uunikuivataan alkuperämaassa kosteuteen 12 +/- 1 prosenttia ja huolto-ohjelmassa määrätään vuotuinen kosteustarkastus. Tuki, jonka kosteuspitoisuus on imeytymisen vuoksi noussut 12 prosentista 18 prosenttiin, on muuttanut dielektristä osuuttaan enemmän kuin mikään lajien välinen ero koskaan muuttaisi.

7. POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä ehdotettu N-luokka-asteikko nojaa tarkoituksellisesti käytäntöön, johon lukija jo luottaa. Audiofiili, joka maksaa kuparijohtimen kuudennesta yhdeksiköstä, on jo hyväksynyt lähtökohdan, jonka mukaan miljoonasosina mitattavaa paramagneettista ja sirontaa aiheuttavaa jäännöskontaminaatiota kannattaa hallita. Emme ole tehneet muuta kuin soveltaneet tätä lähtökohtaa ja saman luokan mittausta materiaaliin, jonka päällä johdin lepää -- ja havainneet, ettei alan tapa luokitella metalli kuuteen yhdeksikköön ja laskea se luokittelemattomalle, rautaa sisältävälle ja tanniiniin aktiiviselle lehtipuulle kestä ääneen lausumista.

Ekvatoriaalinen viljelmätiikki saavuttaa toimitustilassa 5N-neutraaliuden ja valikoituna 6N-neutraaliuden täysin arkisista syistä: vähärautaiset kasvuolosuhteet, nuori korjuuikä, tanniini-rautakemian puuttuminen, pieni hartsipitoisuus ja kaikkien puhtaiden puiden yhteinen diamagneettinen perustaso. Se ei ole maaginen materiaali. Se on puhdas materiaali, joka mitataan, luokitellaan ja jätetään käsittelemättä, jotta se säilyy sellaisena. Jokaisen Equatorial Elevation Block -tuen mukana toimitetaan todistus, johon on merkitty aihion luokka, Fe + Mn -luku ja mitattu susceptibiliteetti. Kehotamme lukijaa pyytämään miltä tahansa muulta audiotutkien valmistajalta vastaavat luvut ja panemaan vastauksen merkille.



VIITTEET

- [1] James, W. L. (1975). Puun ja kovalevyn dielektriset ominaisuudet: vaihtelu lämpötilan, taajuuden, kosteuspitoisuuden ja syysuunnan mukaan. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Puun ja puupohjaisten materiaalien dielektriset ominaisuudet. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Puun ja veden suhteet. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Puun dendrokemialliseen käyttöön vaikuttavat anatomiset, kemialliset ja ekologiset tekijät. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Rakennuspuun magneettisen neutraaliuden luokitus: mittalaitteet ja luokkarajat. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Anisotrooppisten vähähäviöisten kiinteiden aineiden permittiivisyyden mittaaminen suojarenkaallisella rinnakkaislevykennolla. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.