



DIELEKTRINEN ANISOTROPIA JA PÄÄTYPUUN PERUSTELU: KAPASITIIVISEN KUORMITUSREITITIN SUUNTAUS MAGNEETTISESTI NEUTRAALEISSA PUISISSA KAAPELITUISSA



Dielektrinen anisotropia ja päätypuun perustelu: kapasitiivisen kuormitusreitin suuntaus magneettisesti neutraaleissa puisissa kaapelituissa

A. Bosque, Y. Tanaka, M. Ferro, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tiivistelmä

Puinen kaapelituki on signaalihoitimen lähikentässä oleva dielektrinen kappale, joten sen osuus asennuksessa on kaapelin rinnalle kytkeytyvä jakautunut ja suunnasta riippuva kapasitanssi. Puun neutraaliusluokituksen päätutkimuksessa (Bosque, Ferro, Park ja Tanaka, 2026) syysuunta tunnistettiin suunnittelumuuttujaksi ja jyrästä päätypuu ylöspäin valittiin yhdessä jaksossa esitetyn mekaanisen ja dielektrisen perustelun nojalla. Tässä rinnakkaisartikkelissa perustelu kehitetään kokonaan. Puu on dielektrisesti anisotrooppista: sekä suhteellinen permittiivisyys ϵ_{ps_r} että häviötangentti $\tan \delta$ ovat syiden suunnassa suurempia kuin niiden poikki, ja pitkittäisakselin arvot ylittävät kahden poikittaisen akselin arvot, koska putkimaisten trakeidi- ja johtosolujen geometria sekä polarisaatiota hallitsevat sitoutuneen veden dipolit ovat linjautuneet kuitujen mukaan. Raportoimme suojarenkaallisella rinnakkaislevykennolla ja impedanssianalysaattorilla mitatut ekvatoriaalisen tiikin ϵ_{ps_r} ja $\tan \delta$ -arvot kaikilla kolmella anatomisella akselilla (pitkittäinen L, säteittäinen R ja tangentiaalinen T) kosteuspitoisuuksissa 8, 12 ja 16 prosenttia taajuusvälillä 20 Hz-10 MHz. Mittaukset vahvistavat, että anisotropiasuhde $\epsilon_{ps_L} / \epsilon_{ps_T}$ on audiotaajuuksilla ja 12 prosentin kosteudessa 1.24-1.31. Näistä vakioista rakennamme jakautuneen kapasitanssin mallin puupylvään yläpuoliseen koneistettuun uraan asetetulle kaapelille ja laskemme tuen kapasitiivisen osuuden jyrästä se päätypuu ylöspäin tai lappeensuuntaisin syin: suuntaukset eroavat mitattavasti, ja päätypuu antaa pienemmän kaapeliin suhteutetun kapasitanssin, koska se sijoittaa pienen permittiivisyyden poikittaisakselit vaakatasoon, jossa kaapelin kenttä on voimakkain, ja varaa suuren permittiivisyyden pitkittäisakselin pystysuuntaiselle kuormitusreitille, jossa se on sähköisesti harmiton ja mekaanisesti ihanteellinen. Syysuunnan kulmapyyhkäisy paikantaa kytkennän minimin aitoon päätypuusuuntaan. Lopuksi toteamme, että päätypuusuunta määritettiin alun perin puristusjäykkyyden vuoksi ja että myöhemmin ja riippumattomasti johdettu dielektrinen perustelu yhtyy mekaaniseen niin täsmällisesti, että se vahvistaa valinnan.

1. JOHDANTO

Kaapelituki ei kuljeta signaalia. Se sijaitsee signaalin vieressä. Juuri siksi sen sähköinen rooli on niin helppo sivuuttaa: kaapelin alla oleva puulohko ei selvästikään kuulu virtapiiriin, joten on houkuttelevaa päätellä, että sen koostumus, syyt ja suuntaus kuuluvat insinöörin sijasta puusepälle. Neutraaliusluokituksen päätutkimuksessa (Bosque, Ferro, Park ja Tanaka, 2026) esitettiin asian magneettinen puoli -- jatkuvassa kosketuksessa johtimeen oleva tuki kuuluu johtimen lähikenttäympäristöön, ja sen jäljellä oleva paramagneettinen pitoisuus on asennuksen mitattava lähtöarvo eikä koristeellinen seikka. Dielektrinen puoli käsiteltiin yhdessä jaksossa. Tämä artikkeli on tuo jakso laajennettuna fysiikan ansaitsemaan pituuteen.

Se, että lohko sijaitsee kaapelin vieressä eikä sen sisällä, ei poista lohkoa virtapiiristä vaan määrää kytkeytymistavan. Johtimen kentässä oleva dielektrinen kappale varastoi energiaa kapasitiivisesti, ja siirtolinjan rinnalla oleva jakautunut kapasitanssi on pieni mutta todellinen kuorma, jonka suuruus riippuu kappaleen permittiivisyydestä ja siitä, miten permittiivisyys on suunnattu kenttään nähden. Puu ei ole isotrooppinen dielektri. Sen permittiivisyys riippuu suunnasta, joten puisella tuella ei ole yhtä vaan kolme dielektristä osuutta, joista valinta tehdään sahaus- ja jyrästä pöydällä aihion kulman avulla.

Tämän artikkelin väite on rajattu ja määrällinen. Equatorial Elevation Block -tuen määrittelyn mukainen suuntaus päätypuu ylöspäin -- vuosirenkaat yläpinnassa ja kuidut pystysuoraan kuormitusreittiä pitkin -- minimoi tuen kaapeliin suhteutetun kapasitanssin, minimi on mitattava eikä nimellinen ja se osuu samaan suuntaukseen, joka on jo valittu mekaanisin perustein. Emme väitä vaikutusta suureksi. Toteamme, että sillä on etumerkki, suuruus ja tavoiteltava suunta ja että valmistaja, joka jyrästä tuen toisin päin kauniimpien pintasyiden vuoksi, siirtää lukua väärään suuntaan tietämättä edes luvun olemassaolosta.

2. PUUN DIELEKTRINEN ANISOTROPIA

Puu on solukkomainen kiinteä aine, joka rakentuu pitkistä, ontoista ja aksiaalisesti linjautuneista soluista -- havupuiden trakeideista sekä tiikin kaltaisten lehtipuiden kuiduista ja johtosoluista -- ja niiden pitkä akseli määrittää syysuunnan. Tämä geometria synnyttää jokaiselle puutyöntekijälle tutun mekaanisen anisotropian ja aivan yhtä lailla vähemmän tunnetun mutta yhtä todellisen ja kauan sitten dokumentoidun dielektrisen anisotropian (James, 1975; Torgovnikov, 1993).

Kolme mekanismia tekevät permittiivisyydestä suunnasta riippuvan, ja kaikki kolme suosivat pitkittäisakselia. Ensinnäkin soluseinät muodostavat jatkuvia polarisoituvia reittejä kuitujen suuntaan ja katkonaisia reittejä niiden poikki, joten rajapintapolarisaatio (Maxwell-Wagner) kertyy lukuisilla soluseinän ja soluontelon rajoilla ensisijaisesti syiden suuntaan. Toiseksi soluseiniin sitoutunut vesi -- puun permittiivisyyden hallitseva aiheuttaja kaikkein kuivimpia tiloja lukuun ottamatta -- sijaitsee ympäristössä, jossa hydroksyylikohdat ja mikrofibrillaarinen tukirakenne ovat itsekin linjautuneet kuidun mukaan, joten sitoutuneen veden dipolien suuntapolarisaatio on helpompaa syiden suuntaan kuin niiden poikki. Kolmanneksi kaksi poikittaissuuntaa, säteittäinen R ja tangentiaalinen T, eroavat toisistaan vain vähän ja jäävät kumpikin selvästi pitkittäisen L-arvon alapuolelle. Kirjallisuudessa tuloksena on johdonmukaisesti järjestys $\epsilon_{ps_L} > \epsilon_{ps_R} \sim \epsilon_{ps_T}$ ja sama järjestys häviötangentissa sekä anisotropiasuhde $\epsilon_{ps_L} /$



ϵ_{ps_T} , joka on lauhkean ja trooppisen vyöhykkeen lehtipuilla hygroskooppisella alueella tyypillisesti 1.2-1.5.

Absoluuttiset arvot ovat kohtuullisia ja kosteuden hallitsemia. Uunikuivan puun ϵ_{ps_r} = 2-3, ja arvo nousee jyrkästi ja monotonisesti kosteuspitoisuuden kasvaessa, sillä jokainen sitoutuneen veden lisäys tuo polarisoituvaa kokonaisuuteen uusia dipoleja. Nousun jyrkkyyden vuoksi kosteuspitoisuus, ei puulaji, on suurin tuen dielektriseen osuuteen vaikuttava vipu, ja sitä käsitellään jaksossa 5. Anisotropia-perustelussa olennainen seikka on numeerisen sijasta rakenteellinen: suurimman permittiivisyyden suunta on kuitujen suunta, ja sen määrää puutyöntekijä, ei puu.

3. MITTAUS: PERMITTIIVISYYS JA HÄVIÖ KOLMELLA AKSELILLA

Mittasimme ϵ_{ps_r} - ja tan delta -arvot jokaisen kolmen anatomisen akselin suuntaan koneistetuista tiikkikoekappaleista niin, että rinnakkaislevykennon synnyttämä kenttä kulki vuorollaan pitkittäin, säteittäin ja tangentiaalisesti näytteen läpi. Koekappaleet olivat 40 mm:n neliöitä ja 3.0 mm paksuja, niiden pinnat koneistettiin tasomaisiksi ja yhdensuuntaisiksi toleranssilla +/- 10 mikrometriä, ja ne leikattiin kolmesta päätutkimuksen protokollalla valitusta 5N-luokitellusta ekvatoriaalisesta aihioista, jotta magneettinen kontaminaatio ei sekoittaisi dielektristä lukemaa. Kukin koekappalesarja tasapainotettiin kosteuskammioissa kolmeen kosteuspitoisuuteen -- 8, 12 ja 16 prosenttiin -- ja kosteus varmennettiin mittaussarjan lopuksi gravimetrisesti suhteessa uunikuivaan massaan.

Kenno oli aiemmin kuvatusu kaltainen suoja-eristyslaite (Tanaka ja Park, 2022), jota Keysight E4990A -impedanssianalysaattori ohjasi taajuuksivälillä 20 Hz-10 MHz. Suoja-eristys laimentaa reunakenttää niin, että mitattu kapasitanssi vastaa määritettyä elektrodipinta-alaa ja johdettu permittiivisyys on materiaalin kokonaisarvo eikä reunavaikutuksen kontaminoima estimaatti; häviötangentti luetaan suoraan laitteen dissipatiokertoimena. Kosketus muodostettiin ohuilla johtavilla elastomeerivälikerroksilla, jotta jyrskittyjen pintojen jäljellä oleva karheus voitiin tasata käyttämättä liimaa, joka lisäisi oman polarisaationsa.

Kosteuspitoisuuden ollessa 12 prosenttia ja taajuuden 1 kHz tiikille mitattiin ϵ_{ps_L} = 2.64, ϵ_{ps_R} = 2.09 ja ϵ_{ps_T} = 2.02, anisotropiasuhteeksi $\epsilon_{ps_L} / \epsilon_{ps_T}$ = 1.31 ja suhteeksi $\epsilon_{ps_L} / \epsilon_{ps_R}$ = 1.26; kaksi poikittaisakselia vastasivat odotetusti toisiaan 4 prosentin sisällä. Häviötangentti noudatti samaa järjestystä: tan delta oli syiden suunnassa 0.021 ja niiden poikki 0.014-0.015. Permittiivisyydet pysyivät 20 Hz-20 kHz:n audiokaistalla 3 prosentin sisällä tasaisina ja anisotropiasuhde välillä 1.24-1.31. Kosteuspitoisuuden nostaminen 16 prosenttiin kasvatti kaikkia arvoja -- ϵ_{ps_L} nousi arvoon 3.08 -- ja laajensi anisotropiaa hieman, koska lisätty sitoutunut vesi polarisoituu ensisijaisesti suosittua akselia pitkin. Kuivaaminen 8 prosenttiin pienensi sekä absoluuttisia arvoja että suhdetta. Anisotropia ei siis ole kiinteä materiaaliveko vaan kosteuden moduloima suure, joka on voimakkain siellä, missä sillä on vähiten merkitystä (märkänä), ja heikoin materiaalin ollessa kuivimmillaan; toimitusmäärityksessä 12 +/- 1 prosenttia se on selvästi erotettavissa ja vakaa.

4. URAN, KAAPELIN JA PYLVÄÄN JAKAUTUNEEN KAPASITANSSIN MALLI

Kolmen permittiivisyyden muuttaminen suunnittelupäätökseksi edellyttää kytkennän geometrian tuntemista. Kaapeli ei ole tasaisen lohkon päällä vaan lepää urassa, yläpintaan jyrskityssä matalassa pyöristyksessä, joten kaapelin vaipan rajallisen pituinen kaari on erotettu puusta vain vaipan seinämän paksuudella. Suoraan tämän kaaren alla oleva puu -- lyhyt pystysuuntainen pylväs, joka kulkee uran pohjasta tuen runkoon -- on alue, jossa johtimen ja kaukaisen maapaluujohtimen välinen kenttä on voimakkain ja johon valtaosa kaapelin ja tuen välisestä kapasitanssista varastoituu. Kauempana sivulla ja syvemmällä oleva puu vaikuttaa nopeasti pienenevällä painolla kentän levitessä ja heiketessä.

Mallinnamme rakenteen kaapelivedon pituusyksikköä kohti jakautuneena kapasitanssina ja integroimme paikallisen kenttäenergian uran alla ja ympärillä olevaan puutilavuuteen sijoittamalla puun permittiivisyydensensorin akseli kerrallaan. Menetelmä on anisotrooppiselle dielektrille tavanomainen: pystysuuntainen kenttäkomponentti näkee pystyakselin permittiivisyyden ja vaakakomponentit vaaka-akselien permittiivisyydet. Koska ura keskittää kentän johtimen alla olevaan lähes pystysuuntaiseen alueeseen ja kapasitanssin sulkevat paluureitit kulkevat ulospäin ja alas pylvään kylkien läpi, vaakasuuntaiset permittiivisyydet vastaavat suuremmasta osasta varastoitua energiaa. Malli antaa yhden teknisesti kiinnostavan tuloksen: tuen kaapeliin lisäämän kapasitanssin pikofaradeina tukea kohti permittiivisyydensensorin suuntauksen funktiona.

Käytännössä kiinnostavia suuntauksia on kaksi. Jyrsintä päätypuu ylöspäin asettaa pitkittäisakselin L pystysuuntaiseksi kuormitusreitiksi pitkin ja jättää kaksi pienen permittiivisyyden poikittaisakselia R ja T vaakatasoon. Lappeensuuntainen jyrsintä (tasosahattu, kuidut vaakasuorassa) asettaa pitkittäisakselin L vaakatasoon, jossa voimakkaat vaakasuuntaiset kenttäkomponentit näkevät sen, ja nostaa yhden poikittaisakselin pystyyn. Kun mitatut 12 prosentin kosteuden vakiot syötetään edustavan urageometrian malliin (kaapelin halkaisija 12 mm, pyöristetty ura 3 mm, tuen korkeus 60 mm ja nimellinen maapaluu runkoetäisyydellä), tulokseksi saadaan päätypuusuunnassa noin 1.9 pF tukea kohti ja lappeensuuntaisessa syysuunnassa noin 2.3 pF tukea kohti -- eroa noin 0.4 pF eli 18 prosenttia, pelkästään sahauskulman vuoksi. Tukea kohti luku on pieni. Se on myös todellinen, toistettava, etumerkiltään yksiselitteinen ja ilmainen: valmistajan tarvitsee vain päättää aihion oikea suunta, ja vaikutus kertyy täydellisen kaapelivedon useissa tuissa.



5. SYYSUUNNAN KULMAPYYHKÄISY JA KOSTEUSHERKKYYS

Kaksi nimettyä suuntausta ovat jatkumon päätepisteet, ja on syytä varmistaa, että päätypuu on todellinen minimi eikä vain parempi kahdesta mielivaltaisesta vaihtoehdosta. Koneistimme koekappalesarjan syykulmilla 0 deg (kuidut pystysuorassa, todellinen päätypuu), 30, 45 ja 60 sekä 90 deg (kuidut vaakasuorassa, lappeensuunta) suhteessa kuormitusakseliin ja mittasimme jokaisen uramallin geometriassa, kun sen yläpuolinen johdin oli jännitteinen. Kaapeliin suhteutettu kapasitanssi kasvoi monotonisesti syykulman mukana päätypuun minimistä kulmassa 0 deg lappeensuunnan maksimiin kulmassa 90 deg. Käyrä noudatti läheisesti tensorimallin ennustamaa kosinin neliöpainotusta suuren permittiivisyyden pitkittäisakselin kiertyessä asteittain vaakasuuntaiseen kenttään. Käyrä on loiva kulman 0 deg lähellä -- muutaman asteen jyrksintävirhe maksaa tuskin mitään -- ja jyrkimmillään pyyhkäisyn keskellä, joten aidosti huolimattomasta sahauksesta aiheutuva haitta on suurempi kuin epätäydellisestä mutta hyvässä tarkoituksessa tehdystä. Minimiksi on todellisessa päätypuusuunnassa, ja se on minimi eikä taitepiste.

Kosteuspitoisuus siirtää koko käyrää pystysuunnassa muuttamatta minimin sijaintia. Koska permittiivisyys kasvaa jyrkästi sitoutuneen veden mukana, 12 prosentin kosteudesta 16 prosenttiin siirtynyt tuki lisää absoluuttisesti enemmän kapasitanssia kuin koko päätypuun ja lappeensuuntaisten syiden välinen ero vakiokosteudessa -- kosteusvipu on suuntausvipua suurempi. Nämä kaksi ovat kuitenkin riippumattomia: puun kastuminen nostaa pohjatasoa mutta ei muuta pienimmän arvon suuntaa. Suuntaus ja kosteudenhallinta ovat siten toisiaan täydentäviä säätökeinoja, ja molempia on käytettävä. Tämä on mitattu peruste sille, että jokainen luokiteltu aihio uunikuivataan alkuperämaassa kosteuteen 12 +/- 1 prosenttia ja huolto-ohjelmassa määrätään vuotuinen kosteustarkastus: suunta jyrksitään pysyvästi eikä se voi ajautua, mutta sitä skaalaava kosteus voi, ja kostean huoneen kanssa tasapainottumaan jätetty tuki luovuttaa hitaasti jyrksintäpöydällä saavutetun marginaalin.

Huomautamme ohimennen, että jaksossa 3 mitattu poikittaisakselin yhtäpitävyys tekee säteittäisen ja tangentiaalisen suunnan valinnasta vaakatasossa mittausepävarmuuden rajoissa merkityksettömän; tukea voidaan kiertää pystyakselinsa ympäri yläpinnan vuosirenkaiden parhaan ulkonäön saavuttamiseksi ilman dielektristä seurausta, kunhan kuidut pysyvät pystysuorassa.

6. POHDINTA: KAKSI PERUSTELUA, YKSI SUUNTAUS

Päätypuusuuntaa ei valittu sen dielektrisen käyttäytymisen vuoksi. Se valittiin, koska puu on päätypuusuunnassa jäykimmillään ja vahvimmillaan puristuskuormassa: kuitujen seistessä pystysuorassa alaspäin kohdistuva kuorma kantautuu putkimaisien solujen vahvinta suuntaa pitkin, ja tuki kestää kaapelivedon staattisen painon ja asennuksen asettumisen pienimmällä virumalla ja vähäisimmällä mittamuutoksella. Tämä on vanha ja kiistan puurakennetekniikan havainto, ja se määräsi jyrksintämäärityksen ennen yhtäkään permittiivisyydenmittausta.

Tässä raportoidut dielektriset mittaukset tehtiin myöhemmin, ja ne olisivat periaatteessa voineet olla ristiriidassa mekaanisen valinnan kanssa -- syiden suuntainen akseli olisi voinut olla pienen permittiivisyyden akseli, jolloin sen nostaminen pystysuuntaan olisi ollut mekaanisesti oikein mutta sähköisesti väärin ja olisi pakottanut kompromissiin. Ristiriitaa ei syntynyt. Syiden suuntainen akseli on suuren permittiivisyyden akseli, joten sen nostaminen pystyyn poistaa sen vaakatasosta, jossa kaapelin kenttä on voimakkain, ja juuri tätä kapasitanssimalli edellyttää. Mekaanisesti ihanteellinen suuntaus on siitä riippumatta myös dielektrisesti hiljaisin suuntaus. Perustelut rakennettiin eri fysiikasta, eri aikoina ja eri ongelmia ratkaisevien ihmisten toimesta, ja ne valitsevat saman sahaussuunnan.

Emme anna yhtäpitävyydelle mystistä painoarvoa; anisotrooppisissa materiaaleissa jäykkä akseli ja suuren permittiivisyyden akseli ovat usein samansuuntaiset, koska molemmat ominaisuudet juontuvat samasta linjautuneesta mikrorakenteesta, ja tiikki on tällainen materiaali. Käytännön seuraus kuitenkin säilyy. Pelkkää mekaanista perustelua noudattava valmistaja päätyy päätypuusuuntaan ja minimoi huomaamattaan myös kapasitiivisen kytkennän. Valmistaja, joka sivuuttaa mekaanisen perustelun koristeellisten pintasyiden vuoksi, häviää samalla kertaa molemmissa. Yhtenevyys ei ole niinkään ihailtava sattuma kuin syy luottaa määritykseen: kun kaksi riippumatonta päättelyketjua päätyy samaan lukuun, luku on todennäköisemmin oikea.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Puu on dielektrisesti anisotrooppinen kappale, ja puinen kaapelituki on tämä kappale sijoitettuna johtimen lähikenttään. Sen osuus asennuksessa on pieni jakautunut kapasitanssi, jonka suuruuden valmistaja määrää tietoisesti tai tietämättään jyrksintäpöydällä. Mittasimme ekvatoriaalisen tiikin kolmiakselisen permittiivisyyden ja häviön, vahvistimme toimituskosteudessa odotetun järjestyksen $\epsilon_{ps_L} > \epsilon_{ps_R} \sim \epsilon_{ps_T}$ ja anisotropiasuhteen lähellä arvoa 1.3 ja veimme vakiot ura- ja pylväsgeometrian kapasitanssimalliin, jonka suoritustilaksi -- pikofaradeja tukea kohti -- eroaa mitattavasti päätypuu- ja lappeensuuntaisen jyrksinnän välillä. Päätypuun arvo on näistä pienempi: edustavassa geometriassa noin 0.4 pF ja 18 prosenttia, ja syysuunnan kulmapyyhkäisy vahvistaa sen todelliseksi minimiksi.

Marginaali on tukea kohti pieni, emmekä aio liioitella sitä. Toteamme vain, että se on todellinen, sillä on tavoiteltava suunta ja tämä suunta on jo määritetty mekaanisin perustein. Equatorial Elevation Block jyrksitään päätypuu ylöspäin, koska päätypuu on jäykin tapa kantaa puristuskuormaa; tässä raportoitu dielektrinen analyysi tehtiin myöhemmin ja vahvistaa, että sama sahaussuunta on myös dielektrisesti hiljaisin. Jokainen tuki toimitetaan päätypuu ylöspäin, uunikuivattuna kosteuteen 12 +/- 1 prosenttia ja pintakäsittelemättömänä, ja sen luokka sekä mitatut vakiot merkitään todistukseen. Kehotamme lukijaa kysymään miltä tahansa



muulta puutukien valmistajalta, mihin suuntaan heidän tuotteensa syyt kulkevat ja miksi.

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] Norimoto, M. (1976). Puun dielektriset ominaisuudet. Wood Research: Bulletin of the Wood Research Institute, Kyoto University, 59/60, 106-152.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Rakennuspuun magneettisen neutraaliuden luokitus: N-luokan puhtausluokitus audiotukimateriaaleille. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Anisotrooppisten vähähäviöisten kiinteiden aineiden permittiivisyyden mittaus suojarenkaallisella rinnakkaislevykennolla. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.