

# Sarangolt fa nedvességtartalmának mérési lehetősége elektromágneses hullámokkal

MAJOR Balázs<sup>1</sup>, DIVÓS Ferenc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Fizikai és Elektrotechnika Intézet

## Kivonat

A faanyag átvétele során visszatérő probléma, hogy a teherautókon szállított tűzifának illetve rostfának csak a tömegét tudják gyorsan és pontosan megmérni, a felhasználót viszont a szárazanyag-tartalom érdekli, az alapján kíván fizetni. Ez különösen igaz a fatüzelésű erőművekre, forgácslap-gyárakra. A mai nedvességtartalom mérési módszerek nem elég gyorsak, pontosak, megbízhatóak. Kutatásunk során egy rönttéren álló sarang vizsgálata történt, az erre a célra fejlesztett, 868 MHz-en működő eszközzel. Ezzel az eszközzel – reményeink szerint – a nedvességtartalom mérések gyorsabban, pontosabban, és már a teherautón is elvégezhetőek. Célunk volt megtudni, hogy az amplitúdó mérési módszer alkalmas-e sarangok nedvességtartalmának meghatározására. Az általunk vizsgált legszélesebb, 1 m-es sarangnál és egy 1,85 m-es rönknél is jó eredményeket kaptunk.

**Kulcsszavak:** nedvességmérés, sarang, faanyag-átvétel, roncsolásmentes faanyagvizsgálat, NDT

## Moisture content measurement of stacked wood with electro-magnetic waves

### Abstract

The determination of the quantity of firewood and industrial wood is often challenging when receiving shipments. The weight of the shipment can be measured quickly and accurately, but the oven dry weight determination requires the moisture content as well. This is especially critical for biomass power plants and fibreboard factories. Currently available moisture content determination methods are not fast, accurate and reliable enough.

We have investigated stacked wood in a log yard using an ultra-high frequency instrument, operating at 868 MHz. The employed method offers a way to determine the moisture content quickly and accurately while the wood is still on the truck. Our main goal was to find out, whether the measurement method is suitable for the non-destructive moisture measurement of stacked wood. We got good results when measuring 1 m wide stacks of wood as well as for a 1.85 m long log.

**Keywords:** moisture measurement, stacked wood, receiving logs, non-destructive testing of wood, NDT

## Bevezetés

A faanyag átvétele során visszatérő probléma, hogy a teherautókon szállított tűzifának illetve rostfának csak a tömegét tudják gyorsan és pontosan megmérni, a felhasználót viszont a szárazanyag-tartalom érdekli, az alapján kíván fizetni. A jelenleg elfogadott gyakorlat szerint a beszállított mennyiségből fűrással vagy fűrészeléssel (kézi láncfűrész) mintát vesznek, a törzs csúcs felőli végétől kb. 50 cm távolságban. Ez történhet még a teherautón lévő alapanyagból, vagy a már lerakodott anyagból. Ennek a mintának a nedvességtartalmát laboratóriumban mérik meg (Hargitai 2008). Ezeket a méréseket szigorú leírást követve kell elvégezni, több helyről mintát véve, a mintavétel saját döntése alapján. A mintavételezés esetlegessége, a rakat nedvességtartalmának inhomogén eloszlása a leggondosabb labormérés mellett is óhatatlanul mérési hibát, bizonytalanságot okoz. Egy teherautó rakomány faanyag esetén már 1% nedvességtartalom-eltérés is nagy anyagi veszteséget okozhat – mintegy 20 000 Ft, a tévedés irányától függően vagy az eladónak vagy a vevőnek, a TAEG ZRt. 2016. 09. 12-i adatai alapján, 6 tonnás teherautóval számolva – a fizetendő szárazanyag-tartalom számításakor.

Emellett a jelenleg használatos nedvességmérési módszerek idő- és élőmunka-igényesek és az általunk felvázolt roncsolásmentes mérési elvhez képest kevésbé automatizáltak. Továbbá a jelenleg használatban lévő nedvességtartalom mérések a beszállítás során nagyobb kieső időt eredményeznek, így negatív hatással vannak a fatüzelésű erőművek és forgácsológépek termelésének menetére. Az általunk fejlesztett mikrohullámú, 868 MHz-en működő eszközzel ezek a mérések feltételezésünk szerint gyorsabban, pontosabban – és már a teherautón is elvégezhetőek.

Elektromágneses hullámokkal sugároztuk át a sarangot és a hullámok elnyelését vizsgáltuk a másik oldalra megérkező jel nagyságának mérésével. Célunk volt megtudni, hogy a mérési módszer alkalmas-e sarang nedvességtartalmának meghatározására bükk, tölgy és erdeifenyő faanyag, továbbá egy nagy átmérőjű mamutfenyő rönk esetén. A bükk, tölgy és erdeifenyő faanyagot azért választottunk, mert gyakran alkalmazzák őket tüzelőanyagként vagy rost előállítására, a mamutfenyő pedig a nagy átmérő miatt megfelelő a teljes tömör felületen történő, reflexiómentes méréshez. A mérések alapján javaslatot kívánunk tenni egy iparban alkalmazható mérési módszer kifejlesztésére.

A hagyományos nedvességtartalom mérési módszerek sarang esetén többféleképpen lehetnek. Az ipari gyakorlatban bevett módszerek közé tartozik a teherautó beérkezése után a mérlegeléssel egybekötött nedvességtartalom mérés. Emellett a mintákat az intézménytől és az előírásoktól függően, hosszabb-rövidebb ideig tárolni kell. A vételezett minták abszolút száraz tömegre történő szárítása precíz munkavégzés esetén hosszadalmas lehet. Bár ma már léteznek magas hőmérsékletű gyors szárítók, a mintavétel ideje így is hosszú marad. Továbbá a mintavételezés pontszerű, nem lehet minden egyes rönkből, sarangból mintát venni, a több helyről vett mintákat keverik – azonos fajfaj esetén – így képzik a raktéren lévő anyag átlag nedvességét a számítások során. Az általunk felvázolt mérési rendszer lényegesen lecsökkentheti a nedvességtartalom-meghatározás idejét, továbbá az antenna méretétől függően nagy felület, nagy anyagmennyiség vizsgálható vele.

Hasonló elektromágneses hullámokkal történő mérésekre, valamint az ilyen hullámoknak a faanyagra gyakorolt hatására vonatkozó leírást találhatunk Torgovnikov (1993), Sakkar (1988) és Bucur (2003) műveiben. A legelterjedtebb ezen a téren a mikrohullámmal történő nedvességmérés. Míg Torgovnikov és Sakkar kutatásaik során kisméretű mintákat használnak, mi nagy mintákon (sarangokon) végeztünk méréseket, továbbá 868 MHz-et használunk, aminek az előnye, hogy nagyobb áthatoló képességgel bír.

### A mérések elméleti háttere

Az elektromágneses sík hullámok vákuumban csillapítás nélkül fénysebességgel terjednek, míg adott anyagban az anyaghoz tartozó dielektromos állandók határozzák meg a terjedésüket. A befolyásoló tényezők lehetnek: a fajfaj, mely csak a sűrűség szempontjából befolyásol, a sarangban elhelyezkedő faanyag száliránya (rostirányú vagy rostra merőleges hullám terjedés), a hőmérséklet és a nedvességtartalom. A dielektromos állandók érzékenyek még a hőmérsékletre és az alkalmazott frekvenciára is. Az amplitúdó méréseket befolyásolja még az alkalmazott geometria is (Tolvaj 1994).

Az áthaladó elektromágneses hullám kölcsönhatásba lép a vizsgált faanyaggal. A jel gyengülését az anyag dielektromos tulajdonságai, a dielektromos állandó ( $\epsilon'$ ) és a veszteségi tangens ( $\tan \delta$ ) határozzák meg az [1] képlet szerint. A dielektromos állandók változása nagyon érzékeny a nedvességtartalomra (1. táblázat), ez teremti lehetőséget a nedvességtartalom meghatározására. A csillapítási állandót (Torgovnikov 1993) a következő formula adja meg:

$$\alpha = \left( \frac{2\pi}{\lambda_0} \right) \cdot \left[ \left( \frac{\epsilon'}{2} \right) \cdot \left( \sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad [1]$$

ahol:

- $\lambda_0$  – hullámhossz levegőben, m-ben (esetünkben 0,3456 m),
- $\epsilon'$  – a vákuumhoz viszonyított relatív dielektromos állandó,
- $\tan \delta$  – a veszteségi tangens (Tolvaj 1994).

Az adott d vastagságú anyag átsugárzása után mérhető energia:

$$W' = W'_0 \exp(-2\alpha d) \quad [2]$$

ahol:

- $W'_0$  – az anyag felületére bocsájtott energia,
- $d$  – a rétegvastagság m-ben.

A csillapítást dB-ben a következő formula adja meg:

$$A = 10 \lg \left( \frac{W'}{W'_0} \right) \quad [3]$$

### Alkalmazott módszer és anyagok

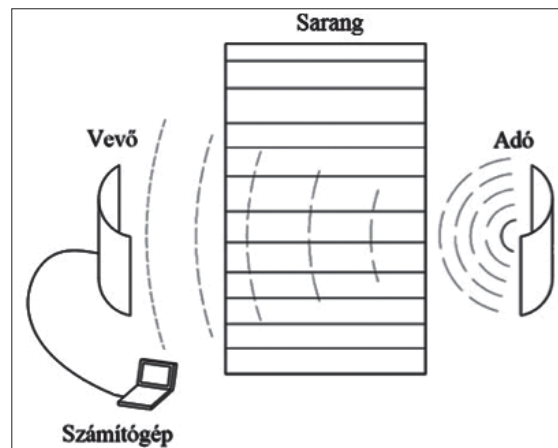
A mérésekhez egy Ther István villamosmérnök által kifejlesztett 868 MHz-en működő adó-vevő párt alkalmaztunk. Ez a frekvenciasáv a lakosság körében szabadon használható a 2/2014 (I.7.) NMHH rendelet értelmében. Az eszköz egy jeladó, valamint egy vevő antennából áll, utóbbi a vett jel amplitúdóját jelzi. A logaritmikus erősítőnek köszönhetően nagy dinamikával rendelkezik a berendezés, és 91 dB átfogására képes. Dipól antennákkal és parabola tükrökkel működik a műszer; ezek a tükrök a nem kívánt reflexiókat küszöbölik ki, és egy irányba irányítják a hullámokat (1. ábra). A parabola tükrök alkalmazásával jelentősen lecsökkenthető a környezetben levő tereptárgyakról történő reflexió következtében kialakuló zavaró jelek aránya. Az általunk elkészített antennák hasznos felülete 0,34 m x 0,32 m, azaz 0,1088 m<sup>2</sup>.

Kísérletünkben egy rakat vizsgálatára került sor, melyet rostiránnyal párhuzamosan sugároztunk át. A jelszint az anyagban a rétegvastagság növekedésével exponenciálisan csökken. A csökkenés mértékét a dielektromos tulajdonságok is befolyásolják.

A berendezés adója teleppel működik, a vevő a mért adatokat USB porton keresztül a számítógépre továbbítja, ahol a külön erre a célra kifejlesztett program az idő függvényében megjeleníti a vett jel nagyságát. Ez a jel érzékeny az adó és a vevő egymáshoz viszonyított helyzetére, továbbá az antennák pozicionálására. Mivel az antennákat kézzel pozicionáltuk, ez bizonytalanságot vihetett a rendszerbe.

A tesztek során átsugároztunk közönséges erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), bükk (*Fagus sylvatica*) és tölgy (*Quercus*) összetételű sarangot (2. ábra), valamint egy nagy átmérőjű óriás mamutfenyő rönköt (*Sequoiadendron giganteum*) a nedvességtartalom vizsgálatához.

Egy átlagosan 1 m széles sarangon történt több vizsgálat. Mivel a rendszer időben folyamatosan regisztrál, egy egybefüggő folyamatos mérést végeztünk a különböző fafajú sarang szakaszok tetejétől az aljáig. Az óriás mamutfenyő rönk hossza 185 cm volt,



1. ábra A 868 MHz-en működő műszer felépítése

Figure 1 The installed equipment working on 868 MHz



2. ábra A kísérleti sarang felépítése

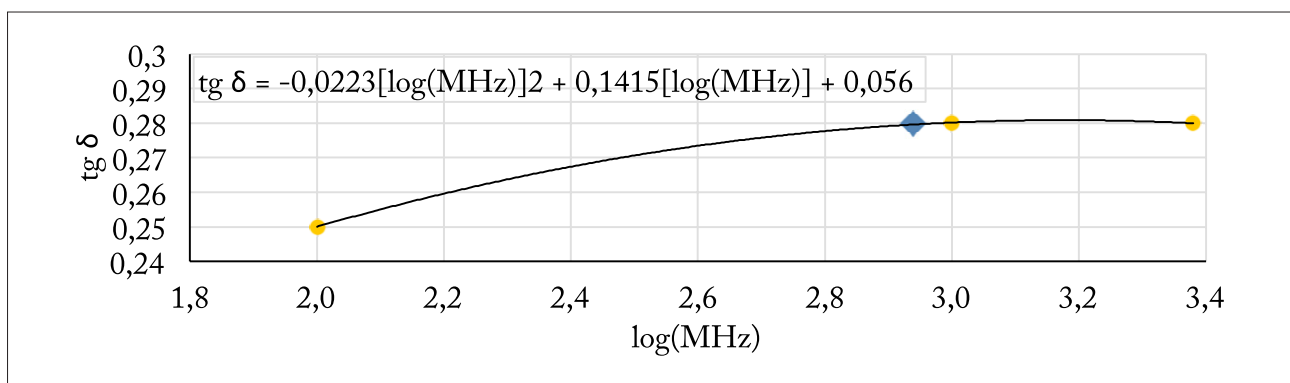
Figure 2 The built up of the experimental stock (Scots pine, European beech, Oak)



az antennát teljes egészében a bütü felületére lehetett nyomni, így ebben az esetben még véletlenül sem léphetett fel nem kívánt reflexiók hiba. A rakatok nedvességtartalmának tömegméréses meghatározásához 18 mm széles ács fűrészfűrő segítségével fűrészes mintavételt végeztünk. Fafajonként 5-5 helyről forgácsot vettünk, melyet összekevertünk egy légmentesen zárható, üveg tárolóedényben, majd forgács nedvességtartalom meghatározására használatos KERN MLS 50-3-as típusú eszközzel meghatároztuk az átlagos nedvességtartalmat.

A kalibrációs görbét irodalmi adatok felhasználásával származtattuk. Mivel 868 MHz-en nem voltak elérhető adatok, ezért a 100, 1000 és 2400 MHz-es frekvenciákon megadott dielektromos állandók felhasználásával, másodfokú interpoláció segítségével számoltuk ki a 868 MHz-hez tartozó dielektromos állandókat. Torgovnikov (1993) adatait használtuk (3. ábra).

A 20 °C-os hőmérsékletre tartozó adatokat használtuk a számítások során, ami jól közelítette a vizsgált mintáinkat. A sűrűségek tekintetében, a Pilodyn-mérés megfelelő értéket szolgáltatott, a bükknél (673 kg/m<sup>3</sup>), az erdeifenyőnél (498,4 kg/m<sup>3</sup>). A mamutfenyő sűrűségét a korábban ugyanazokon a mintákon végzett irodalmi adatokból vettük 700 kg/m<sup>3</sup>-nek (Papp 2012). Elvégeztük az értékelést erdeifenyőnél 500 kg/m<sup>3</sup>-es sűrűségadatokkal is, de az így kapott adatok jelentősen magasabbak voltak a forgács nedvességtartalmi mérésekhez képest. Meglepő módon lényegesen jobb egyezés született, egységesen 700 kg/m<sup>3</sup> sűrűség használatával.



**3. ábra** 868 MHz-hez tartozó tg δ meghatározása interpolációval, a 60% nedvességtartalomhoz, Torgovnikov (1993) alapján

**Figure 3** The determination of tan δ at 868 MHz by interpolation, at 60% moisture content, based on Torgovnikov (1993)

Ennek oka nem ismert, de extrakt anyagok az elektromos tulajdonságokat befolyásolhatják.

Az interpolált adatokkal, adott nedvességtartalomnál az [1] képletet felhasználva határoztuk meg a csillapítási állandót. Az adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

A számított kalibrációs görbe a csillapítási állandó függvényében a nedvességtartalmat adja meg. A számított pontokra a 4. ábrán szereplő másodfokú függvény kielégítő illeszkedést ad. Megjegyezzük, hogy Torgovnikov (1993) irodalmi adatai alapján a 30%-os nedvességtartalom esetében is elérhetőek voltak, a kalibrációs görbétől egy kettes faktorral eltérő értéket kaptunk, amely minden bizonnyal sajtóhiba, ezért azokat nem vettük figyelembe.

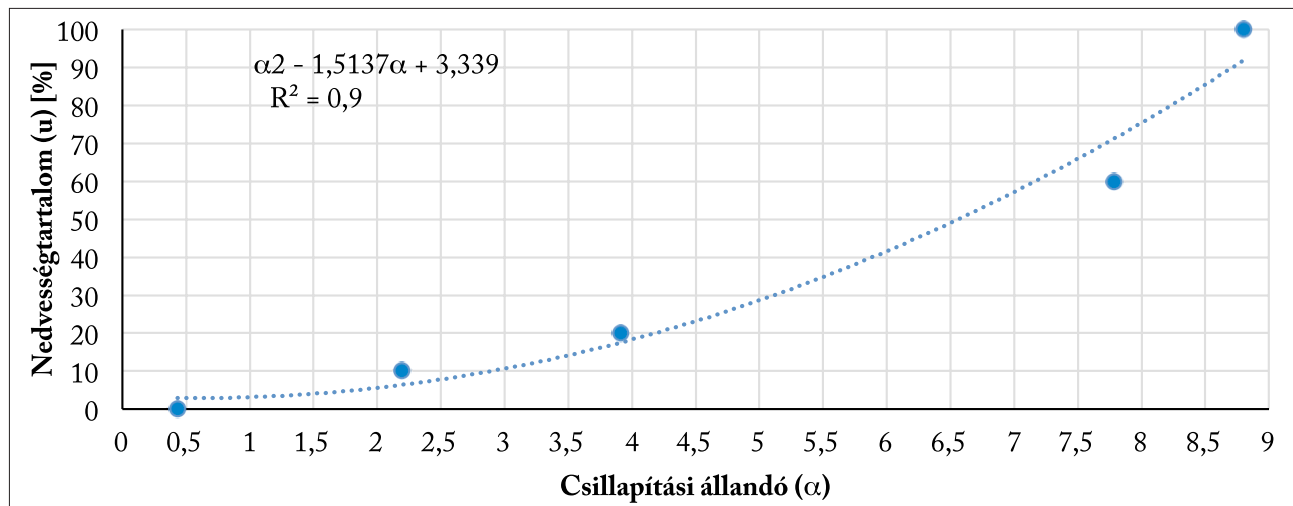
A méréseink során mintával és minta nélkül változatlan antenna távolság (d) esetén mértük a jelszinteket. A [2] és [3] egyenlet alapján a jelszintekből és az antenna távolságból számoltuk ki a csillapítási állandót, a kalibrációs görbe segítségével pedig az elektromágnesesen mért nedvességtartalomhoz jutottunk.

Torgovnikov kisméretű, néhány mm-es mintákon határozta meg a dielektromos állandókat, a cikkben ismertetett méréseket viszont 1 m-es vagy annál is nagyobb méretű famintákon végeztük. A jelentős méretbeli eltéréssel magyarázható, hogy tömör fához 0,65-ös, saranghoz 0,5-ös szorzóval csökkentettük a méréssel meghatározott csillapítási állandó mértékét. Ezzel a korrekcióval az elektromágnesesen és a hagyományos, szárítási módszerrel meghatározott nedvességtartalmak kielégítő egyezést mutattak.

**1. táblázat** 868 MHz-en, különböző nedvességtartalmi értékeknél a csillapítási állandó mértéke, Torgovnikov (1993) alapján

**Table 1** The attenuation coefficient at different moisture contents, at 868 MHz, based on Torgovnikov (1993)

u [%]	0%	10%	20%	60%	100%
ε	2,213	3,034	4,495	9,543	18,321
tan δ	0,032	0,139	0,204	0,280	0,228
α	0,4309	2,1983	3,9118	7,7819	8,8020



**4. ábra** Kalibrációs görbe a decibelből számolt csillapítás adatok nedvességtartalomra váltásához

**Figure 4** Calibration curve for moisture content determination based on measured attenuation data

A számítások szerint 2 m vastag minta átsugárzása 100 dB-nél kisebb jelcsökkenést eredményez. Ezért az általunk használt mérőrendszerrel 2 m vastag minta vizsgálata még lehetséges. A mérőrendszerünk a célul tűzött feladat megoldására kellő érzékenységgel rendelkezik.

#### A mért eredmények

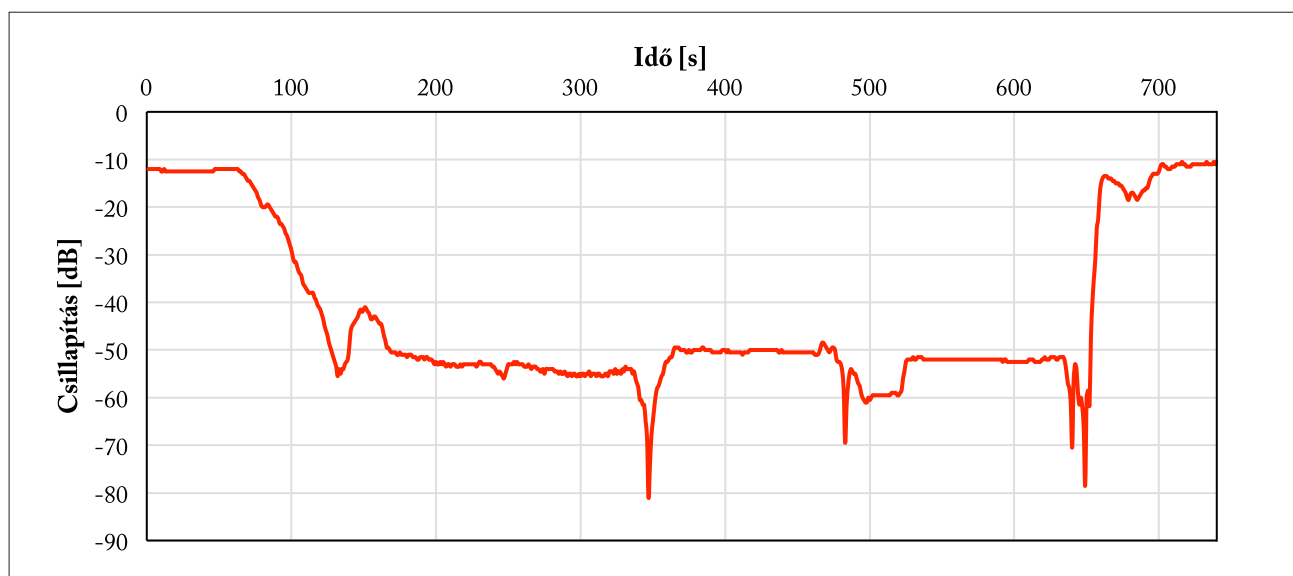
Az elektromágneses nedvességmérést a hagyományos, mintavételezésen és szárításon alapuló módszerrel kontrolláltuk, melyek eredményeit a 2. táblázat mutatja.

Az 5. és 6. ábrán a mért jelszintek láthatók az idő függvényében, miközben az antennákat mozgattuk. A görbe tetején és végén látható magas jelszint (kicsi csillapítás) esetén az antennák között nem volt minta. Az alacsony jelszintek esetében az antennák között faanyag található. Az 1 m széles, bükk sarang vizsgálatakor tapasztalt jelingadozás látható az 5. ábrán.

**2. táblázat** A hagyományos mintavételezéssel mért nedvességtartalmak

**Table 2** The results of the traditional moisture measurements

Fafaj	u [%]			
	Szórás	Átlag	Max.	Min.
Tölgy	0,1	21,8	21,9	21,7
Bükk	0,5	20,1	20,6	19,5
Erdeifenyő	0,3	17,1	17,4	16,8
Mamutfenyő	1,6	45,8	47,7	43,8



**5. ábra** 1 m-es bükk sarang vizsgálata, adó-vevő távolság 110 cm, a diagram elején és a végén a sarang megközelítése és a sarang elhagyása látható – ahol csak levegő volt az adó és a vevő között. Az alacsony jelszintek a tényleges mérés értékei

**Figure 5** Measurement of 1 m long stacked beech wood, transceiver distance 1.1 m. The diagram shows the approach to and the departure from the stacked wood, where there was only air between the transceivers. Low signal levels are the actual measurement values

A váratlanul megjelenő völgyek úgy keletkeztek, hogy az antennák kézi mozgásakor azok rövid ideig nem egymás felé néztek. Ez mutatja, hogy a műszernek magas az irányérzékenysége, tehát fontos, hogy az antennák pontosan egymással szemben legyenek. Ezeket a mérési hibákat az értékelés során figyelmen kívül hagytuk.

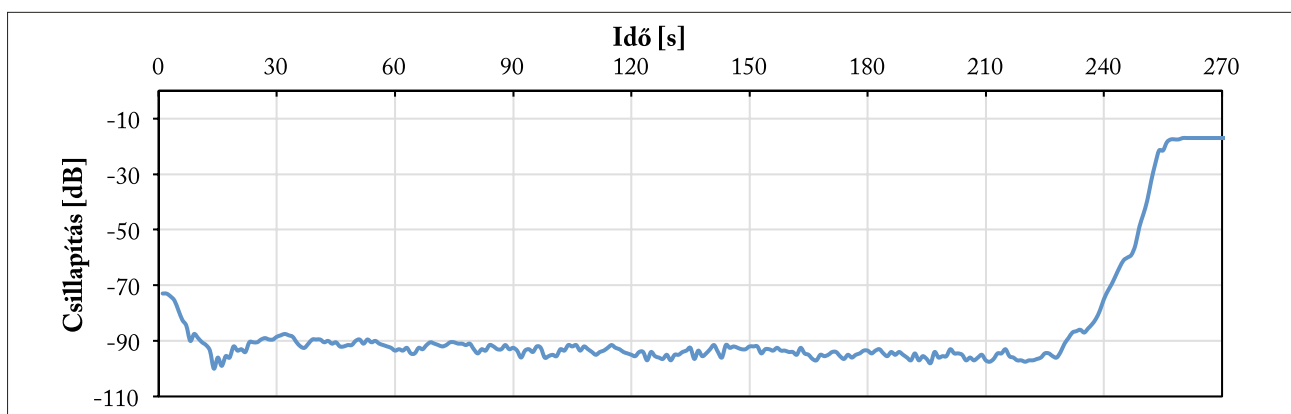
A vizsgálat kiindulási helyzetében, amikor az antennák között nem volt minta, így a jelnek csak a levegőn kellett áthatolnia, -12 dB-t mértünk, majd az antennákat bemozgattuk a mérési pozícióba -52 dB-t értünk el, így a rakat bükk részének csillapítása 40 dB. A korábban bemutatott kalibrációs görbével (4. ábra) 18,4% nedvességtartalmat határoztunk meg. A fúrásos mintavételezéssel meghatározott nedvességtartalom 20,1% volt. Az eltérés a két mérés között 1,7%.

A 6. ábrán a 1,85 m széles óriás mamutfenyőn mért, átlag -95 dB jelintenzitás csökkenés látható. Az 1,85 m hosszú rönkön a -17 dB-es minta nélküli értékkel korrigálva, ez 78 dB jelcsökkenést jelent. A [2] és [3] képlettel meghatározott korrigált csillapítási állandó segítségével 46,2%-os nedvességtartalom adódott. A fúrásos mintavételhez képest ez 0,4% eltérés.

A 3. táblázat tartalmazza az összes mért eredményt. A 2-2 mért eredmény a tölgy és az erdeifenyő esetében a műszeres vizsgálat során a különböző magasságokban mért két eltérő, jól elkülöníthető jelszint miatt került be a táblázatba. Feltételezhető, hogy a sarangban a talajhoz közeli részen más lehetett a nedvességtartalom. Ebben az esetben vélhetőleg nem az antennás mérés volt pontatlan, hanem éppenséggel a mintavételezéses eljárás nem volt képes kimutatni azokat a nedvességtartalmi eltéréseket, amelyek a valóságban jelen voltak a sarangban.

### Következtetések

Sikerrel próbáltunk ki egy viszonylag egyszerű berendezést, mely 868 MHz-es frekvencián elektromágneses hullámok intenzitásának mérésére alkalmas. A rendszer 100 dB-es érzékenységgel rendelkezik.



**6. ábra** 1,85 m-es mamutfenyő rönk vizsgálata, adó-vevő távolság 195 cm, a diagram végén a rönk elhagyása látható – ahol csak levegő volt az adó és a vevő között. Az alacsony jelszintek a tényleges mérés értékei

**Figure 6** Measurement of 1.85 m long giant sequoia log, transceiver distance 1.95 m. The diagram shows the departure from the giant sequoia log, where there was only air between the transceivers. Low signal levels are the actual measurement values

### 3. táblázat Az eredmények összefoglaló táblázata

**Table 3** As summary of the results

Fafaj	Műszerrel mért csillapítás [dB]	Minta nélküli csillapítás [dB]	Átsugárzott vastagság [m]	Csillapítási áll. [α]	Fúrással mért nedvességtartalom [%]	A görbe (4. ábra) egyenlete szerinti nedvességtartalom [%]	Eltérés [%]
Mamutfenyő	95	17	1,85	9,7	45,8	46,2	0,4
Erdeifenyő	48	10	1,15	7,6	17,1	16,6	-0,5
Erdeifenyő	43	10	1,15	6,6	17,1	12,7	-4,4
Tölgy	56	10	1,15	9,2	21,8	24,3	2,5
Tölgy	48	10	1,15	7,6	21,8	16,6	-5,2
Bükk	52	12	1,15	8,0	20,1	18,4	-1,7

Kijelenthető, hogy közel 2 m-es tömör faanyag rostiránnyal párhuzamos átsugárzására alkalmas a műszer; ezt alátámasztották az elméleti számítások és a gyakorlati mérések is. A kalibrációs görbével jól meghatározhatók a nedvességtartalmak a mért csillapítások alapján. A továbbiakban ennek a kalibrációs görbének a pontosítására lesz szükség a sűrűség- és hőmérsékletfüggés figyelembevételével.

Amennyiben nedvességmérésre kívánjuk felhasználni a bemutatott mérőrendszert, akkor gondosan ügyelni kell arra, hogy a helyszínen történt kalibrációt követően a mérőhely közelében lévő reflektáló felületek ne változzanak. Továbbá figyelni kell a rendszer hőmérséklet, és a fafaj függésére. Az itt bemutatott 1 paraméteres – csak a jelszint mérésén alapuló – nedvességtartalom mérés pontosítható a sűrűség változását jelző második paraméterrel (Divós és tsai. 2011, 2013). Egy lehetséges mód erre a vett jel fázistolásának mérése.

Bízunk abban, hogy a közeljövőben lehetőség nyílik arra, hogy az itt felvázolt rendszert megépíthessük és ipari körülmények között tesztelhessük.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani a Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karán működő Innovációs Központnak a mérési hely biztosításáért.

### Irodalomjegyzék

- 2/2013 (1.7.) NMHH rendelet a polgári célra felhasználható frekvenciasávok felhasználási szabályainak megállapításáról. NMHH, 2013.
- Bucur V. (2003) Nondestructive Characterisation and Imaging of Wood. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg Hon Kong London Milan Paris Tokyo, ISBN: 3-540-43840-8, 354. old.
- Divós F., Divós P., Ther I. (2011) Wood Density determination by microwave radar. In: Divós f. ed. Proc. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungary, September 14-16, 2011., Volume 2, ISBN 978-963-9883-83-3, 651.-656. old.
- Divós F., Tsalagkas D., Koutsianitis D. (2013) Wood Density determination of Trees by Microwave Impulse Radar Device. Proc. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium Madison, Wisconsin, USA, September 24-27 2013., 143.-149. old. <[http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl\\_gtr226.pdf](http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr226.pdf)> Megtekintve: 2016. 08. 24., 15:37
- Hargitai L. (2008) Rönttéri technológiák. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest. 7.-9. old. <[http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/11\\_2309\\_002\\_100915.pdf](http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/11_2309_002_100915.pdf)> Megtekintve: 2016. 06. 08., 19:40
- Papp Á. J. (2012) Óriás mamutfenyő (Sequoiadendron Giganteum fizikai és mechanikai tulajdonságainak vizsgálata. In: Hováthné Hoszpodár K. szerk. Hallgatói Tudományos Konferencia, 2012. Tanulmánykötet a „Talentum program” hallgatói kutatásainak eredményeiről, előadásanyagairól. NymE-FMK, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola. PALATIA Nyomda és Kiadó Kft. ISBN 978-963-9883-96-3. 134.-139. old.
- Skaar C. (1988) Wood-Water Relations. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg, ISBN: 0-387-19258-1, 283. old.
- Tolvaj L. (1994) Elektromos tulajdonságok. In: Sitkei Gy. (szerk.) A faipari műveletek elmélete, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft., Budapest, ISBN 963 356 079 9, 80.-81. old.
- Torgovnikov, GI. (1993) Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg, ISBN: 0-387-55394-0, 160.-169. old.