

Bükk (*Fagus sylvatica*) álgeszt kimutatása elektromos feszültség- és ellenállásméréssel

DIVÓS Ferenc¹, GÖNCZ Balázs²

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Fizikai és Elektrotechnika Intézet

² Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Fa és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

A bükkfa egyik legjelentősebb esztétikai hibája az álgeszt, melynek elektromos tulajdonságai is eltérnek az egészséges faanyagétól. Ez lehetőséget kínál az álgeszt elektromos ellenállás mérésen alapuló vizsgálatára. Az álgeszt kimutatására irányuló vizsgálataink során először egy 24 csatornás impedancia tomográffal vizsgáltunk bükk törzseket. A jelentősen alacsonyabb ellenállású álgesztes farész jól kirajzolódott a tomográffal előállított ellenállás-térképeken, és jó egyezést mutatott a vágásképen látható álgeszt méretével és alakjával. 8 érzékelővel végzett laboratóriumi előkísérletek segítségével megállapítottuk a legelőnyösebb elektróda-elrendezést, aminek a segítségével a terepen gyorsan és egyszerűen lehet vizsgálni az álgeszt jelenlétét. A tapasztalatok alapján a terepi vizsgálatokhoz kifejlesztett műszer egyértelműen alkalmasnak bizonyult az álgeszt jelenlétének a kimutatására, azonban annak kiterjedését nem lehetett vele megbízhatóan megállapítani. A vizsgált átmérő tartományban a feszültség csak igen kis mértékben függ az átmérőtől, a vizsgálat az átmérőtől függetlenül megbízható, nincs szükség átmérő szerinti korrekcióra.

Kulcsszavak: bükk, álgeszt, élőfa-vizsgálat, roncsolásmentes faanyagvizsgálat, impedancia tomográfia

Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*) through electric resistance and voltage measurements

Abstract

One of the most important visual defects of beech is red heart, whose electric conductivity is also different from that of sound wood. This offers an opportunity for detecting red heart based on resistance measurements. First, beech trees were investigated using a 24-channel impedance tomograph. Red heart beech wood, which has a much lower electric resistance, was clearly visible on the resulting resistance maps, and it corresponded well to the size and shape seen on the trees' cross-section after felling. The laboratory investigations using 8 detectors helped establish the best arrangement of electrodes for the quick and reliable detection of red heart on site. Based on the on-site tests, the developed instrument is highly reliable for detecting the presence of red heart in beech trees of 40-60 cm in diameter, but could not consistently predict its extent. The measured voltage shows very weak correlation to diameter in the examined range; the diameter does not effect the test significantly, and there is no need for diameter-correction.

Keywords: beech, red heart, live tree testing, non-destructive testing of wood, impedance tomography

Bevezetés

A bükkfa egyik leggyakoribb fahibája az álgeszt. Az idős egyedeknél, vágásérett korban szinte minden esetben jellemző (Tuzson 1904), de fiatalabb példányoknál is gyakran előfordul. Jelentős problémát jelent a faipar – különösen a lemez- és fűrészipar – számára. A bükk faanyag értékét jelentősen csökkenti (Molnár és Bariska 2002). Fizikai és mechanikai tulajdonságok szempontjából nincs jelentős eltérés az egészséges és az álgesztes faanyag között, sőt, nyomószilárdság tekintetében az utóbbi kismértékben jobbnak bizonyul, viszont nehezebben telíthető (Molnár 2006). Egészséges álgeszt esetében elsősorban esztétikai hibáról beszélhetünk.

Az álgeszt a bükkfában megnövekedett elektromos vezetőképességgel rendelkezik a fatest többi részéhez képest (Bíró 2004).

Az álgeszt megjelenés szerint öt csoportba sorolható: egészséges, felhős, csillagos, korhadt és aszimmetrikus (Bíró 2004). Az 1. ábrán egészséges álgeszt látható, közvetlenül döntés után. Jellemző, hogy az évgyűrűhatárokat egyáltalán nem követi (Koch 2003). Többféle hosszanti lefutásban jelenik meg, és ez alapján orsó alakú, kúpos, vagy szabálytalan csoportokba sorolható (Bíró 2004).

Vizsgálatunk célkitűzése egy olyan, a gyakorlatban is alkalmazható módszer kifejlesztése volt, amellyel még döntés előtt kimutatható az álgeszt jelenléte és mérete, az álgesztes és az álgesztmentes faanyag vezetőképessége között fennálló különbségek alapján. A mérési módszert először laboratóriumi kísérletekkel alapoztuk meg, majd terepi mérésekkel igazoltuk annak működőképességét.

Kísérleti anyagok és módszerek

Vizsgálataink az álgeszt elektromos tulajdonságain alapulnak. Ha a törzs kerülete mentén mérőelektródákat helyezünk el, melyek segítségével elektromos áramot vezetünk a faanyagba, meghatározott erőter jön létre az adott keresztmetszetben. Ez az erőter a faanyag egészségi állapotának a függvénye. Ha a vizsgált faanyag jól vezető fahibát, megnövekedett nedvességtartalmú farészt tartalmaz, akkor az ezt az erőteret módosítja. A megváltozott erőteret a többi elektródán mért feszültségkülönbségek alapján lehet jellemezni. A mérési pontokon álgesztes faanyag esetében megváltozott, kisebb feszültségértékeket mérhetünk, szemben az egészséges faanyaggal (Göncz 2010).

Vizsgálatainkat három lépésben végeztük el, az alábbiak szerint:

- 24 csatornás terepi impedancia tomográfias mérés egészséges és álgesztes, kivágásra kijelölt törzseken, a módszer alkalmazhatóságának igazolására;
- laboratóriumi vizsgálatok egészséges és álgesztes mintákon, 8 érzékelő segítségével, egy egyszerű, terepen is alkalmazható mérés kifejlesztése céljából;
- terepi mérések négy érzékelő alkalmazásával.

Az egyes mérések kivitelezését részletesen az alábbiakban mutatjuk be:

1. Impedancia tomográfias vizsgálatok

Az elektromos vezetőképességen alapuló módszer alkalmazhatóságának igazolására először impedancia tomográfias méréseket végeztünk. A talajvizsgálatoknál és az orvostudományban alkalmazott eljárás alapján fejlesztett műszer (Picus Treetric impedancia tomográf, Argus Electronic GmbH) segítségünkre van a faanyag keresztmetszeti vezetőképesség-eloszlásának vizsgálatában. Megvizsgálhatók vele a faanyag keresztmetszetében lévő elektromos ellenállás-beli különbségek, és keresztmetszeti ellenállástérképet készít a faanyag keresztmetszetéről.

A tomográf 2 fém elektródán keresztül elektromos áramot vezet a faanyagba, 2 elektródán pedig méri a faanyagban létrejövő erőter feszültségváltozásait, illetve ellenállását. Ezt a mérést meghatározott számú kombinációban végzi el. Az általunk használt eszköz maximum 24 érzékelőt támogat, mi is ennyit használtunk méréseink során, mivel így kaptuk a legrészletesebb képet a törzsek ellenállásviszonyairól. Ebben a kombinációban 253 mérést végez a műszer, amelyhez kb. 5 perc szükséges. Impedancia tomográffal végzett mérést mutat a 2. ábra.

A tomográfos vizsgálatokra a téli fakitermelés időszakában került sor. A méréseket a Soproni-hegységben, összesen négy erdőrészletben hajtottuk végre (S203H, S167G, S154D, S152C). Előzetesen kitermelésre ítélt egyedeken végeztük a vizsgálatokat, így közvetlenül és viszonylag gyorsan képet kaphattunk az eredményekről.



1. ábra Egészséges álgesztet tartalmazó bükkfa keresztmetszete döntés után

Figure 1 The cross section of a beech trunk containing sound red heart after felling



2. ábra Impedancia tomográffal végzett mérés élőfán

Figure 2 Impedance tomographic measurement on a live tree

A mérések magassága a talajszinttől számítva 1 m és 1,8 m között volt. A megvizsgált egyedek erőteljesen különböztek egymástól, alacsony növésű kis törzsátmérőjű, magas növésű nagy törzsátmérőjű, villás növésű fa egyaránt előfordult. A vizsgálatokat összesen 30 egyedén végeztük el.

2. Laboratóriumi feszültségméréses vizsgálatok

Ennél a vizsgálatnál fakitermelésekről beszerzett, 40 cm átmérőjű korongokon modelleztük az érzékelők törzsön való elhelyezkedését. Egy egészséges és egy álgesztes korongot használtunk, így optikailag is ellenőrizhetővé váltak eredményeink. A törzs kerülete mentén 8 darab, mérési és gerjesztési pontként is funkcionáló fém érzékelőt helyeztünk el. Érzékelőként egyszerű, kereskedelmi forgalomban kapható, 40x2 mm-es fém szegeket használtunk, kb. 15 mm-es behatolási mélységgel (legalább 5 mm-es behatolás a fatestbe). Elrendezésük a 3. ábrán látható. Áramforrásként egy EMG 1257 Type TR-0473 típusú függvénygenerátort használtunk. Az alkalmazott feszültség 3 V, a frekvencia 4 kHz volt. A feszültséget Maxwell MX 25 501 típusú hagyományos voltmérővel mértük.

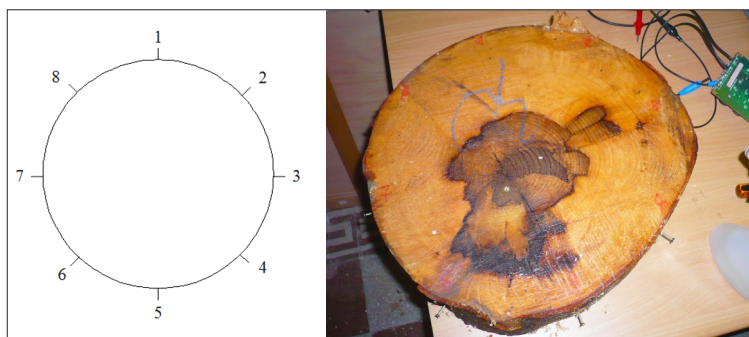
A méréseket az 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8 pontpárok gerjesztésével, és mindegyik esetben az összes fennmaradó kombinációnál történő méréssel végeztük el, így összességében 27 mérés történt minden gerjesztési kombináció esetén. A méréssorozat elvégzése után mindegyik kombináció esetében kiszámításra került az egészséges és az álgesztes anyagon mért értékek hányadosa (U_e/U_a). Minél nagyobb ez a hányados, annál megbízhatóbban mutatható ki az álgeszt az adott gerjesztő-érzékelő kombináció használatával. Ez alapján került sor a terepi méréseknél alkalmazott, egyszerűsített mérési eljárás kifejlesztésére.

3. Terepi mérések

A terepi mérésekhez egy kézi műszert készítettünk, az előzőekben ismertetett laboratóriumi mérések alapján, annak mobilizálására. A szerkezet egy 9 V-os tápegységből, egy kétállású kapcsolóból, egy szabványos mono, 3,5 mm-es csatlakozóaljzatból, 4 fém elektródából (60x2 mm-es fém huzalszegek), egy UniVolt DT 890 típusú voltmérőből és egy órakvarcból áll (Göncz 2010). A mérés sematikus rajza a 4. ábrán látható. Az elektródák elhelyezését az előzetes laboratóriumi mérések alapján határoztuk meg. Ez a korábban ismerteteknél könnyebb és gyorsabb mérést tesz lehetővé, így a gyakorlatban jobban alkalmazható. A méréseket kb. 1 m-es magasságban, az 1-2 illetve a 2-3 sz. elektródák gerjesztésével is elvégeztük.

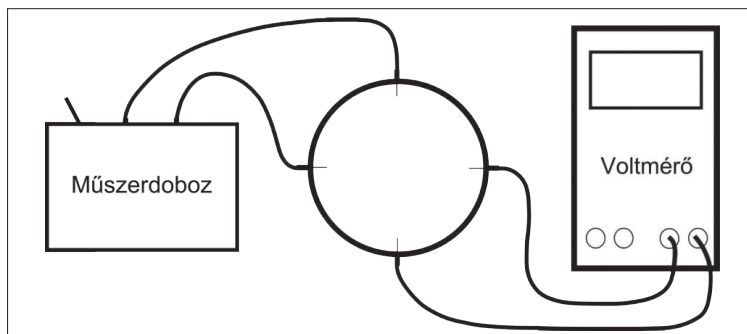
A kézi műszer gyakorlati tesztelése során először a Soproni-hegység S162E erdőrészletének 50 egyedét vizsgáltuk. A vizsgált egyedek átlagéletkora hozzávetőlegesen 100 év volt. Az egyedek törzsátmérője változó volt, 35 cm-től 75 cm-ig terjedt. A vizsgálatra kijelölt egyedek kiválasztása az erdőrészletben található egyedek közül véletlenszerűen történt. A mérés befejezése után a kapott eredmények alapján a valószínűleg fahibát rejtő egyedeket megjelöltük, majd fizikai mintavételezéssel ellenőriztük. A mintavételezést kézi működtetésű Pressler-fúróval hajtottuk végre.

Ezt követően – továbbra is a kézi műszerrel – a Soproni-hegységben, Brennbergbánya közelében található két erdőrészletben (S151B, S150B) folytattuk a méréseket, a minimális előre detektálható álgeszt méretének meghatározása érdekében.



3. ábra A 8 darab, elektródául szolgáló érzékelő elhelyezkedése a bükk korong kerülete mentén

Figure 3 The location of the 8 electrodes along the circumference of the beech tree



4. ábra A terepen alkalmazható kézi műszer sematikus ábrája

Figure 4 Schematic of the handheld instrument used for on-site measurements

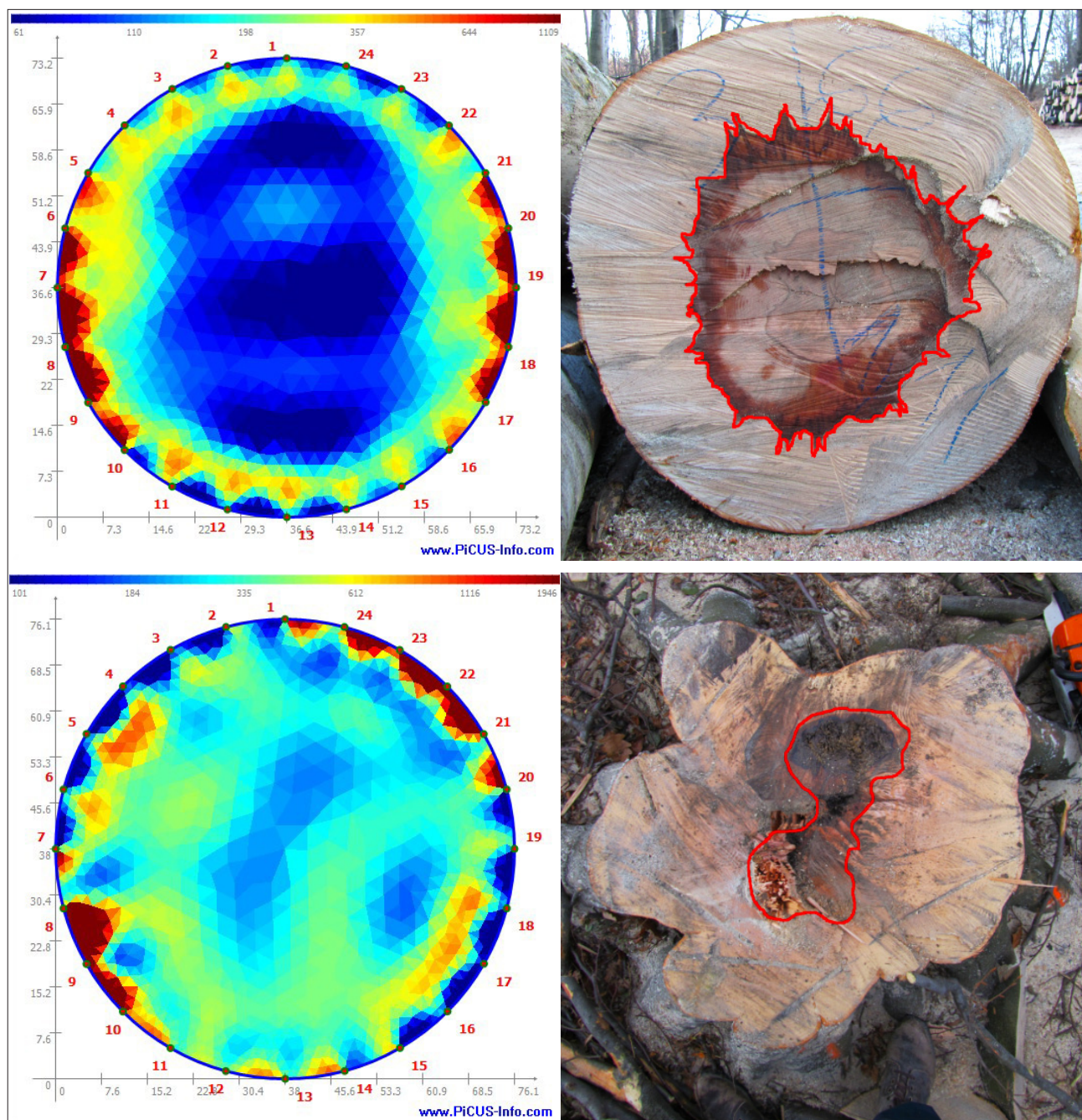
Lehetőségünk nyílt az álgeszt optikai úton történő ellenőrzésére is, mivel a vizsgálatokat fakitermeléseken, és erdei rakodók felkeresésével végeztük. Az erdőterületeken a kitermelt faanyagot látva az álgeszt valamennyi megjelenési formája jelen volt, ugyanakkor néhány esetben álgesztmentes faanyag is előfordult.

Eredmények

1. Impedancia tomográfias vizsgálatok

Az impedancia tomográfia képességeit jól mutatják az 5. ábrán látható ellenállástérképek. Az alacsonyabb nedvességtartalmú egészséges faanyag (geszt) nedvességtartalma, és így az elektromos vezetőképessége is alacsonyabb (az ellenállástérképen piros színnel jelölve). Ezzel szemben az álgesztes anyag vezetőképessége magasabb, ellenállása kisebb, amit a kék szín jelez.

Az 5. ábrán jól látható, hogy a műszer által rajzolt kép jó egyezést mutat a valós állapottal (a fotókon piros szegély mutatja az álgeszt határvonalát). Az ellenállástérképeken található adatokból leolvasható,



5. ábra Álgesztes bükk egyedek törzskeresztmetszetének ellenállástérképe és valós képe

Figure 5 Impedance tomographic images and actual photographs of beech tree cross sections

hogy az álgeszt ellenállása mindössze harmadakkora, mint a nem álgesztes farészé. Látható továbbá a törzsön belüli pontos hely, amit a sötétebb kék szín jelöl. Ennek a jelentős eltérésnek, és a műszer jó felbontásának köszönhetően az impedancia tomográf viszonylag nagy pontossággal képes kimutatni nem csak az álgeszt jelenlétét, de méretét és elhelyezkedését is a törzsön belül. Ugyanakkor azonban a műszer igen költséges, és a mérés beállítása és annak elvégzése is időigényes, emiatt gyakorlati alkalmazása nehézségekbe ütközik.

2. Laboratóriumi feszültségmérés vizsgálatok

A mérésorozat kiértékelése után minden gerjesztett elektródapár esetében megvizsgáltuk, hogy mely mérési pontoknál mutatkozott a legnagyobb eltérés az álgesztes és az egészséges anyagok között. Ezeket a maximális eltérést mutató elrendezéseket, és az eltérés mértékét mutatja be az 1. táblázat.

Mint a táblázatból látható, az összes mérés közül a legnagyobb eltérést az 1–7 gerjesztési pontokon tapasztaltuk, amikor is a 3–5 pontok között az álgesztes anyagon mért feszültség alig több mint az egészséges anyagénak az 1/5-e. Ez alapján tehát ez az elektródaelrendezés mutatkozik a legjobbnak (azaz, ha az anyag kerületét négy egyenlő részre bontjuk, és a gerjesztést, valamint a mérést egymás melletti két-két elektródán végezzük.) Az ezzel analóg 1–3 gerjesztési pontok esetén szintén az azokkal szembeni, 5–7 mérési pontokon tapasztaltuk a legmarkánsabb eltérést – igaz ugyan, hogy ez az eltérés valamivel kisebb, de még mindig igen jelentős volt. Az eredmények alapján tehát ez az elektródaelrendezés bizonyult a legcélszerűbbnek, és ezt alkalmaztuk a későbbi, terepi mérések esetében is.

3. Terepi mérések

Az első terepi mérések eredményei több esetben nagy valószínűséggel utaltak az álgeszt jelenlétére, kettő egyed esetében a laboratóriumi méréshez hasonló feszültségértékeket jeleztek. Az első terepen végrehajtott mérések esetén csak a legjelentősebb eltéréseket mutató kettő egyedekből történt mintavétel kézi működtetésű Pressler-fúró segítségével, valamint egy kontrollmérést hajtottunk végre.

Mindkét kiválasztott fatörzs esetén megbizonyosodtunk a feltételezéseink helyességéről. A fúróval vett minták álgesztes anyagot tartalmaztak. Kontrollként megvizsgáltunk egy, az adatok alapján egészségesnek tűnő egyed is. A mintavétel ebben az esetben is igazolta a vizsgálatot; a fa egészséges volt.

A későbbi terepi mérések során – amikor is a feszültségmérés közvetlenül a döntést megelőzően történt – a döntés után feljegyeztük az álgeszt keresztmetszeti részarányát. Az álgeszt mérete és a mért feszültség értékek közötti összefüggést a 6. ábra szemlélteti. Az erdőterületeken – különösképpen az S150B-ben – a villás növésű bükk nagyon gyakori volt. Ez szinte minden esetben az álgeszt jelenlétét vetítette előre.

A 6. ábrából két fontos következtetés vonható le:

- A vizsgált átmérő tartományban a feszültségértékek nagy megbízhatósággal jelzik előre az álgeszt jelenlétét. 10 mV feszültség fölött mindössze egyetlen esetben volt jelen az álgeszt, míg ezen érték alatt mindig jellemző volt a kisebb-nagyobb mértékű álgeszt jelenléte.
- Az álgesztes törzsek esetében szinte semmilyen összefüggés nem fedezhető fel a mért feszültségértékek nagysága és az álgeszt mérete között, kivéve, hogy 6 mV felett az álgeszt mértéke mindig 30% alatti, 8 mV

1. táblázat Az egészséges és álgesztes bükk korongokon mért feszültségértékek viszonya (a legmarkánsabb eltérést eredményező kombinációk)

Table 1 The ratio of voltage values measured on sound and read heart beech discs (combinations resulting in the most marked differences)

Gerjesztési pontok	A legnagyobb eltérést mutató mérési pontok	U_e/U_a
1–2	4–8	0,321
1–3	5–7	0,308
1–4	3–7	0,292
1–5	2–8	0,523
1–6	2–7	0,267
1–7	3–5	0,204
1–8	2–7	0,303

felett pedig 15% alatti volt. Ugyanakkor sok esetben még igen alacsony feszültségértékek (2–3 mV) esetén is csak csekély mértékű álgesztésedés volt tapasztalható.

A fentiek alapján tehát az általunk kidolgozott egyszerű mérési módszer nagy biztonsággal alkalmas az álgeszt jelenlétének kimutatására, azonban nem ad megbízható információt az álgesztésedés mértékéről.

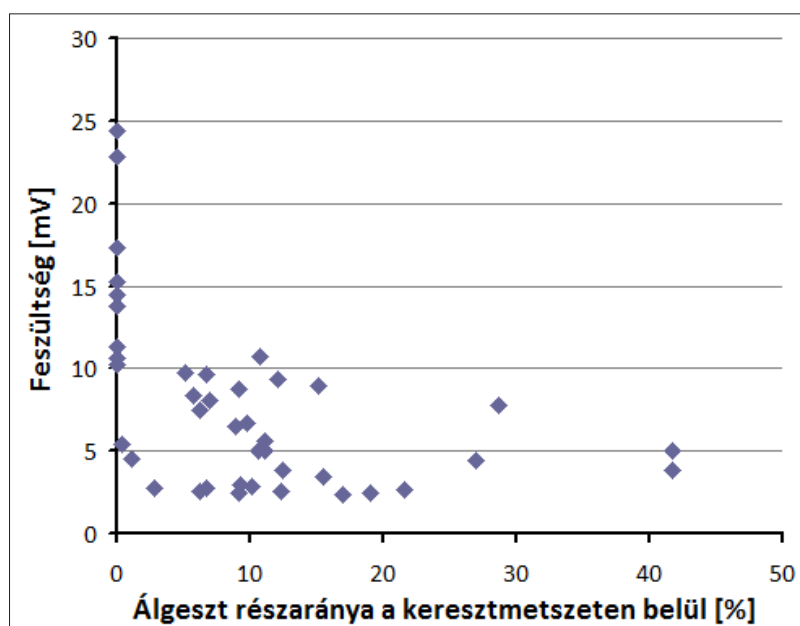
A mérhető feszültségértékek függenek a fa átmérőjétől is. Minél nagyobb az adott átmérő, annál kisebb feszültségértékeket mérhetünk, és fordítva. A mért adatok alapján a 40 cm körüli törzsátmérőnél 15–20 mV, míg a kb. 60 cm-es törzsátmérőnél a 12–17 mV-os értékek a jellemzőek, természetesen egészséges faanyag esetében. Mint a 7. ábra is mutatja, a törzskerület és a feszültségértékek között nagyon gyenge az összefüggés, az adatok szórása igen jelentős.

A 7. ábrán is látható gyenge negatív korreláció azt mutatja, hogy a törzsátmérő befolyásolja ugyan a mérést, de csak igen kis mértékben. Ráadásul a nagyobb átmérőjű egyedek – melyeknél nyilvánvalóan kisebb feszültségértékeket mérhetünk – álgesztet is nagyobb valószínűséggel tartalmaznak. A vizsgált átmérőtartományban (40–60 cm) tehát nem szükséges az átmérőt figyelembe venni, a mérés anélkül is kellően megbízható.

Összefoglalás

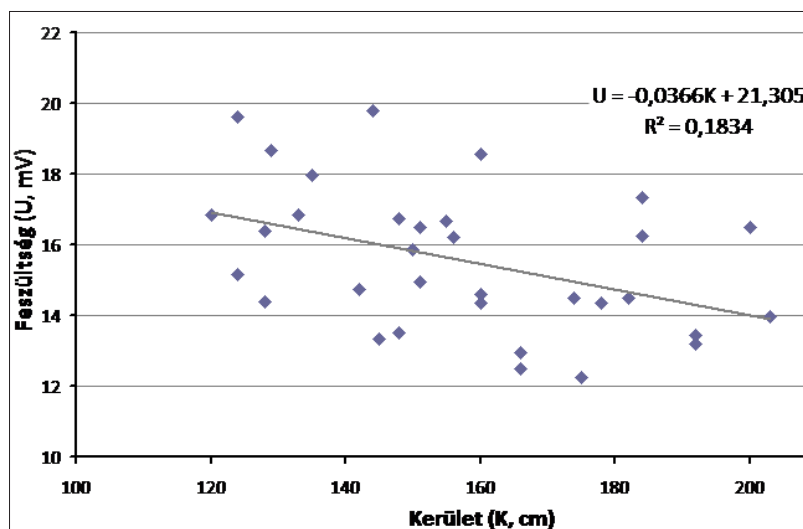
Kísérleteink során az álgeszt roncsolásmentes kimutatásának a lehetőségét vizsgáltuk, annak jelentősen eltérő elektromos vezetőképessége alapján. A vizsgálatok alapján az alábbi következtetésekre jutottunk:

1. Az impedancia tomográfiával történt előzetes mérésekből származó keresztmetszeti ellenállástérképeken látható, alacsonyabb ellenállású területek nagyfokú egyezést mutattak a döntés után a vágásképen látható álgeszt területekkel. Az ellenállásbeli különbségek markánsak. Ez arra utal, hogy az ellenállásmérés jó lehetőséget kínál az álgeszt detektálására.
2. A 8 elektródával végzett laboratóriumi mérések segítségével megállapítottuk, hogy a legegényesebb elrendezést a törzskerület 4 részre bontásával, és az egymás melletti két-két elektródán történő gerjesztéssel illetve méréssel lehet elérni. Jelentős mértékű álgeszt esetén a mért feszültség akár az egészséges anyagon mért értékek 1/3–1/5-ére is visszaeshet.
3. Az általunk alkalmazott mérési elrendezés segítségével az álgeszt jelenléte egyértelműen kimutatható volt.



6. ábra Az álgeszt keresztmetszethez viszonyított területaránya és a mért feszültségértékek közötti kapcsolat

Figure 6 Relationship between the proportion of red heart in the cross section and the measured voltage values



7. ábra Az egészséges bükk egyedeknél mért feszültségértékek átmérő-függése

Figure 7 The dependence of the measured voltage on the diameter in healthy beech trees

Ugyanakkor az álgesztesség mértéke és a mért feszültség között nem sikerült megbízható összefüggést kimutatni. Ez alapján tehát a mérés csak az álgeszt jelenlétének kimutatására alkalmas, annak mértékét nem tudja megállapítani.

4. A mért feszültség és a törzsátmérő között fennálló csekély mértékű negatív korreláció nem befolyásolja a mérést jelentős mértékben. Az általunk vizsgált átmérőtartományban (40–60 cm) a mérés megbízhatósága nem függ az átmérőtől, és nincs szükség átmérő szerinti korrekcióra.

A fenti eredményekből látható, hogy a kifejlesztett módszer alkalmas az álgeszt megbízható detektálására. A mérési eredmények tovább finomíthatók tőközeli mérések kivitelezésével, valamint a fahiba törzsön belüli 3D-s feltérképezésével, melyből következtethetünk az álgeszt hosszirányú lefutására is.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Talentum Műhely – a tudományért és tehetségekért a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0005 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Bíró B. (2004.) A bükk álgesztesedés vizsgálata a Somogyi Erdészeti és Faipari Részvénytársaság erdőállományában. Doktori értekezés, NymE Róth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola, Sopron
- Divós F., Göncz B. (2010) Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*) by electric measurement. In: Németh R. ed. Proc. 4th Conf. on Hardwood Research and Utilisation in Europe. Sopron, 2010. május 17–18. 102–105. old.
- Göncz B. (2010) Bükk álgeszt kimutatása impedancia mérés segítségével. Diplomamunka, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron
- Koch G. (2003) Biologische und chemische Untersuchungen über Inhaltstoffe im Holzgewebe von Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Kirschbaum (*Prunus serotina* Borkh.) und deren Bedeutung für Holzverfärbungen. Forschungsbericht, Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, Hamburg
- Molnár S. (2004) Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Budapest. 363–364. old.
- Molnár S. szerk. (2006) Fahibák, fakárosítások. Hillebrand Nyomda Kft., Sopron, 6-7., 44–45., 82–85. old.
- Molnár S., Pauko A., Szoják P., (2000.) Hazai és egzóta haszonfák In: Molnár S. szerk. Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 96. old
- Molnár S., Bariska M. (2002.) Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház Budapest, 70–77. old.
- Tuzson J. (1904) A bükkfa korhadása és konzerválása. A m. kir. földművelődésügyi minister kiadványai, 17. szám. Pallas részvénytársaság nyomdája, Budapest, 90 old.