

# VÁROSI FÁK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

## TEST METHODS FOR URBAN TREES

Ecseri Károly<sup>0000-0002-1445-0067</sup> <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Kertészeti Tanszék, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország  
<https://doi.org/10.47833/2024.1.AGR.004>

### Kulcsszavak:

elektromos rezisztencia  
akusztikus tomográf  
ultrahang tomográf  
impedancia tomográf

### Keywords:

electrical resistivity  
acoustic tomograph  
ultrasound tomograph  
electrical impedance tomograph

### Cikktörténet:

Beérkezett 2024. február 19.  
Átdolgozva 2024. április 17.  
Elfogadva 2024. április 27.

### Összefoglalás

Az utóbbi években a megváltozott klíma komoly kihívások elé állította a zöldfelületeken megtalálható növényállományt. A fokozódó növényegészségügyi problémák mellett az időjárás extrém jelenségei is nehezítik a fák életét a városban. A lakosság aggódva figyeli az orkán erejű szélben mozgó lombkoronát, vagy a törzsön kialakuló odvasodásokat. Ugyanakkor társadalmi 'elvárás' – valamint a fenntarthatóság szempontjából is fontos érdek – a városi fák életének meghosszabbítása a kivágásuk helyett. Mit tehetünk? Elsőként a probléma 'gyökerét' kell feltárnunk, melyre – többek között – az alábbiakban ismertetett módszerek állnak a faápoló szakemberek rendelkezésére.

### Abstract

In recent years, the changed climate has posed serious challenges to the plant stock found on green areas. In addition to increasing plant health problems, extreme weather events also make life difficult for trees in the city. Residents are worried about canopies moving in hurricane-force winds, or the hollows that form on the trunk. At the same time, it is a social 'expectation' - as well as an important interest from the point of view of sustainability - to extend the life of urban trees instead of cutting them down. What can we do? First, we have to uncover the 'root' of the problem, for which, among other things, the methods described below are available to tree care professionals.

## 1. Szemrevételezés

A legköltséghatékonyabb megoldás, amelyhez ugyanakkor magas szintű szakmai tapasztalat szükséges. Nemcsak magát a növényt, hanem a környezetét is alaposan szemügyre kell venni [30]. A vizuális értékelés során feltárt külső problémák és sérülések gyakran csak iránymutatóak és a vizsgált egyedek tényleges egészségi állapotának meghatározáshoz, valamint az esetleges beavatkozások megítéléséhez további, műszeres vizsgálatok is szükségesek [7]. A szemrevételezés során a fa szerkezeti paramétereit (törzsméret, magasság, faj-fajta), a növényt érő biotikus és abiotikus hatásokat, valamint az egészségi állapotra vonatkozó adatokat vizsgálják a faápolók. Másik lehetőség a kockázatelemzés [28]. Az egészségi állapotra vonatkozó problémák egy része egyértelmű (elszáradt ágak, korhadás, nyílt üregek, repedések), vagy egyszerű eszközökkel (kalapács) is igazolható [9].

\* Kapcsolattartó szerző.  
E-mail cím: [ecseri.karoly@nje.hu](mailto:ecseri.karoly@nje.hu)

## 2. Gyökérzet vizsgálata

### 2.1. Radarral történő feltérképezés

Az elektromágnesesség elvén alapuló módszer, mely alkalmas a sekély talajrétegben lévő tárgyak bizonyos fizikai tulajdonságainak változását kimutatni. A radar a kibocsájtott hullámok visszaverődését méri [20]. Előnye, hogy nem invazív, valamint viszonylag gyors és megismételhető mérések végrehajtására alkalmas [22], 3D-s gyökértérképek készítésére is felhasználható, valamint a kapott adatokból a gyökerek átmérője és a föld alatti biotomassza mennyisége is megbecsülhető [20]. Az érzékelést korlátozó tényező a talaj és a gyökérzet víztartalma, valamint az egymás mellett (egymás alatt) futó gyökerek esetében is pontatlan a vizsgálat [21].

### 2.2. Elektromos rezisztencia vizsgálat

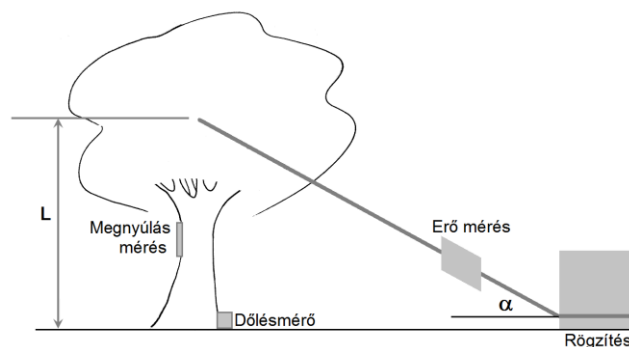
Vizes oldatoknál alkalmazható eljárás, mely a talajoldattal érintkező gyökérfelület tanulmányozását is lehetővé teszi. A szába jutatott áram segítségével feltérképezhető a teljes gyökérrendszer is (gyökér tömeg, gyökér hossz és gyökér felület). Szintén roncsolásmentes, hasznos élettani információkkal szolgál [8]. Használható például a fák esetében az abszorpciós gyökérfelület és a törzsátmérő közötti kapcsolat megállapítására [10]. Emellett stresszvizsgálatok esetén is végeztek kísérleteket vele a fiziológiai változások kimutatására [29]. A városi fák esetében talán a legfontosabb a gyökérkohézió vizsgálata, mely a fa stabilitása szempontjából kiemelkedően fontos. Erre egy – szintén elektromos ellenállással működő – 2D tomográf alkalmas. A műszer agyagos talajon nedves körülmények között, homokos fizikai féleség mellett pedig alacsony talajnedvesség mellett működik hatékonyabban. A jövőben ezek figyelembevétele mellett jól alkalmazható lehet a gyökéreloszlás becslésére [15].

### 2.3. Az akusztikus módszer

Azon az elven alapszik, hogy a hang terjedési sebessége közel tizede a talajban, mint a gyökérzetben. Így a gyökérnyaknál kopogtatással létrehozott hang megfelelő pontossággal kirajzolja a felső 50 cm-es talajrétegben futó főbb gyökereket. Ez az információ nemcsak stabilitás vizsgálatoknál lehet hasznos, hanem építkezések, csatornák létesítése előtt is [7]. A talajtípusra és a nedvességtartalomra vonatkozóan itt is kalibráció szükséges [23].

### 2.4. Húzóvizsgálat

A dőlésveszély pontos meghatározására használható módszer, melyben az imitált szél erősségét és a törzs megdőlésének mértékét is rögzítik (1. ábra). Régóta ismert és alkalmazott, alacsony költségű módszer [34]. A vizsgálatok alapján a hajlítónyomaték maximuma pozitív korrelációt mutat a gyökérzet méretével, a gyökerek átmérőjével, valamint a korona kiterjedésének mértékével [36]. A mérés talajtípustól, illetve földrajzi szélességtől függetlenül jól alkalmazható [25].



1. ábra. Dőlésmérés kivitelezésének sematikus ábrája [7]

### 2.5. A gyökér stabilitásának dinamikus vizsgálata

A húzóvizsgálattal ellentétben sokkal realisabb eredményeket nyerhetünk ebből a mérésekből. Előnye, hogy a vizsgálat előkészítése és elvégzése egyszerűbb, kevesebb eszközt igényel. Hátránya, hogy a megvalósításhoz szeles időjárás (minimum 25 km/h) szükséges. Ugyanakkor –

mivel a szél támadási felülete ez esetben nemcsak a törzs – a fa dőlése és a szélterhelés között nincs egyértelmű összefüggés. A magyar kutatók által fejlesztett rendszer egy szélességmérőből egy dőlésmérőből és egy kiértékelő szoftverből áll. Ez utóbbi a mérési eredményekre alapozva megbecsüli a vizsgált fa biztonsági tényezőjét (kidőlésének valószínűségét) [11].

### 3. Törzs vizsgálata

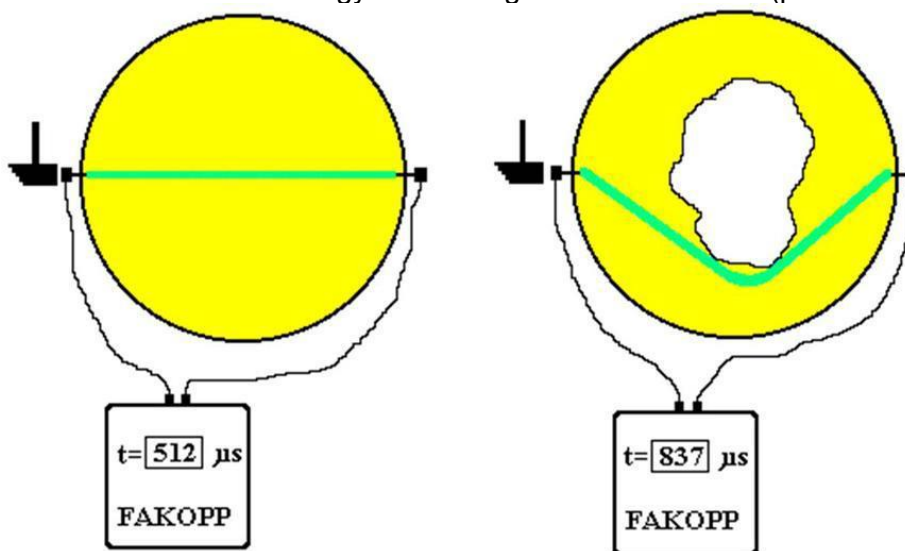
#### 3.1. Roncsolásos vizsgálatok (fúrás)

Régebben manuális, ma gépi fúróval végzik. A fúrófej által érzékelt ellenállás változásokból térképezhető fel a törzs vagy a vastagabb ágak belső szerkezete. A fúrású sávban az odvasodások és az üregek is jól detektálhatók [19]. Az akusztikus módszerekkel is jól szinkronba hozható, több helyen történő mintavétel után pontos képet ad [1]. Ugyanakkor a növényegészségügyi kockázata miatt alkalmazása háttérbe szorult [7].

#### 3.2. Akusztikus tomográf

A korhadó fában – a keletkező légüregek miatt – a hang terjedési sebessége megváltozik. A hanghullámok az élő faanyagban haladnak tovább, így nagyobb utat tesznek meg, amennyiben a fában üreg található. Ez természetesen hosszabb ideig tart [32]; [4]; [3]. Ha az egészséges faanyagban mért átlagsebesség 85-90 %-os értékre csökken, az már utalhat korhadásra [12]; [35]. Ezen az elven alapul ennek a műszernek a működése (2. ábra).

Pont ebből a terjedési sebességkülönbségből kiindulva az üreg vagy odvasodás pontos kiterjedéséről esetleges belső szerkezetéről részletes információkat nem ad a vizsgálat, az elhalt részt a beérkezett adatok alapján becsléssel határozza meg [7]. A mérések lehetséges hibái abból adódnak, hogy a faanyag anizotróp tulajdonságú (a mérés irányától függően változó tulajdonságokkal rendelkezik). Emellett a terjedési sebességet befolyásolja a fafaj, a nedvességtartalom és a hőmérséklet is [38]; [43]. A mérés hibáinak (alulbecslés, túlbecslés, kéreghez közeli hibák feltárása) kiküszöbölésére az akusztikus megoldást több kísérletben kombinálták elektromos hullámokkal vagy elektromágneses hullámokkal (pl. lézerekkel) [27]; [37].

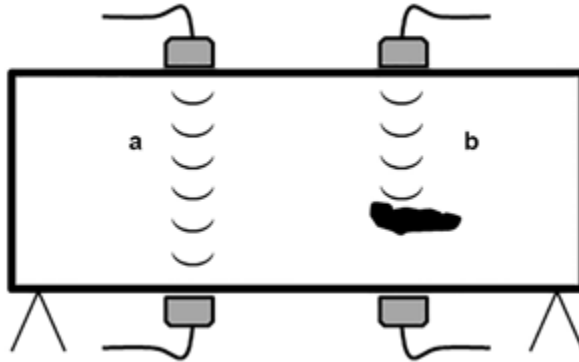


2. ábra: Az akusztikus tomográf működési elve egészséges és odvas fában [7]

#### 3.3. Ultrahang tomográf

Hasonlóan a törésveszély megállapítására alkalmazható a vizsgált keresztmetszetben. Elve is megegyezik az előző módszerével (terjedési sebesség különbség). Ez a mérés sem 100 %-os pontosságú, valamint a kisebb üregek nem kimutathatók [17]; [39]. Típusai: egyszennoros (impulzus-echó), kétszenzoros (átviteli módszer) (3. ábra). Nagyon vastag keresztmetszetek

esetében nem alkalmazható az erős csillapítás miatt. Ugyanis a magas frekvencián a hullám hossza csökken és nem jut át a teljes keresztmetszeten. A módszerrel már az 1990-es évek óta végeznek kísérleteket, azóta már közel 130 fajtáról vannak vizsgálati adataink [40].



3. ábra: A kétszenzoros (átviteli) ultrahang tomográf működési elve egészséges anyagban (a) és korhadt fában (b). [40]

### 3.4. Impedancia tomográf

Ezen műszerek működési elve azon a megfigyelésen alapul, miszerint a fában az elhalt részt körülvevő zónában megnövekszik a kationok koncentrációja, amely az ellenállás csökkenését vonja maga után [41]; [14].

A módszer alkalmazása során elektromos mezőt generálnak a fában és az elektródák a beérkező feszültségeket detektálják. Az elektromos mező torzulásából nem lehet egyértelmű következtetést levonni. Ennek oka ugyanis lehet egy üreg jelenléte, gombás fertőzés, de hasonló mérési eredményt mutat a műszer akkor is, ha a fában felhalmozódó fémes ionok, vagy magas víztartalom figyelhető meg [42]. Használata (sok elektróda szükséges hozzá) és az adatok értelmezése is bonyolult [31]; [42], emellett a problémás terület nagyságát nem képes pontosan meghatározni [18] így ritkán használják. Ugyanakkor – kihasználva a vizsgálat érzékenységét a vízállapotról – a fák kiszáradásának és hidraulikai állapotának jól alkalmazható roncsolásmentes meghatározója lehet [13]. A korhadás korai kimutatására is alkalmas, melyre az akusztikus megoldások nem használhatók [5].

### 3.5. Röntgen vizsgálat (CT)

Alkalmazhat elektromos ellenállást, akusztikus módszert, termikus vagy radaros technikát a szerkezeti elemzéshez. A fúrással végzett módszerhez képest kevésbé invazív, bár a korhadás helyét nem minden esetben képes kimutatni [24]. Az erős, ionizáló sugárzás miatt használata veszélyes és jelentős a költsége is [7].

### 3.6. Nukleáris mágneses rezonancia

Szintén nem invazív módszer, melyben tekercsek segítségével generálnak örvényáramot. Ahol a mágneses térben zavarok keletkeznek, ott feltételezhető a növényben szöveti károsodás. A mérések a rezonancia frekvencián alapulnak, melynek mértéke függ a fafajtól, a nedvességtartalomtól, illetve élettani és mérési paraméterektől is. A módszer ionizációs sugárzásmentes és elektródák nélküli vizsgálat ugyanakkor magas költséggel rendelkezik [2]; [6]; [44]. A gombák által lebontott sejtfal-anyagokból víz keletkezik, melyet a módszer érzékel, jóval azelőtt, hogy a rothadásnak látható tünetei mutatkoznának [33].

### 3.7. Mikrohullámú szkennelés

Nem invazív technika, mely alkalmas a fizikai paraméterek meghatározására (sűrűség, nedvességtartalom). A terepi mérések elvégzéséhez elegendő egy viszonylag kisméretű antenna is. A faanyag anizotrópiája, heterogenitása, valamint a természetes hibái nehezítik az adatok értékelését [6]; [26]; [16].

## 4. Összefoglalás

A vizsgálati technikák fejlesztésének fontos gazdasági mozgatórugója a faipari igény az egészséges faanyag iránt. Ugyanakkor a jó minőségű alapanyag előállítás mellett ezen precíziós módszerek jól adaptálhatók a zöldfelület-gazdálkodásban dolgozó szakembereknek, akik nem termelési céllal, hanem a növényállomány megőrzésének okán végzik ezeket a vizsgálatokat. Így a favizsgálatok az utóbbi időben beépültek a hazai faápolók eszköztárába és fontos szerepet játszanak a városi fák célzott kezelésében, élettartamának meghosszabbításában.

## Irodalomjegyzék

- [1] Allison, R. B.: Acoustic tomography and microdrill resistance density measurements compared to x-ray CT scan on white birch (*Betula papyrifera*), Ferenc, D. (ed.): Proceedings of the 17th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 2011, 191-197.
- [2] Araujo, C. D., MacKay, A. L., Hailey, J. R. T., Whittall, K. P., Le, H.: Proton magnetic resonance techniques for characterization of water in wood: application to white spruce, Wood Science and Technology, 1992, Vol. 26, No. 2, pp. 101–113, doi:10.1007/BF00194466.
- [3] Axmon, J., Hansson, M., Sörnmo, L.: Modal analysis of living spruce using a combined prony and dft multichannel method for detection of internal decay, Mechanical Systems and Signal Processing, 2002, Vol. 16, No. 4, pp. 561–584, doi:10.1006/mssp.149
- [4] Bethge, K., Mattheck, C., Hunger, E.: Equipment for detection and evaluation of incipient decay in trees, The International Journal of Urban Forestry, 1996, Vol. 20, No. 1, pp. 13–37, doi:10.1080/03071375.1996.9747095.
- [5] Brazee, N. J., Marra, R. E., Gocke, L., van Wassenae, P.: Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography, Forestry: An International Journal of Forest Research, 2011, Vol. 84, No. 1, pp. 33–39, doi:10.1093/forestry/cpq040.
- [6] Bucur, V.: Nondestructive characterization and imaging of wood, Springer-Verlag, 2003, Berlin, p. 354.
- [7] Buza, Á. K.: Élő fák stabilitása – Az ágak és a gyökérszövet vizsgálata. Doktori disszertáció. Nyugat-magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, 2016, Sopron, pp. 22-64.
- [8] Cao, Y., Repo, T., Silvennoinen, R., Lehto, T., Pelkonen, P.: An appraisal of the electrical resistance method for assessing root surface area, Journal of Experimental Botany, 2010, Vol. 61, No. 9, pp. 2491-2497, doi:10.1093/jxb/erq078
- [9] Dolwin, J. A., Lonsdale, D., Barnett, J.: Detection of decay in trees, Commonwealth Forestry Review, 1998, Vol. 77, No. 4, pp. 277–280.
- [10] Ehosioke, S., Nguyen, F., Rao, S., Kremer, T., Placencia-Gomez, E., Huisman, J. A., Kemma, A., Javaux, M., Garré, S.: Sensing the electrical properties of roots: A review, Vadose Zone Journal, 2020, Vol. 19, No. 1, doi: 10.1002/vzj2.20082
- [11] Fakopp Bt.: DynaRoot, műszer a gyökér stabilitásának dinamikus méréshez, 2019, Ágfalva, Magyarország.
- [12] Fakopp Enterprise Bt.: Arborsonic 3D acoustic tomograph – user’s manual. Fakopp Bt., 2015, Ágfalva, Hungary.
- [13] Ganthaler, A., Sailer, J., Bär, A., Losso, A., Mayr, S.: Noninvasive Analysis of Tree Stems by Electrical Resistivity Tomography: Unraveling the Effects of Temperature, Water Status, and Electrode Installation, Frontiers in Plant Science, 2019, Vol. 10, Article 1455, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01455>
- [14] Gao, S., Yue, X., Wang, L.: Effect of the degree of decay on the electrical resistance of wood degraded by brown-rot fungi, Canadian Journal of Forest Research, 2019, Vol. 49, No. 2, pp. 145–153, doi:10.1139/cjfr-2018-0282.
- [15] Giambastiani, Y., Errico, A., Preti, F., Guastini, E., Censini, G.: Indirect root distribution characterization using electrical resistivity tomography in different soil conditions, Urban Forestry and Urban Greening, 2022, Vol. 67, Article 127442, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127442>
- [16] Goh, C. L., Rahim, R. A., Rahiman, M. H. F., Talib, M. T. M., Tee, Z. C.: Sensing wood decay in standing trees: A review, Sensors and Actuators A: Physical, 2018, Vol. 269, pp. 276–282, doi:10.1016/j.sna.2017.11.038.
- [17] Goncalves, R., Secco, C. B., Cerri, D., Batista, F.: Behaviour of ultrasonic wave propagation in presence of holes on Pequia (*Aspidosperma desmanthum*) wood, Ferenc D (ed.): Proceedings of the 17th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 2011, pp. 159-165.
- [18] Goncz, B., Divos, F., Bejo, L.: Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements, European Journal of Wood and Wood Products, 2018, Vol. 76, No. 2, pp. 679–686. doi:10.1007/s00107-017-1225-4.
- [19] Guerrero, C. C., Herbias, A. E., Nunez, D. J. A., Saiz de Gonzalez, O. J. A.: Relevance of resistance drilling method and computer-based mapping in street tree management interventions in Madrid (Spain), Ferenc D (ed.): Proceedings of the 17th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 2011, pp. 199-206.
- [20] Guo, L., Chen, J., Cui, X., Fan, B., Lin, H.: Application of ground penetrating radar for coarse root detection and quantification: a review, Plant and Soil, 2013, Vol. 362, pp. 1–23.
- [21] Hirano, Y., Dannoura, M., Aono, K., Igarashi, T., Ishii, M., Yamase, K., Makita, N., Kanazawa, Y.: Limiting factors in the detection of tree roots using ground-penetrating radar, Plant Soil, 2009, Vol. 319, pp. 15–24, doi: 10.1007/s11104-008-9845-4

- [22] Hruska, J., Cermak, J., Sustek, S.: Mapping tree root systems with ground-penetrating radar, *Tree Physiology*, 1999, Vol. 19, pp. 125-130.
- [23] Iwase, J., Sato, Y., Comparini, D., Masi, E., Mancuso, S., Kawano, T.: Non-invasive Acoustic Sensing of Belowground Wooden Tissues: Possible Application to Spatial Mapping of Soil Usage by Tree Roots, *Environmental Control of Biology*, 2015, Vol. 53, No. 3, pp. 175-179, doi: 10.2525/ecb.53.175
- [24] Johnstone, D. M., Moore, G., Tausz, M., Nicolas, M.: The measurement of wood decay in landscape trees, *Arboriculture and Urban Forestry*, 2010, Vol. 36, No. 3, pp. 121–127, doi: 10.48044/jauf.2010.016
- [25] Krisans, O., Matisons, R., Vuguls, J., Seipulis, A., Samariks, V., Saleniece, R., Jansons, A.: The Destructive Static Tree-Pulling Test Provides Reliable Estimates of the Soil–Root Plate of Eastern Baltic Silver Birch (*Betula pendula* Roth.), *Plants*, 2022, Vol. 11, No. 11, Article 1509, doi: 10.3390/plants11111509
- [26] Larsson, B., Bengtsson, B., Gustafsson, M.: Nondestructive detection of decay in tree, *Tree Physiology*, 2004, Vol. 24, No. 7, pp. 853–858, doi:10.1093/treephys/24.7.853.
- [27] Lin, C.-J., Huang, Y.-H., Huang, G.-S., Wu, M.-L.: Detection of decay damage in iron-wood living trees by nondestructive techniques, *Journal of Wood Science*, 2016, Vol. 62, pp. 42–51, doi:10.1007/s10086-015-1520-9.
- [28] Linhares, C. S. F., Goncalves, R., Martins, L. M., Knapic, S.: Structural Stability of Urban Trees Using Visual and Instrumental Techniques: A Review, *Forests*, 2021, Vol. 12, No. 12, Article 1752, <https://doi.org/10.3390/f12121752>
- [29] Liu, Y., Li, D., Qian, J., Di, B., Zhang, G., Ren, Z.: Electrical impedance spectroscopy (EIS) in plant roots research: a review, *Plant Methods*, 2021, Vol. 17, Article 118.
- [30] Lukács, Z.: Faápolás. Garden Kft., 2020, Budapest
- [31] Martin, T.: Complex Resistivity (CR) of Wood and Standing Trees, NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering, 2020.
- [32] Mattheck, C., Breloer, H.: *Handbuch der Schadenskunde von Bäumen*, Rombach Verlag, 2020, Freiburg im Breisgau
- [33] Muller, U., Bammer, R., Halmschlager, E., Wimmer, R.: Detection of fungal wood decay using magnetic resonance imaging, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2001, Vol. 59, pp. 190–194. doi:10.1007/s001070100202.
- [34] Nirbito, W., Ardianto, A., Ramadhan, M. S., Dhelika, R.: Validation of strength and flexibility of sengon (*Paraserianthes falcataria*) by experimental tree-pulling test and numerical simulation, *Journal of Applied Engineering Science*, 2019, Vol. 17, No. 4, pp. 443-448, doi: 10.5937/jaes17-22021
- [35] Ostrovsky, R., Kobza, M., Gazo, J.: Extensively damaged trees tested with acoustic tomography considering tree stability in urban greenery, *Trees*, 2017, Vol. 31, pp. 1015–1023, doi:10.1007/s00468-017-1526-6.
- [36] Ow, L. F., Harnas, F. R., Indrawan, I. G. B., Sahadewa, A., Sim, E. K., Rahardja, H., Leong, E. C., Fong, Y. K., Tan, P. Y.: Tree-pulling experiment: an analysis into the mechanical stability of rain trees, *Trees*, 2010, Vol. 24, pp. 1007-1015, doi: 10.1007/s00468-010-0470-5
- [37] Qiu, Q., Qin, R., Lam, J. H. M., Tang, A. M. C., Leung, M. W. K., Lau, D.: An innovative tomographic technique integrated with acoustic-laser approach for detecting defects in tree trunk, *Computers and Electronics Agriculture*, 2019, Vol. 156, pp. 129–137, doi: 10.1016/j.compag.2018.11.017.
- [38] Schubert, S., Gsell, D., Dual, J., Motavalli, M., Niemz, P.: Acoustic wood tomography on trees and the challenge of wood heterogeneity, *Holzforschung*, 2009, Vol. 63, No. 1, pp. 107–112, doi: 10.1515/HF.2009.028.
- [39] Secco, C. B., Goncalves, R., Cerri, D. G. P., Vasques, É. C., Batista, F. A. F.: Behavior of ultrasonic waves in wood with presence of holes, *CERNE*, 2012, Vol. 18, No. 3, pp. 507-514, <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000300019>
- [40] Senalik, C. A., Schueneman, G., Ross, R. J.: *Ultrasonic-Based Nondesctrutive Evaluation Methods for Wood: a primer and historical review*, General Technical Report FPL-GTR-235, Madison, WI: U.S., 2014, Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 31 p.
- [41] Shigo, A. L.: *Modern arboriculture*, Shigo and Trees Associates, 1991, Durham USA. 424 p.
- [42] Soge, A. O., Popoola, O. I., Adetoyinbo, A. A.: A four-point electrical resistivity method for detecting wood decay and hollows in living trees, *European Journal of Wood and Wood Products*, 2019, Vol. 77, pp. 465–474. doi:10.1007/s00107-019-01402-1.
- [43] Soge, A. O., Popoola, O. I., Adetoyinbo, A. A.: Detection of wood decay and cavities in living trees: a review, *Canadian Journal of Forest Research*, 2021, Vol. 51, No. 7, pp. 937–947, [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2020-0340](https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0340)
- [44] Zakaria, Z., Mansor, M. S. B., Rahim, R. A., Balkhis, I., Rahiman, M. H. F., Rahim, H. A. Y. S.: Magnetic induction tomography: a review on the potential application in agricultural industry of Malaysia, *Journal of Agricultural Science*, 2013, Vol. 5 No. 9, pp. 78, doi:10.5539/jas.v5n9p78