

Doktori (PhD) értekezés
Soproni Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Bódig József Roncsolásmentes Faanyagvizsgálati Laboratórium
Vezető: Dr. Csóka Levente

Doktori program: Faanyagtudomány

BÜKK ÁLGESZT KIMUTATÁSA ELEKTROMOS MÉRÉS SEGÍTSÉGÉVEL

Készítette: Göncz Balázs

Témavezetők:

Prof. Dr. Divós Ferenc
egyetemi tanár
és

Dr. Németh László
címzetes egyetemi docens

Sopron
2018

BÜKK ÁLGESZT KIMUTATÁSA ELEKTROMOS MÉRÉS SEGÍTSÉGÉVEL

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
*a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák
Doktori Iskolája
Faanyagtudományok programja

Írta:
Göncz Balázs

**Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és
Technológiák Doktori Iskola

Faanyagtudományok programja keretében

Témavezető: Prof. Dr. Divós Ferenc és Dr. Németh László, címzetes egyetemi docens

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton %-ot ért el,

Sopron,
Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen / nem)

Első. bíráló (Dr.) igen / nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen / nem
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen / nem
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el

Sopron,
Bírálbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése
EDT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a(z) című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezető(i)met, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2018. március 21.

.....
doktorandusz

BÜKK ÁLGESZT KIMUTATÁSA ELEKTROMOS MÉRÉS SEGÍTSÉGÉVEL

KIVONAT

A doktori disszertáció a bükkfa (*Fagus sylvatica* L.) álgeszt fakitermelés előtti állapotban, feszültség-, és ellenállásmérésen alapuló roncsolásmentes faanyagvizsgálati technikák alkalmazásával történő detektálására vonatkozó kutatásokat mutatja be. Ez a fahiba a kutatás kiindulópontja, mivel a feldolgozásra, értékihozatalra, késztermékként történő hasznosításra jelentős hatást gyakorol. A kutatás az iparilag még hasznosítható, egészséges álgeszt vizsgálatára koncentrált. Mindemellett a fahiba számos megjelenési formájával kapcsolatosan gyűjtöttünk információkat.

A mérések több szakaszban kerültek elvégzésre, a kutatás éppen aktuális fázisa alapján. Kezdeként négy érzékelővel ellátott feszültségmérési technikát alkalmaztunk. A cél egy igen/nem alapú detektálás, valamint a hozzá tartozó vizsgálati módszer továbbfejlesztésére irányult. Kiszélesítve a mérések lehetőségeit egy 24 érzékelési ponttal működő impedancia tomográfot használtunk a fatest belső vezetőképességi viszonyainak minél pontosabb feltérképezése céljából. Az álgeszt ugyanis jó vezető része a fatestnek, így a megváltozott vezetőképességi eloszlásokból további következtetéseket tudunk levonni a fahibával kapcsolatban.

Összesen 101 egyed került megvizsgálásra a Soproni-hegység különböző területein, főként élőfa formájában. A közvetlen összehasonlíthatóság érdekében a fakitermelések időszakában végeztünk méréseket a törzsek mentén különböző mérési magasságokban, vizsgálva a fahiba átmérővel, hosszanti lefutásával, külső jegyekkel, környezettel kapcsolatos összefüggéseit is.

Az álgeszt jelenlétét valamennyi mérési technikával sikerült kimutatni. A feszültségmérésen alapuló módszerrel viszonylag egyszerűen kimutatható a megléte, mindemellett sikerrel alkalmaztuk az impedancia tomográfiát a fahiba térbeli kiterjedésének, hosszanti lefutásának feltérképezésére. Nagyon jó képet kaptunk a fatesthez való viszonyáról, kialakulásának lehetséges okairól.

A fahibát az egészséges faanyaghoz viszonyítva kisebb, egyharmad mértékű feszültség-, és ellenállásértékek jellemzik. Az egészséges faanyaghoz képest megváltozott impedancia eloszlásokat figyelhetünk meg a keresztmetszeten.

DETECTING RED HEART IN BEECH (FAGUS SYLVATICA) BY ELECTRIC IMPEDANCE MEASUREMENT

ABSTRACT

This doctoral dissertation submits researches concerning to detect red heart in beech (*Fagus sylvatica* L.) using non-destructive electrical voltage and resistance measurements. This wood defect is the starting point of the research namely it has a great effect on processing beeches, on its value and on using it as an end-product. This research concentrate on industrial usable, red hearted beech but there were collected information about numerous forms of this wood defect, too.

Measurements were made in several steps on the basis of the current phase of this research. As beginning a 'simple electric tool' with four electrodes was used. The goal was a yes/no detection and the development of this method as well as to get known the possibilities of its practical uses. Later, there were used an impedance tomograph consisting 24 electrodes to detect more exactly the conductivity in wood inside. Red heart has a good conductivity part of the wood therefore further conclusions can be drawn about red heart from the changed conductivity distributions.

Altogether 101 entities were examined in the mountains of Sopron mainly, live wood. To be able to compare them directly, measurements were made in period of cutting woods. Measurements were made along the trees in different tallness examining the relations between the diameter, longitudinal, external characteristics and environmental factors of red heart.

The presence of red heart could be detected with all measurement methods. With the method based on voltage measurements, red heart can be detected relatively simply. In addition, the impedance tomograph was used with success to create a 3D-map about the longitudinal extension of red heart. We got a clear picture about red heart relating to the wood and about the possible reasons of its development.

Red heart is characterised in compare to the normal wood with less, one third of voltage and resistance values. In compare to the normal wood changed impedance distributions can be noticed on the diameter.

Tartalom

1	BEVEZETÉS – A KUTATÁSI TÉMA JELENTŐSÉGE	11
1.1	Célkitűzések	13
1.2	A dolgozat felépítése	14
2	A KUTATÓMUNKA ELMÉLETI HÁTTERE	15
2.1	Az álgeszt	15
2.1.1	Keletkezése, kialakulása	15
2.2	Az álgeszt hosszanti lefutása, formája	19
2.2.1	A bükk gesztjének osztályozása	21
2.2.2	Kísérletek az álgeszt detektálásával kapcsolatban.....	24
3	VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	31
3.1	A vizsgálatok helyszínei, nehézségei	31
3.2	Kimutatható-e a fahiba elektromos műszer segítségével?	33
3.2.1	Módszerek	33
3.2.2	Eredmények	36
3.2.3	Következtetések.....	37
3.3	Az eredmény egyezik-e a korábbi eredményeinkkel?	37
3.4	Milyen új információkkal szolgál az impedancia tomográfia alkalmazása?	38
3.4.1	Módszerek	38
3.4.2	Mérés kivitelezése a gyakorlatban.....	41
3.4.3	Eredmények	42
3.4.4	Következtetések.....	44
3.5	A fatörzs geometriája hatással van-e az eredményeinkre?	45
3.5.1	Módszerek	45
3.5.2	Eredmények	45
3.5.3	Következtetések.....	49
3.6	A törzs mentén hol kapjuk a legmegbízhatóbb eredményt?	49
3.6.1	Módszerek	49
3.6.2	Eredmények	50
3.6.3	Következtetések.....	62
3.7	Feltárható-e a fahiba kialakulása során szerepet játszó bármilyen tényező?	63
3.7.1	Módszerek	63
3.7.2	Eredmények	63
3.8	A vizsgálatok megbízhatóan kivitelezhetők-e kitermelt faanyag esetében is, vagy kizárólag élőfán alkalmazhatóak sikerrel?	65
3.8.1	Módszerek	65
3.8.2	Eredmények	65
3.8.3	Következtetések.....	68
3.9	A fentiek mellett tapasztalhatók-e előre nem tervezett, járulékos eredmények? 69	
3.9.1	Módszerek	69
3.9.2	Eredmények	69
4	ÖSSZEGZÉS ÉS KITEKINTÉS	75
5	TÉZISEK	76
	THESE	77
6	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	78
7	IRODALOMJEGYZÉK	79
8	KUTATÁSSAL KAPCSOLATOS PUBLIKÁCIÓK, ELADÁSOK	89
	FÜGGELÉK	90

Ábrajegyzék

1. ábra: villás növésű bükk egyed.....	18
2. ábra: korhadt ághelyből kiinduló álgesztesedés	18
3. ábra: Az álgeszt hosszirányú megjelenési formái.....	20
4. ábra: álgeszt hosszanti lefutása.....	20
5. ábra: szabályos álgeszt.....	21
6. ábra: felhő alakú álgeszt	22
7. ábra: csillagos álgeszt	22
8. ábra: abnormális álgeszt	23
9. ábra: Az irodalomban alkalmazott mérési mintázatok, Sheffield-módszer	28
10. ábra: A Soproni hegység erdőterképe	31
11. ábra: „Kézi-feszültségmérő módszer” sematikus elrendezési vázlata	34
12. ábra: A palást mentén elhelyezkedő elektródák.....	35
13. ábra: a kézi műszer működés közben	35
14. ábra: A megvizsgált bükk egyedek keresztmetszetéhez viszonyított álgeszt részaránya a mért feszültség függvényében	36
15. ábra: Picus Treetronic műszer működési elve	38
16. ábra: Picus Treetronic műszerrel készített ellenállástérkép	40
17. ábra: Picus Treetronic műszer elektródái, és mérés közbeni állapota	42
18. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető impedancia tartomány az átmérő függvényében.....	43
19. ábra: impedancia tartomány mennyiségi eloszlása impedancia tartomány kategóriánként	43
20. ábra: A megvizsgált bükkegyedek esetén mérhető minimális impedancia az átmérő függvényében.....	44
21. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető minimális feszültség a kerület függvényében.....	45
22. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető maximális feszültség a kerület függvényében.....	46
23. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető minimális feszültség a kerület függvényében (álgesztes egyedek adatai).....	46
24. ábra: A megvizsgált biztosan egészséges bükk egyedek esetén mérhető minimális feszültség a kerület függvényében.....	47

25. ábra: A megvizsgált biztosan egészséges bükk egyedek esetén mérhető maximális feszültség a kerület függvényében.....	47
26. ábra: A mérhető feszültségtartomány a kerület függvényében.....	48
27. ábra: a 162/E/6 jelű bükkegyed 3d-s impedanciatérképe	50
28. ábra: a 162/E/16 jelű bükkegyed 3d-s impedanciatérképe	51
29. ábra: a 162/E/6, egy kontroll minta 162/E/33, és a 162/E/16 és növedékcsapjai.....	52
30. ábra: a 152-es erőrészlet 1-es minta 3D-s ellenállástérképe.....	54
31. ábra: a 152- es erőrészlet 1-es mintájának eredményei	54
32. ábra: a 152/2-es minta 3D-s ellenállástérképei.....	55
33. ábra: a 152/2-es minta ellenállástérképei.....	55
34. ábra: a 152/3-as minta 3D-s ellenállástérképei.....	56
35. ábra: a 152/3-as minta ellenállástérképei.....	56
36. ábra: A 152/2-es minta fajlagos ellenállástartománya a mérési szintek függvényében	58
37. ábra: A 152/1-es minta fajlagos ellenállástartománya a mérési szintek függvényében	58
38. ábra: A 152/3-as minta fajlagos ellenállástartománya a mérési szintek függvényében	59
39. ábra: az E épülettől nyugatra elhelyezkedő bükkfa eredményei 3D-s ábrázolással	59
40. ábra: Az E épülettől nyugatra elhelyezkedő bükkfa eredményei.....	60
41. ábra: a 131/A/1 minta hét megvizsgált szintjének ellenállástérképei	60
42. ábra: a 131/A/1 jelű bükkegyed 3D-s impedanciatérképe és fényképfelvétele.....	61
43. ábra: a 131/A/1 minta fajlagos ellenállástartománya a mérési szintek függvényében .	62
44. ábra: Villás növésű bükkfa elágazási szakasza, a fatestben álgesztes tartománnyal	64
45. ábra: Kéregbenövések, kéregsérülések a kialakult álgeszttel	64
46. ábra: Régi törzssérülést tartalmazó tőközei törzsszakasz bükkfa esetében	65
47. ábra: a 205/H/1 minta 3D-s ellenállástérképe.....	66
48. ábra: idegen testet benőtt 167/G bükk egyed és vizsgálata	69
49. ábra: villás növésű erdeifenyő ellenállástérképe	71
50. ábra: a 205-ös erdőrészlet erdészeti rakodóterülete.....	72
51. ábra: egy erdészeti rakodón található 3 m hosszú törzsszakasz alsó és felső vágáslapi álgesztformája.....	72
52. ábra: a 151/B/4-es és 151/B/5-ös minta vágáslapi fotója	73
53. ábra: a 151/B/53-as minta vágáslapi fotója	73

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Sheffield-módszer elektródakonfigurációja I.....	28
2. táblázat: Sheffield-módszer elektródakonfigurációja II.	29
3. táblázat: A „szemközi elektródák módszerének” elektródakonfigurációja I.	30
4. táblázat: A „szemközi elektródák módszerének” elektródakonfigurációja II.....	30
5. táblázat: a 162/E erdőrézlet 6-os számú bükkegyedének ellenállástérképei.....	50
6. táblázat: a 162/E erdőrézlet 16-os számú bükkegyedének ellenállástérképei.....	51
7. táblázat: a 140/E/1 egyed fotója és ellenállástérképe	52
8. táblázat: a 140/E/2 3D-s ábrája és ellenállástérképe	53
9. táblázat: a 152/3-as minta függőleges metszetei	57
10. táblázat: a 205/H/1 minta eredményei	66
11. táblázat: a 153/1-es minta erdészeti rakodón mért eredményei.....	67
12. táblázat: a 153/2-es minta erdészeti rakodón mért eredményei.....	67
13. táblázat: a 153/3-as minta erdészeti rakodón mért eredményei.....	68
14. táblázat: A 167/G/4 minta ellenállástérképe	70
15. táblázat: a 188/A/4-es minta fotója és ellenállástérképe	70
16. táblázat: a 151/B/53 minta álgesztméretei a törzsön belül elfoglalt pozíciója alapján.	74

*„Egy találmány születésének pillanata sohasem véletlen;
az emberek mindig csak azt találják fel,
amire szükségük van, és azt mindig fel is találják.”*

Szerb Antal

1 Bevezetés – a kutatási téma jelentősége

A bükkfa, mint értékes alapanyag előkelő szerepet tölt be napjaink faiparában. Kitűnő műszaki tulajdonságai, jó esztétikai jellemzői szerteágazó felhasználási lehetőséget biztosítanak. Az építészet és a bútoripar legkeresettebb fafaja: furnér, rétegelt lemez és tömörfa formájában is kiváló alapanyagnak minősül. A bükkfa egyik érdekes tulajdonságának köszönhetően a legegészségesebb háztartási fatömegcikknek is minősül, mivel nincsenek benne gesztesítőanyagok. Ugyanakkor szívóssága, rugalmassága miatt rendkívül jól alkalmazható pl. a sportszerek és szerszámnyelvek gyártásában is. A mai (2016. évben) hazai fakitermelés volumenének 10,2 %-át képviseli a bükk, éves szinten 675 ezer m³-t.¹

Azonban, mint szinte mindegyik fafaj, így a bükkfa sem mentes a fahibáktól. Ráadásul ezek többsége éppen vágásérett korban jelentkezik problémaként, melyek kihatással vannak a kihozatalra és ezzel együtt a későbbi felhasználási területekre, lehetőségekre. Nem utolsó sorban a faanyag értékére.

A bükk legjelentősebb, a feldolgozott faanyag minőségére, valamint piaci értékére legnagyobb hatást gyakorló fahibája az álgeszt. Befolyásolja az értékkihozatalt, jóllehet megfigyelhetőek bizonyos piaci trendek, melyek kifejezetten keresik az egészséges álgesztet tartalmazó faanyagot.

Régóta foglalkoztatja a kutatást végző szakembereket az álgeszt kialakulásának okai, erdőnevelési, környezeti tényezők hatásai, az adott termőhely sajátosságai, valamint a véghasználati kor egyre kijebb tolódása.

A fent említett okok miatt kiemelt helyen kell kezelnünk a kitermelés előtt álló egyedeken történő, roncsolásmentes faanyagvizsgálati technikákat alkalmazó, a faanyag állapotfelmérését célzó kutatásokat, vizsgálatokat. A roncsolásmentes faanyagvizsgálatok ugrásszerű fejlődésével lehetővé váltak egyre részletesebb, korábban nehezen, vagy

¹ http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ome003b.html

egyáltalán nem elvégezhető mérések is. Segítségükkel új távlatok nyílnak meg az anyagvizsgálatok területén.

Az elektromosságon alapuló faanyagvizsgálat az egyik ilyen technika, amely a mérés tárgyát képező faegyed károsítása nélkül nyújt betekintést a törzsön belül tapasztalható állapotokba úgy, hogy közben az életfolyamatokra nem vagyunk hatással, egyfajta pillanatfelvételt készítve a törzs belső részében uralkodó állapotokról.

Az elektromosságon alapuló vizsgálati módszerek előnyösen alkalmazhatóak a bükk faanyag esetében is, ahol számos korábbi próbálkozás tapasztalataira építve elmondhatjuk, hogy ez számít a gyakorlatban is kivitelezhető álgeszt kutatás legmegfelelőbb eszközének.²

Használatával közelebb juthatunk a lehetséges ok-okozati összefüggések megértéséhez, melyek segítségével közvetett úton hatással lehetünk az értékkihozatal javítására, illetve a jövőbeni mérések, kutatások irányvonalának kijelölésére.

Jelen disszertációban alkalmazott kutatási terv összeállításánál a fentieket figyelembe véve az elektromos feszültség- és impedanciamérést alkalmazó roncsolásmentes faanyagvizsgálati technikák szolgáltatták a kiindulópontot.

² lásd: 2.1.4-es fejezet

1.1 Célkitűzések

- I. A kutatás elsődleges célja az volt, hogy *elektromosságon alapuló roncsolásmentes módszerekkel*, vágásérett bükkfákban kimutassuk az *álgeszt egészséges és egyéb lehetséges formáit*.
- II. További célként tűztük ki a kutatás során alkalmazott *méréseket befolyásoló tényezők* feltérképezését, illetve e tényezők méréseinkre gyakorolt hatásainak megismerését. Elsősorban a vizsgált *faanyag átmérőjére*, valamint az egyes fatörzseken alkalmazott *mérési magasság befolyásoló hatásaira* koncentráltunk.
- III. Kiemeltük az *álgeszt kialakulására vonatkozó információk gyűjtését* is, hogy választ kapjunk arra a kérdésre, miszerint a kutatás közben megfigyelhető tényezők a *fahiba kialakulásával kapcsolatba* hozhatóak-e vagy sem.
- IV. Kutatásunk kiterjedt a mérhetőség *gyakorlati kivitelezhetőségére* is: az alkalmazott mérési módszerek a már *kitermelt faanyag* esetében is elvégezhetőek-e, vagy *kizárólag élőfa* esetében alkalmazhatóak?
- V. Végül a kutatómunka célkitűzése volt minden olyan *egyéb tényező megismerése*, amely nagy valószínűséggel összefüggésben állhat a vizsgált fahiba *megjelenésével, kialakulásával, előfordulásával*, valamint *megjelenésének formájával*.

A célok eléréséhez alkalmazott kutatási terv a következő szakaszokra bontható:

I. Cél:

1. Kimutatható-e a fahiba elektromos műszer segítségével?
2. Ha igen, az eredmény egyezik-e a korábbi, a kísérlettervet megelőző eredményeinkkel?
3. Milyen új információkkal szolgálhat a kutatásaink során az impedancia tomográfia alkalmazása?

II. Cél:

4. A vizsgált faegyed geometriája hatással van-e az eredményeinkre?
5. A törzs mentén hol kapjuk a legmegbízhatóbb eredményt?

III. Cél:

6. Feltárható-e a fahiba kialakulása során szerepet játszó bármilyen tényező?

IV. Cél:

7. A vizsgálatok kivitelezhetőek-e kitermelt faanyag esetén is vagy kizárólag élőfán alkalmazhatóak?

V. Cél:

8. A fentiek mellett tapasztalható-e előre nem tervezett, járulékos eredmények?

A kutatómunka céljainak elérése érdekében 101 mintát vizsgáltunk meg a Soproni-hegységben jellemzően a téli fakitermelés időszakában.

1.2 A dolgozat felépítése

Jelen doktori disszertáció 2. fejezete foglalkozik részletesen a kutatás szakirodalmának bemutatásával. Összegzi az Olvasó számára a bükkfa álgesztesedésének kialakulásával, megjelenésével, illetve a detektálásával kapcsolatos szakirodalmi háttérrel. A 3. fejezetben kerül sor a kutatási terv, az alkalmazott módszerek, valamint az elért eredmények részletes bemutatására. Ezt követően az elért eredmények alapján a tézisek kerülnek megfogalmazásra az 5. fejezetben.

A disszertációt követően az Olvasó a függelékben az összes elvégzett mérés adatait, rövid kiértékelését, a vizsgálatok helyszíneit találja.

2 A kutatómunka elméleti háttere

A dolgozat jelen fejezete a kutatási téma szakirodalmát mutatja be részletesen. Elsőként a bükkfában (*Fagus sylvatica* L.) előforduló fahiba, az álgesztesedés, annak kialakulása, megjelenési formája, valamint osztályozása kerül ismertetésre. Ezt követően az álgeszt detektálására irányuló módszerek, első sorban az elektromosságon alapuló vizsgálatok kerülnek részletezésre. A szakirodalmi összefoglalás során a hazai, valamint a nemzetközi elméletek is bemutatásra kerülnek.³

2.1 Az álgeszt

A bükkfa (*Fagus sylvatica* L.) fahibái közül az álgesztesedés jelenti az egyik legnagyobb problémát a hazai bükkfa feldolgozásában. A definíció szerint a fatest nagyméretű, szabálytalan alakú elszíneződése, amely az évgyűrűhatárokat általában nem követi. Különösen hajlamos rá a bükkfa, főleg az idősebb törzseknél gyakori, de előfordul fiatalabb példányok esetében is. (MOLNÁR S., BARISKA M., 2002)

Az egészséges, normál álgeszt elsősorban esztétikai hibának tekinthető (MOLNÁR, 2006). Viszont, ha megnézzük a műszaki tulajdonságait, láthatjuk, hogy repedési és vetemedési hajlama a valódi geszthez képest magasabb. Nehezebb ragasztani is. Az ilyen fahibát tartalmazó faanyag viszont keményebb és tartósabb is. (MOLNÁR S., BARISKA M., 2002) Lényegi eltérés mindezek ellenére a műszaki felhasználhatóság szempontjából nem tapasztalható (APOSTOL, 2006).

Ha nem egészséges az álgeszt, pl.: szürke, vagy a csillagos álgeszt már gombafertőzött, korhadó faanyag, iparilag nem hasznosítható. (MOLNÁR S., BARISKA M., 2002)

2.1.1 Keletkezése, kialakulása

Az álgesztesedés a korrall összefüggő, fiziológiailag normális folyamat (BÍRÓ 2004). A kiváltó tényezők tekintetében az eddigi kutatásokban közreműködő szakemberek

³ A bükkfában előforduló jellegzetes fahibát, az álgesztet közel másfél évszázada számos kutató publikálta már. Hazai és nemzetközi publikációk, doktori munkák és kutatási eredmények sora született már e fahiba okainak feltárására, illetve roncsolásmentes detektálására. Jelen dolgozatnak nem célja a témában született teljes szakirodalom bemutatása, csupán a fahiba jellegzetességeit kívánja összefoglalni.

megállapításai tekintetében sok ellentmondást, valamint legalább ennyi egyezőséget találhatunk, viszont ezek összessége mai napig nem tisztázott teljes mértékben.

Jelen kutatás szempontjából kiemelt jelentőséggel bír, hogy a kialakulás folyamata során nagyobb kálium- és kalciumkoncentrációról, ezzel összefüggésben pedig nagyobb elektromos vezetőképességről beszélhetünk (BÍRÓ, 2004). Többek között ez a tény képezi a méréseink alapját.

Az alábbiakban a kutatásunk szempontjából releváns, az álgeszt megjelenését, méretét, kialakulását befolyásoló tényezőket tekintjük át.

2.1.1.1 Kor

A vizsgálat mintáját képező faanyag tekintetében az egyik legjelentősebb befolyásoló tényezőnek a faanyag korát tekinthetjük. Minél idősebb az adott faegyed, annál nagyobb valószínűséggel fordul elő benne az álgeszt.⁴

Az erdőgazdálkodási gyakorlat szemszögéből szintén az egyik leghangsúlyosabb kérdés. Több kutató is azt a nézetet vallja, hogy a kornak elsősorban a faegyed méreteire van jelentős hatása. Az álgesztesedés problémakörére lefordítva mindez azt jelenti, hogy az álgesztesedés mértékére nézve döntő jelentőségű a mellmagassági átmérő, így a kor ezen keresztül fejt ki a hatását (BÍRÓ, 2004).

Az, hogy mennyi idős korban fordul elő, illetve kezdődik az álgesztesedés, eltérő adatok találhatóak a szakirodalomban. Egyes források 80 évet, míg mások 100-120 évet említenek, azonban néhány esetben – amint azt saját kutatási tapasztalataink is igazolják - már 40 éves egyedekben, kis átmérő esetén is fellelhető az álgeszt.

Vizsgálataink során levonható következtetések szerint a 100 év körüli példányokban nagyon nagy valószínűséggel megtalálható a fahiba, szinte minden egyednél számolnunk kell a jelenlétével. Ugyanakkor jóval fiatalabb egyedekben, 30-40 éves törzseknél is találkoztunk vele igaz, kisebb számban, és a keresztmetszethez viszonyítva kisebb részarányban.

⁴ A kor és az álgeszt között számos kutató mutatott ki összefüggést, többek között: Hermann (1902), Mayer-Wegelin (1944), Fröchlich (1951), Zycha (1948), Moll (1949), Racz et al. (1961), Becker et al. (1989.), Ziegler 1968, Bosshard 1974.

2.1.1.2 Átmérő

Az átmérő növekedésével egyértelműen növekszik az álgeszt előfordulásának gyakorisága. Ennél nagyobb probléma viszont, hogy a keresztmetszethez viszonyított részaránya szintén növekedésnek indul a kor előrehaladtával. Egyes szerzők a törzsátmérő szerepét illetően messzemenően egyező eredményeket kaptak.⁵

RACZ ET AL. (1961) vizsgálatában 65 cm-es törzsátmérő felett már minden törzsgesztesedett. KELLER (1961) 35 cm-es átlagos mellmagassági átmérőnél figyelte meg az álgesztesedés megjelenését. KLEMMT (1996) megállapította, hogy ugyanolyan átmérőjű, de idősebb törzsek esetében nagyobb az álgesztesedés megjelenésének valószínűsége. BÍRÓ szerint (2004) a Zselicség erdőgazdasági tájban 25 cm-es törzsátmérőnél már megfigyelhető volt 1-2 cm-es álgeszt-kiterjedés.

Saját méréseink során megállapítottuk, hogy a Soproni-hegység erdőterületein már 30 cm-es átmérőtől felfelé megfigyelhető volt a fahiba. A minták között leggyakoribb, 60 cm feletti átmérőtartományban a területi kiterjedése messze meghaladta a fiatalabb példányokét.

2.1.1.3 Morfológiai bélyegek

A bükkfa esetében bizonyos törzs- és kéregjellemzőket szignifikáns befolyásoló tényezőként tart a szakirodalom számon⁶ (vö. BÍRÓ, 2004).

Számos szerző a törzselágazásokat álgesztesedést kiváltó okaként értékeli (vö. BÍRÓ, 2004). A kutatási terv végrehajtása során szerzett tapasztalatok szintén ezt támasztják alá. A villás növésű egyedek (1. ábra) esetében jóval nagyobb mennyiségben, szinte kivétel nélkül, mindegyik ilyen mintánál előfordult az álgesztesedés. A villás növekedésnél, a két elágazás találkozásánál megváltozik a kéreg felépítése, kedvezve ezzel a nedvesség, nyirkosság jelenlétének, fennállásának, mely tényező az idő előrehaladtával károsodást indít el a fatörzsben a talaj irányába.

⁵ Többek között: Keller 1961, Racz et al. 1961, Vasiljevic 1974, Torelli 1979, Becker et al. 1989, Bues et Schulz 1989, Höwecke 1991, Mahler et Höwecke 1991, Rumpf et al. 1994, Fritsche 1995, Frank 1996, Klemmt 1996, Büren 2002, Hupfeld et al. 1997, Bíró 2004.

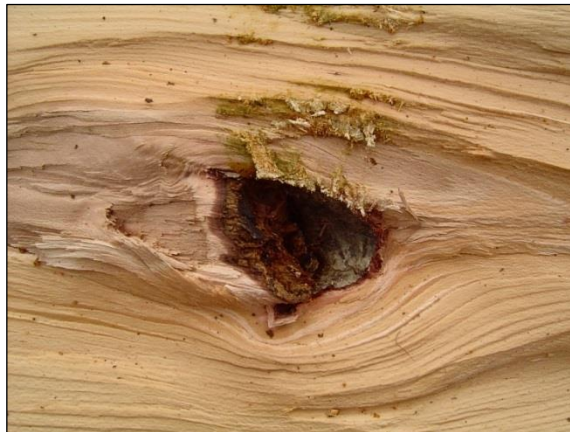
⁶ Többek között: Herrmann 1902, Raunecker 1956, Keller 1961, Kreml et Mark 1962, Klemmt 1996, Büren 2002.



1. ábra: villás növésű bükk egyed

„A korhadt- és egészséges göcsök, ágbenövések szerepét illetően megoszlik a kutatók véleménye. Nagyobb létszámmal bírnak azok a szerzők, akik kiváltó okként jelölik az ágcsonkok meglétét.”⁷ (BÍRÓ, 2004)

A 2. ábrán látható (saját forrásból származó) fotón korhadt ághelyből kiinduló álgesztet láthatunk. A mérések során a fent említett szerzőkkel egyező álláspontra jutottunk, a vizsgálati területeken a fahiba ilyen jellegű előfordulása nagyon gyakori volt.



2. ábra: korhadt ághelyből kiinduló álgesztésedés

⁷ Többek között: Jaroschenko 1935, Gaumann 1946, Necesany 1960, Keller 1961, Krempf et Mark 1962, Gadow 1989, Kucera 1991, Rumpf et al. 1994, Bíró 2004), Leskó in Fírbás (1985). Ezzel szemben Hupfeld et al. (1997) nem találtak összefüggést az álgeszt és az ágcsonkok között.

2.1.1.4 Állománynevelés

Ebben a témakörben szintén jelentős eltérést tapasztalhatunk az egyes szerzők megállapításai tekintetében.

KLEIN (1992) szerint a hegyvidéki bükkök túltartása veszélyes álgesztesedési szempontból. A Soproni – hegységben jellemző erdőgazdálkodási gyakorlat eredménye szintén egybevág ezzel. Az erdőgazdaságban dolgozó szakemberek jelentős részének véleménye szintén megegyező. A legtöbb erdőrészletben talákoztunk ezzel a problémával, ha megnézzük az álgeszt kialakulásának sebességét, valamint a kialakult álgeszt területarányát a teljes keresztmetszethez képest, ráadásul egyre több a túltartott állomány, melyek együttes következményeképpen egy-egy egyednél rendkívül nagyméretű fahibával találkozunk.

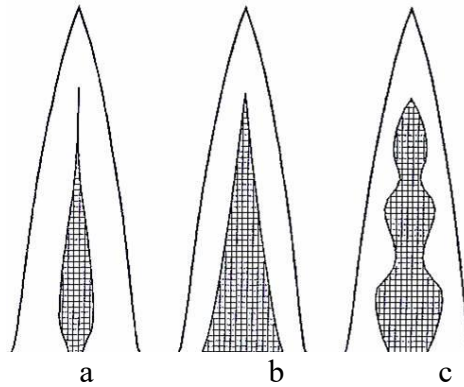
Érdekes azonban, hogy RAUNECKER (1956), RAUSCH (1960) és v. GADOW (1989) az általuk vizsgált középerdőkből hatalmas méretű, mélyen ágas bükköket találtak, melyek teljesen álgesztmentesek voltak. TORELLI (1979) is hasonló következtetésekhöz jutott: „Vékony, alacsony és mélyen ágas bükkök a legrosszabb minőségű termőhelyeken is, laza szerkezetű állományokban (erdőszegélyek) még 180 éves kort elérve sem fejlesztettek álgesztet.” (vö. BÍRÓ, 2004 és HOFFMANN, 2006)

Ezzel a megállapítással valamelyest összhangban áll az a tény, hogy a vizsgálataink során a Soproni-hegység nyugati, fagyzugos vizenyős területein hasonlóan nagyméretű, rövid törzsű bükkegyedek szintén nagyon nagy számban álgesztmentesek voltak.

2.2 Az álgeszt hosszanti lefutása, formája

Az álgeszt hosszirányú lefutásában, térbeli kiterjedésében megfigyelhető bizonyos mértékű szabályosság. RACZ ET AL. (1961) szerint a törzs axiális tengelyével párhuzamos lefutás alapján három alaptípust különíthetünk el:

- orsóalakot
- kúpalakot
- a szabálytalan kontúrú lefutást (3. ábra).



3. ábra: Az álgeszt hosszirányú megjelenési formái (RACZ ET AL. 1961):
a: orsó alakú b: kúpalakú és c: szabálytalan lefutású

Az orsó alakú álgesztnak kb. 6 m-es magasságban legnagyobb a kiterjedése. A tő felé haladva gyorsabban szűkül, mint a korona felé. Ez a leggyakoribb álgesztforma.⁸

A kúpalakú álgeszt a tőnél a legszélesebb. Innen a korona felé egyre csökken a kiterjedése.

A szabálytalan lefutású álgeszt – mint a nevéből is adódik – nem köthető jellegzetes formai jegyekhez. BÍRÓ (2004) szerint ez a fajta lefutás akkor következik be, ha a különböző gesztípusok vegyesen találhatók meg a törzsben, és ezek váltakozása eredményezi a nem szabályos formát.

A soproni erdőszetnél végzett tapasztalataink szerint az orsó és a kúp alakú (4.ábra) álgesztlefutás volt megfigyelhető, nagyságrendileg egyenlő megoszlásban. Viszont gyakran tapasztaltunk a szabálytalan hosszanti lefutást, ahol a vágáslapon nem, míg 3 m-es magasságban már közepes kiterjedésű fahibát találtunk.⁹



4. ábra: álgeszt hosszanti lefutása

⁸ A következő szerzők a leggyakoribb típusként az orsóalakot jelölték meg: Larsen (1943), Zycha (1953), Krempl et Mark (1962), Mahler et Höwecke (1991), Seeling et Sachsse (1992), Kotar (1995). (vö. BÍRÓ, 2004 és Hoffmann, 2006)

⁹ A legjellegzetesebb ilyen mintánk a 151_B/4-es és 151_B/5-ös jelűek.

2.2.1 A bükk gesztjének osztályozása

A bükk színes gesztje a megjelenési formája MAHLER ET. HÖWECKE (1991) szerint¹⁰ az alábbi típusok valamelyikébe sorolható:

- nincs színes geszt (fehér bükk)
- szabályos álgeszt (vörös geszt)
- felhő alakú álgeszt
- csillagos álgeszt
- szabálytalan álgeszt (pillangó alakú/aszimmetrikus)
- abnormális geszt

2.2.1.1 Szabályos álgeszt



5. ábra: szabályos álgeszt

Vörösesbarna színű, az évgyűrűket általában nem követő, viszont megközelítőleg kör alakú elszíneződés. Teljesen eltérő színárnyalatú a körülötte elhelyezkedő faanyaghoz képest (5. ábra). A színe változó lehet, de minden esetben sötétebb az őt körülvevő faanyagnál. Kialakulását összefüggésbe hozták egyes szerzők¹¹ a rendkívül hideg időjárással is (vö. BÍRÓ, 2004).

¹⁰ A dolgozat során ez az osztályozási forma kerül bemutatásra eltekintve a más szerzők által alkalmazott egyéb tipológiai besorolásoktól.

¹¹ A következő szerzők találtak összefüggést az álgeszt és a fagykárak között: Ille 1930, Rohde 1933, Bittmann 1930, Mörath 1931, Larsen 1943, Mayer-Wegelin 1944, Zycha 1948, Liese 1930 b, Münch 1931, Podhorsky 1932. (vö. BÍRÓ, 2004 és Hoffmann, 2006)

2.2.1.2 *Felhő alakú álgeszt*



6. ábra: felhő alakú álgeszt

A 6. ábrán látható a fodros, hullámos szegélyű fahiba. Úgy tűnik, mintha lépcsőzetesen egymásra rakódnának a rétegei, innen kapta a nevét is. Megfigyelhető továbbá az egyenetlen színeloszlás is. Sötét és világos részek váltogatják egymást, teljesen szabálytalanul. Az egészséges álgesztnél általában nagyobb méretű (vö. KREML ET MARK, 1962).

2.2.1.3 *Csillagos álgeszt*



7. ábra: csillagos álgeszt

A 7. ábrán látható változatot teljesen szabálytalan határvonal jellemzi, az összhatás csillagszerű. A csillagos álgeszt megjelenése is több tényező egymásra hatására vezethető vissza, melyek összessége extrém helyzetet jelent a fa számára, azonban ezek az okok még

nem tisztáztak teljes egészében (BÍRÓ, 2004). Megfigyeléseink szerint nagyobb kiterjedésű, mint a vörös geszt és a törzs szinte teljes hosszában megtalálható – ez egybevág WALTER ET KUCERA (1991) szerzők tapasztalatival is. Összehasonlítva a vörös geszttel, a csillagos álgeszt meglete nagyobb mértékben torzítja a fa felhasználhatóságát befolyásoló fizikai tulajdonságait, ezen keresztül az értékihozatalt (BÍRÓ, 2004).

2.2.1.4 Abnormális geszt

„Az abnormális geszt alakja és színe hasonlít a gyakran elforduló csillagos álgeszthez, jellemző különbség mindenesetre a kellemetlen szag és a határoló zóna fekete elszíneződése, ami az abnormális gesztnél röviddel a döntés után fellép” (BÍRÓ, 2004).

„A geszt sötét szélső zónájában fokozott mértékű a nedvességtartalom (SACHSSE ET FERCHLAND 1988; MEHRINGER 1989, WALTER ET AL. 1991), valamint a szövetek szélsőségesen nagymértékű tilliszedése figyelhető meg (SACHSSE, 1991). A fanyar vajsavas szag ugyancsak a sötét szélső zónából származik és baktériumokra vezethető vissza, amelyek ebben a sávban igen gyakran jelennek meg (MEHRINGER, 1989; SCHMIDT ET MEHRINGER, 1989). A csillagos álgeszthez hasonlóan drasztikus értékvesztés következik be. Az abnormális geszt képződésének jelenleg egyetlen kiváltó tényezője sem ismert.” (BÍRÓ, 2004)



8. ábra: *abnormális álgeszt*

A (saját forrásból származó) 8. ábrán látható abnormális geszttel csak néhány esetben találkoztunk. Az ilyen bükk mintáinknál minden esetben a palást több pontján megtalálható erőteljes kéregsérülést figyeltünk meg.

2.2.2 Kísérletek az álgeszt detektálásával kapcsolatban

Az álgeszt keletkezését kiváltó okok megismerésére már korábban is számos vizsgálat irányult, beleértve az elmúlt évtizedeket is. WERNSDÖRFER ET AL. (2005) részletesen mutatja be az eddig elvégzett kísérleteiket. KNOKE (2002) szintén alapos áttekintést adott az álgeszt kialakulásával kapcsolatban, és arra a következtetésre jutott, hogy csak úgy nyílik lehetőségünk a faanyag rendellenes elszíneződésének gyakoriságát csökkenteni, ha az álgeszt minden lehetséges megjelenési formájának információit megismerjük. Megjegyezte, hogy a roncsolásmentes módszerek még nem eléggé kiforrottak ahhoz, hogy tájékoztatást nyújtsanak a korai álgesztképződésről.

A legnagyobb akadálya az álgeszt roncsolásmentes kimutatásának, hogy az egészséges álgeszt – ellentétben egyéb belső elváltozásokkal - nem befolyásolja jelentős mértékben a fa mechanikai jellemzőit (PANSIN és DEZEUEW, 1980). Emiatt a hanghullám alapú módszerek kevésbé hatékonyak az egészséges álgeszt kimutatására. Az álgesztes bükk elektromos vezetőképessége azonban jelentős mértékben eltér az egészséges fától. (vö. GÖNCZ ET AL., 2017)

A számos kutató alkalmazott már elektromos vezetőképesség, ill. ellenállásmérést a bükk faanyag vizsgálatához már az 1970-es években is (SKUTT ET AL., 1972). SHIGO és SHIGO (1974) szerzők egy olyan eszközt készítettek, amely alkalmas az elszíneződés detektálására élőfák esetében is. Bár a módszer alkalmazása sikeres volt, a mérés kivitelezése meglehetősen fáradságos munkával járt, így nem terjedt el.

1969-ben az Erdészeti és Faipari Egyetemen is folytak kutatások a fák elektromos potenciáljai témakörében (CSANÁDY, 1969). Elsősorban a növényi szövetek potenciálértékei a növekedéssel, csapadékmennyiséggel, keresztmetszetben elfoglalt helyével összefüggésben sikerült úttörő kutatást végrehajtani.

A közelmúltban vált gyakoribbá az elektromos impedancia tomográfia élőfákon való tesztelésére, alkalmazása. Az első ilyen vizsgálatok JUST és JACOBS kísérletei voltak 1998-ban, de az eszköz technikai alkalmazása (DUBBEL ET AL. 1999, BIEKER és RUST 2010a) a bükk és álgesztes bükk esetében (WEIHS ET AL. 1999, HANSKÖTTER 2004). (vö. GÖNCZ ET AL., 2017)

RUST ÉS GÖCKE (2007) kombinálta az elektromos impedancia tomográfiát és az akusztikus tomográfiát, ez lett a PiCUS Treetonic rendszer. Módszereik még részletesebb

információkat szolgáltatottak, és lehetővé tették a különböző belső hibák jobb különválaszthatóságát, amint ezt a későbbi vizsgálatok is megerősítették (pl. BRAZEE ET AL. 2011). Az impedancia tomográfia másik érdekes változata MARTIN tanulmánya (2009), aki komplex ellenállási méréseket alkalmazott (azaz különböző AC frekvenciák tartományát használva) ugyanazon minta ellenállásának mérésére. Jó hatékonysággal alkalmazta a módszert a korhadás kimutatására élő fák esetében. (vö. GÖNCZ ET AL., 2017)

Az elektromos impedancia tomográfiában rejlő lehetőségek részletes információkat szolgáltathatnak a fatörzsben lévő állapotokról, többek között a korhadásról, mely vizsgálati típus számos tanulmányban megtalálható. Bizonyos hátrányokkal azonban számolnunk kell a technika a használata esetében. Mivel nagyszámú érzékelőt és kifinomult elektromos áramkört igényel, megdrágítják a műszerösszeállítást. A kutatások tervezésénél számolnunk kell ezzel. A mérések ráadásul hosszú időt vesznek igénybe, így a fenti tényezőkkel együtt felvetik a műszer alkalmazásának mérlegelését.

A kutatók elektromos vezetőképességi méréseket is alkalmaznak lábon álló fák korhadásának kimutatására, négy elektródát alkalmazva (LARSSON ET AL., 2004). Az érzékelők ebben az esetben a fa hossz tengelye mentén vannak elosztva. A korhadt fa csökkent ellenállásának kihasználásával kimutathatóvá tették a gyökér korhadását lucfenyő esetében nagy pontossággal, bár a szerzők megjegyzik, hogy sok környezeti tényező befolyásolja a méréseket, és megbízhatósága függ azonos feltételek mellett megtalálható egészséges fákkal való összehasonlítástól. (vö. GÖNCZ ET AL., 2017)

A Rotfinder® eszközt svéd és dán kutatók fejlesztették ki hasonló elv alapján, és leginkább a tűlevelű fák korhadását mutatják ki (ROMERALO, 2010). A szakirodalomban nem egyértelmű, hogy az álgeszt különböző típusai különböznek a nedvességtartalom és elektromos vezetőképesség vonatkozásában.¹² BÜREN (2002) eredményei azt mutatják, hogy az álgesztes bükk kb. négyszer magasabb vezetőképességgel bír, mint a szijácsfa és körülbelül kétszer akkora, mint a nem színes geszt. Sajnos más művek kevésbé meggyőzőek. WEIHS ET AL. (2001) használták az impedancia tomográfiát, de csak a rendellenes (beteg) geszt típusok kimutatására. HANSKÖTTER (2004) arra a következtetésre jutott, hogy csak egy speciális típusú álgeszt, ún. "nedves geszt" alkalmas a kimutatásra. (vö. GÖNCZ ET AL., 2017)

¹² Jelen disszertáció során alkalmazott kutatási terv az egészséges álgeszt kimutatását célozta meg. Mindemellett az álgeszt minden lehetséges megjelenési formáját megvizsgáltuk és a kiértékelés során nem tettünk különbséget az egyes típusok között.

Vizsgálatunk célja egy új, gyakorlati módszer kidolgozása volt, amely segítségével felismerhetővé válik a fahiba jelenléte és meghatározása álló fák esetén, amely alapjául az egészséges és az álgesztes bükkfa, valamint az egészséges és a rendellenes faanyagrészek között vezetőképesség-különbség szolgált.

2.2.2.1 Az elektromos impedancia tomográfia alkalmazása a faanyagvizsgálat során

„Az EIT¹³ ötlete először JOHN G. WEBSTER 1978-as publikációjában jelent meg, azonban a gyakorlatban 1984-ben mutatták be BARBER ÉS BROWN munkájának eredményeként.” (VÍZVÁRI, 2015) Olyan környezetben alkalmazható vizsgálatra, ahol a folytonos rendszer elektromosan vezető.

„Az EIT során a tartomány határán elhelyezett elektródákon keresztül áthajtott elektromos áram által létrehozott elektromos tér tartománybeli anyagminőség szerinti alakulását vizsgálják. A tartomány határán kialakult elektromos potenciál értékek a fennmaradó elektródákon kerülnek mérésre, majd inverz algoritmus segítségével állítható vissza az ismeretlen vezetőképesség/ellenállás eloszlás.” (VÍZVÁRI, 2015).

A folyamat során az összes elektróda gerjesztésre és mérésre is használatra kerül. Az elektromos mező eloszlásának jellemzéséből következtetni lehet a tartományon belüli anyageloszlásra (VÍZVÁRI, 2015).

„Ez a folyamat az összes szomszédos elektródapáron megismétlődik, amíg az elektromos tér teljes fordulatot nem tesz. Egyszerűen belátható, hogy a független potenciálkülönbség mérések száma egy N elektródás rendszer esetében $L = N \frac{(N-3)}{2}$ a „szomszédos mérési módszer” esetében, ahol a gerjesztésre használt elektródapár ki van zárva a mérésből. Az áram megváltozása a mért rendszerrel szinkronban van és az Ohm-törvénnyel írható le.” (VÍZVÁRI 2015)

2.2.2.2 Az EIT fizikai alapjai

„Az EIT képalkotó rendszer áramgenerálása általában multi-frekvenciás, 3D képalkotási képességgel” (VÍZVÁRI, 2015).

¹³ EIT= Elektromos impedancia tomográfia (angol: electrical impedance tomography)

„Az EIT esetében, ahol a gerjesztés egyen-, a Maxwell-egyenletek a következőképpen alakulnak:

$$[1] \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}$$

$$[2] \nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{0}$$

$$[3] \nabla \cdot \mathbf{B} = \mathbf{0}$$

$$[4] \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

Az EIT mérés során használt maximális frekvencia általában 100 kHz, a mérés során a keletkező mágneses jelenségeket elhanyagoljuk, a [2] és [4] egyenletek számítanak az EIT mérés alapegyenleteinek. A [4]-ből következik a töltésmegmaradás törvénye, amennyiben a vizsgált térrész forrásmentes:

$$[5] \nabla \cdot \vec{\mathbf{J}} = \mathbf{0}$$

Ennek következtében létezik a következő potenciáltér, amelyre igaz, hogy

$$[6] \vec{\mathbf{E}} = -\nabla\phi$$

ahol a ϕ vektor-skalár függvény, mely fizikailag potenciáltérnek tekinthető.

A [2], [5] és [6] összevonásával kapjuk az EIT mérés alapvető parciális differenciál egyenletét:

$$[7] \nabla \cdot \sigma \nabla \phi = \mathbf{0}$$

Amely az elektromosságban Poisson-egyenletként ismert és abban az esetben, ha a vezetőképesség a helytől független, azaz homogén, izotróp közegben, Laplace-egyenletre egyszerűsödik:

$$[8] \nabla \phi = \mathbf{0}$$

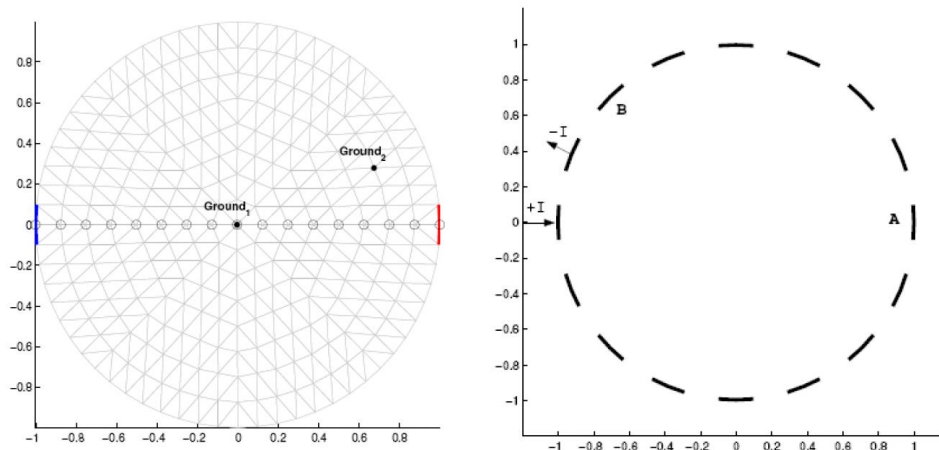
Mind a Poisson-, és a Laplace-egyenlet megoldható az ún. Dirichlet-, és Neumann peremfeltételek, vagy mindkettő egyidejű megadásával.” (VÍZVÁRI, 2015)

2.2.2.3 Adatgyűjtés az EIT esetében

Az EIT mérések a mérési geometria szempontjából két fő csoportra oszthatók fel (VÍZVÁRI, 2015):

1. ha a földfelszínen helyezük el az elektródákat, végtelen féltérrel modellezhetjük az adott szituációt;
2. ha élő fára helyezük el az érzékelőket egy kör mentén, zárt geometriával, körrel modellezhetjük a mérést.

Az elektróda elhelyezés kör esetében:



9. ábra: Az irodalomban alkalmazott mérési mintázatok, Sheffield-módszer („adjacent pattern”) (VÍZVÁRI, 2015)

„A szakirodalom javaslata szerint az ellenfázisú gerjesztés tekinthető optimális mérés technikai megoldásnak. Ennek az alapját az képezi, hogy validáló edény fenekére, középre ((0,0) koordinátájú pont) helyezik a 0V-os (Ground1) elektródát. Így a gerjesztés ellenfázisban +I és -I elektródák használatával, áramgenerátoros gerjesztést alkalmazva történik. A mérés szintén ehhez a 0V-hoz képest hajtható végre, így a mérési eredmények: -U és +U. Az irodalomban alkalmazott mérési mintázatok (L elektródás rendszerben):

Sheffield-módszer („adjacent pattern”):

1. Gerjesztés

A módszer lényege, hogy minden esetben a szomszédos elektródákra ($L_i = -I$ és $L_i + \frac{L}{2} = +I$, vagy fordítva) kapcsoljuk a gerjesztést:

		Gerjesztések száma					
		1	2	3	4	5	L_j
Elektródák száma	1	-I	0	0	0	0	...
	2	+I	-I	0	0	0	...
	3	0	+I	-I	0	0	...
	4	0	0	+I	-I	0	...
	5	0	0	0	+I	-I	...
	6	0	0	0	0	+I	...
	L_j	...	...	...	...	...	...

1. táblázat: Sheffield-módszer elektróda konfigurációja I.

Az 1. táblázatban látszik, hogy a szomszédos elektródákra kapcsolt ellenfázisú gerjesztés halad tovább, míg körbe nem ér. A 0 azt jelenti, hogy az aktuális elektróda nincs használatban, míg L_i az aktuális elektróda száma, L_j pedig az aktuális eset száma.

A Sheffield-módszer esetében a mérést úgy kell kivitelezni, hogy mindig a szomszédos elektródákon történjen a mérés ($L_i = -U$ és $L_i + 1 = +U$, vagy fordítva).

2. Mérés

Abban az esetben, ha a gerjesztést a Sheffield-módszerrel végezzük (2. táblázat), akkor (ez általánosan is igaz) minden egyes L_j gerjesztési esethez tartozik egy mérési táblázat, úgy, hogy mivel differenciál mérés történik, a mérőcsatornák közül egyik sem eshet egyik gerjesztő elektródára sem. Az $L_j = 1$ gerjesztési esethez a következő mérési táblázat tartozik:

		Mérések száma			
		1	2	3	L_j
Elektródák száma	1	0	0	0	...
	2	0	0	0	...
	3	+U	0	0	...
	4	- U	+U	0	...
	5	0	-U	+U	...
	6	0	0	-U	...
	L_i	...	...	...	...

2. táblázat: Sheffield-módszer elektródaconfigurációja II.

A 2. táblázatban látszik, hogy a szomszédos elektródákra kapcsolt mérési pontok haladnak tovább, míg körbe nem érnek.

Opposite pattern („szemközti elektródák módszere”)

1. Gerjesztés

Az ellentétes módszer lényege, hogy minden esetben a szemközti elektródákra ($L_i = -I$ és $L_i + \frac{L}{2} = +I$, vagy fordítva) kapcsoljuk a gerjesztést:

		Gerjesztések száma								L_j
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Elektródák száma	1	-I	0	0	0	+I	0	0	0	...
	2	0	-I	0	0	0	+I	0	0	...
	3	0	+I	-I	0	0	0	+I	0	...
	4	0	0	0	-I	0	0	0	+I	...
	5	+I	0	0	0	-I	0	0	0	...
	6	0	+I	0	0	0	-I	0	0	...
	7	0	0	+I	0	0	0	-I	0	
	8	0	0	0	+I	0	0	0	-I	
	L_i	...	...	...	...	...				...

3. táblázat: A „szemközti elektródák módszerének” elektródakonfigurációja I.

A 3. táblázatban látszik, hogy a szemközti elektródákra kapcsolt ellenfázisú gerjesztés halad tovább, míg teljesen körbe nem ér.

2. Mérés:

Ha az ellentétes mérési módszert választjuk, akkor a mérést úgy kell kivitelezni, hogy mindig a szembeni elektródákon történjen a mérés ($L_i = -U$ és $L_i + \frac{L}{2} = U$, vagy fordítva). Az $L_j = 1$ gerjesztési esethez a következő mérési táblázat tartozik:

		Mérések száma				L_j
		1	2	3		
Elektródák száma	1	0	0	0	...	
	2	+U	0	0	...	
	3	0	+U	0	...	
	4	0	0	+U	...	
	5	0	0	0	...	
	6	-U	0	0	...	
	7	0	-U	0		
	8	0	0	-U		
	L_i	...	...	...	...

4. táblázat: A „szemközti elektródák módszerének” elektródakonfigurációja II.

A 4. táblázatban látszik, hogy a szemközti elektródákra kapcsolt mérési pontok haladnak tovább, míg körbe nem érnek.” (VÍZVÁRI, 2015)

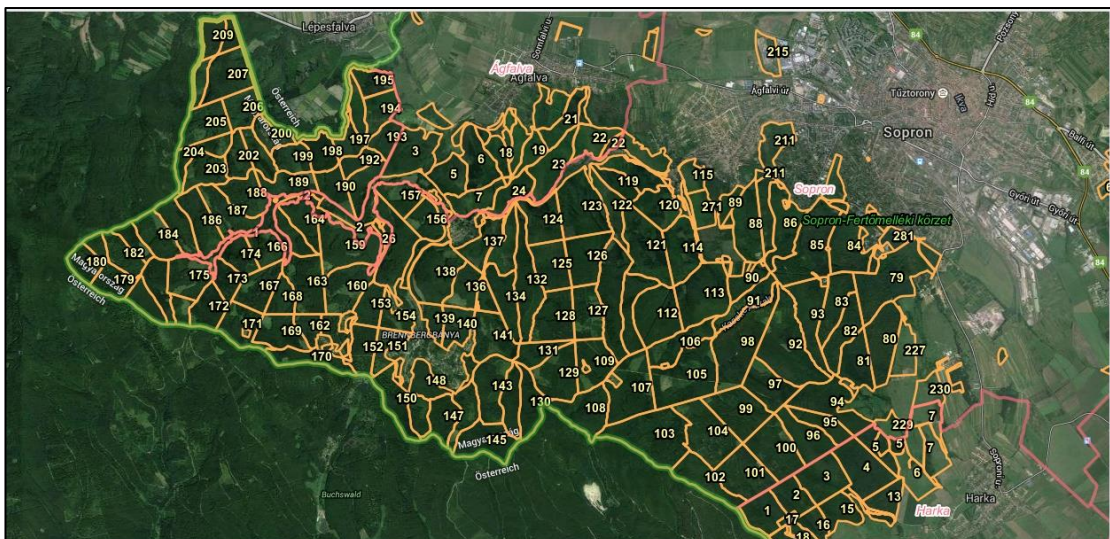
3 Vizsgálati anyagok és módszerek

Jelen fejezet a kísérlettervnek megfelelően a kutatási terv szakaszait, módszereit, valamint azok eredményeit mutatja be.

A kísérletterv (a dolgozat 1.1. Célkitűzések fejezete alapján) a következő szakaszokra bontható:

1. Kimutatható-e a fahiba elektromos műszer segítségével?
2. Ha igen, az eredmény egyezik-e a korábbi, a kísérlettervet megelőző eredményeinkkel?
3. Milyen új információkkal szolgálhat az álgeszt vonatkozásában kutatásaink során az impedancia tomográfia alkalmazása?
4. A vizsgált faegyed geometriája hatással van-e az eredményeinkre?
5. A törzs mentén hol kapjuk a legmegbízhatóbb eredményt?
6. Feltárható-e a fahiba kialakulása során szerepet játszó bármilyen tényező?
7. A vizsgálatok kivitelezhetők-e kitermelt faanyag esetén is vagy kizárólag élőfán alkalmazhatóak?
8. A fentiek mellett tapasztalhatók-e előre nem tervezett, járulékos eredmények?

3.1 A vizsgálatok helyszínei, nehézségei



*10. ábra: A Soproni hegyes erdőterképe
(forrás: <http://erdoterkep.nebih.gov.hu>, 2015-ös állapot)*

A vizsgálatok helyszíne a Soproni-hegység volt. Elsősorban azokban az erdőrészekben tudtunk hatékonyan dolgozni, amelyekben nagyszámú, kitermelés előtt álló bükkös volt megtalálható. Erre azért volt szükség, hogy pontos képet kapjunk az álgeszt valós megjelenési formájáról, a keresztmetszethez viszonyított területarányáról, és nem utolsósorban tapasztalatokat gyűjtsünk, illetve következtetéseket vonhassunk le az álgeszt kialakulásának esetleges körülményeiről.

Minden évszakban, de főként a téli fakitermelés időszakában (október közepétől április közepéig) került sor a mérések kivitelezésére.

Mivel a méréseinket – egy-két kivételtől eltekintve – terepen hajtottuk végre, több tényező is volt, amely jelentősen megnehezítette, befolyásolta a munkavégzést.

A legfontosabb körülmény az volt, hogy a méréseknek igazodnia kellett a TAEG¹⁴ éves fakitermelési menetrendjéhez. Ezzel kapcsolatban előre egyeztetettünk, tájékoztunk a várható kitermelések helyszínéről, a kitermelendő faanyagok mennyiségéről. El kell mondani azonban, hogy a legtöbb esetben ez csak előre tervezhető, becsülhető volt.

A tervet sok esetben felülírta, megváltoztatta az időjárás. A szokatlanul enyhe tél, a rendkívül csapadékos időjárás vagy éppen a rendkívüli hideg lehetetlenné tette a méréseink végrehajtását. A felázott erdőtalaj nem egy esetben hiúsította meg, halasztotta egy későbbi időpontra a fakitermelést, vele együtt a méréssorozatunk végrehajtását. A meleg időjárás ugyanakkor nem teszi lehetővé a fülledékeny fafajok kitermelését, huzamosabb ideig való tárolását, jöllehet számunkra kedvezőbb körülményeket teremtett volna a méréseink végrehajtása szempontjából.

A mérőműszerek korlátozott működési ideje, a faanyagra való installációja naponta ideális esetben 6-7 egyed vizsgálatát tette lehetővé. Ezt jelentősen negatív irányba befolyásolta a terep nehézsége, a faanyag hozzáférhetősége. Az erdőrészekben a kis átmérőjű bükk egyedek viszonylag magas száma szintén korlátozta a releváns mérések számát, mivel az álgeszt előfordulásának valószínűsége a kor előrehaladtával általában növekszik. A kitermelésre ítélt egyedek egészségi állapota, valamint a kitermelés közbeni biztonságos munkavégzéshez való alkalmazkodás szintén nehezítő körülményként volt jelen. A hideg időjárás az akkumulátorok egyébként sem túl hosszú üzemidejét pedig tovább csökkentette.

¹⁴ TAEG = Tanulmányi Erdőgazdaság

3.2 Kimutatható-e a fahiba elektromos műszer segítségével?

3.2.1 Módszerek

A méréssorozat tervezhetősége érdekében az álgeszt, mint fahiba elektromos műszer segítségével történő detektálását céloztuk meg.

Az elsődleges célkitűzés a diplomamunkám során kifejlesztett, és sikerrel alkalmazott kézi műszer további használata volt, amely nem más, mint egy egyszerű, feszültségmérésen alapuló, saját készítésű eszköz. Erről részletesen a 3.2.1.1. fejezet ad számot.

Elsőként a diplomamunka kutatási keretein belül alkalmazott mérések számát kellett növelni. A növekvő adatmennyiséggel megbízhatóbb, pontosabb információkhoz jutottunk a műszer pontosságáról. Az egyik kritikus pont ugyanis a fahiba kimutathatóságának pontosítása, tehát adott átmérőnél mekkora az a minimális keresztmetszethez viszonyított területarány, amely a mérés során még detektálható. Ezzel egyidejűleg a műszer méréshatára is feltérképezhetővé válik. A saját műszer már korábban is megbízhatóan eredményt produkált, így kézenfekvő volt a további alkalmazása.

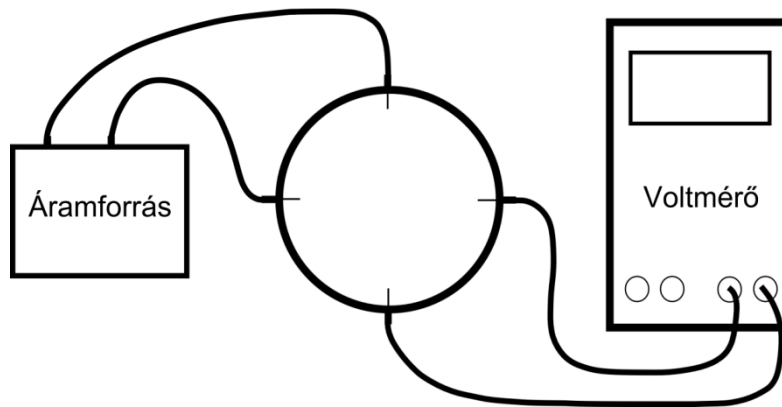
A kutatás végrehajtásához kitermelés előtt álló, valamint erdei rakodókon rönk formájában megtalálható faanyagra volt szükség. A vizsgálatokra a Soproni-hegységben került sor.

A kutatási terv különböző fázisaiban összesen 101 egyedet vizsgáltunk meg.

3.2.1.1 „Kézi műszerrel” történő feszültségmérés

Az elsőként egy saját fejlesztésű „kézi” műszert használtunk. A vizsgálati módszer egyenáramú feszültségmérésen alapul: a faanyag keresztmetszetét tekintjük a vezető közegnek. A keresztmetszet kerülete mentén egyenlően kiosztott pontokon elhelyezett elektródákon mérjük a feszültséget.

Az elektródákon keresztül elektromos áramot vezetünk a faanyagba, ennek következtében egy meghatározott, a vizsgálati területre jellemző erőtér jön létre a faanyag keresztmetszetében.



11. ábra: „Kézi-feszültségmérő módszer” sematikus elrendezési vázlata (saját ábra)

SIMPSON ET. TENWOLDE (1999) szerint élő bükk egyedek esetén a mérhető nedvességtartalom a szijácsfában 90%, míg a gesztben 75%. Az egészséges faanyagéhoz viszonyítva az álgeszt vezetőképessége nagyobb, így a fahibát tartalmazó keresztmetszetben a fent említett erőter megváltozik.

A legkönnyebben négy mérési pontot használó műszerkonfigurációval volt kimutatható a bükkfában jelenlévő álgeszt. Ebben az esetben „igen/nem” kimutatás volt a célunk, tehát, hogy a vizsgált faanyag tartalmaz-e ilyen fahibát, vagy sem.

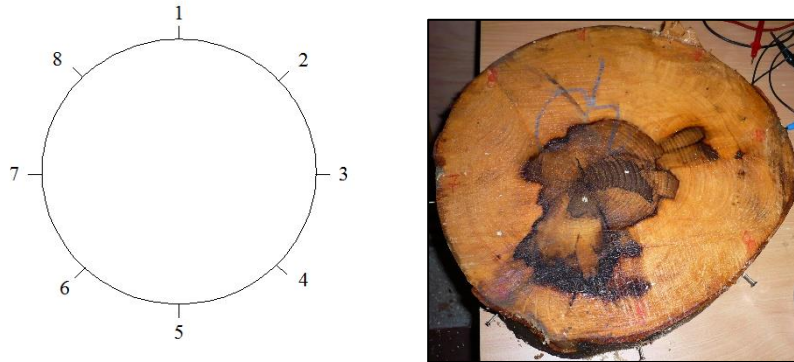
A módszer és mérési eljárás kialakítása, tesztelése a következőképpen történt:

A törzs kerülete mentén 8 mérési pontot helyeztünk el, egymástól egyenlő távolságban. Lehetőség lenne ennél jóval nagyobb mennyiséget is elhelyezni, de a gyakorlati kivitelezés és az eredetileg kitűzött cél miatt 8 elektródában maximalizáltuk azok számát. A cél az, hogy megtaláljuk azokat a gerjesztési és a velük szoros összefüggésben álló mérési pontok kombinációját, ahol a legnagyobb eltérés mutatkozik az egészséges és károsodott faanyag között. Egyúttal leeredukálhatjuk az elektródáink számát a feltétlenül szükséges (lehetőleg minél kevesebb) mennyiségűre.

A laboratóriumi teszteléshez élőnedves faanyagra volt szükségünk. Ezt egy, a Soproni-hegységben folyamatban lévő fakitermelésről szereztük be. A függvénygenerátort a Hz mértékegységre állítottuk, a kimeneteket négyszögjellel gerjesztve. A jelentkező 50 Hz-es zavar kiszűrésére egy kondenzátort és egy ellenállást használtunk felüláteresztő szűrőként a mérővezetékbe illesztve a voltmérő bemenete elé. A mérést 4 kHz-en végeztük. A feszültséget mindig egy meghatározott pontra kötöttük a korongon: 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6,

1-7, 1-8 kombinációban. A többi kombinációt nem végeztük el, tekintettel az idő rövidségére, és a mérés eredményességének megtapasztalására.

A TAEG-től próbatestként kapott bükk korong 8, egymástól egyenlő távolságra lévő pontján helyeztük el az elektródaként szolgáló facsavarokat, a korong vastagságának közepén (12. ábra).

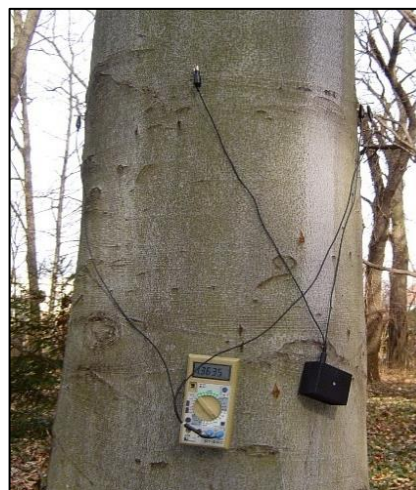


12. ábra: A palást mentén elhelyezkedő elektródák

A feszültséget a kimenetre adva a voltmérőről leolvastuk és feljegyeztük a különböző mért értékeket. A mérést a faanyag folyamatos nedvesítése mellett végeztük.

Ami az érzékelőkombinációkat illeti, a mérési eredményekből látható volt, hogy az egymással szemben elhelyezkedő gerjesztett, és mérő elektródapárok mutatják a legbiztosabb, legmegbízhatóbb értékeket.

Célszerűnek tartottuk tehát a továbbiakban ennek a 4 elektródának a megtartását és a többi elhagyását. A méréseink ellenőrzéseként mintavételezési eljárással bizonyítottuk, hogy a módszer a gyakorlatban is működőképes (13. ábra).

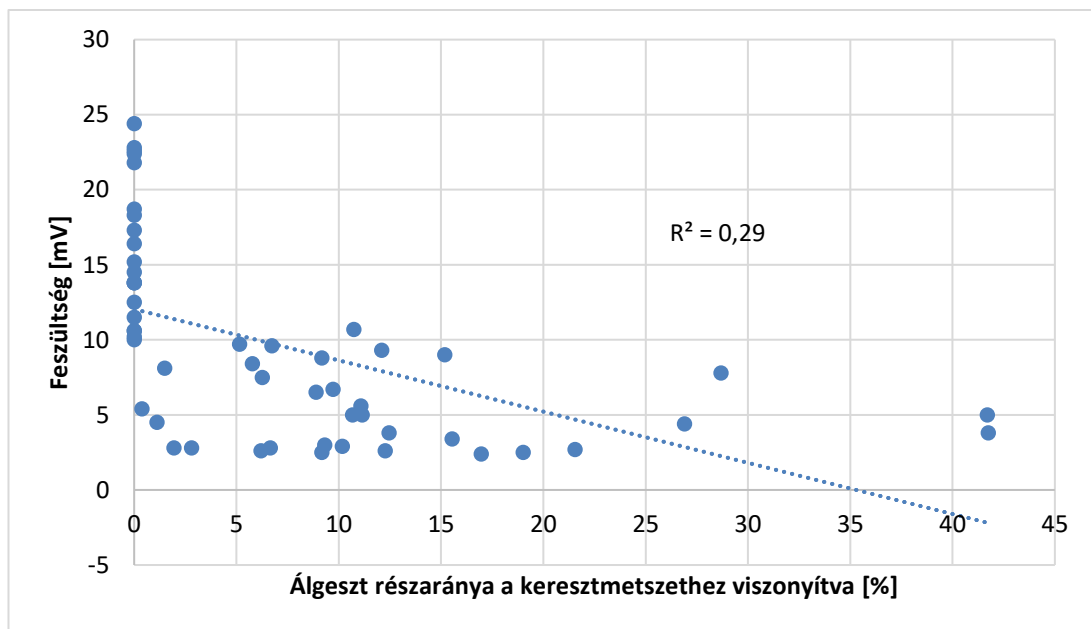


13. ábra: a kézi műszer működés közben

Jelen dolgozat részletes mérési eredményei a függelékben találhatóak. A vizsgálati ciklusban 58 minta adatai alapján végeztük el a kiértékelést.

3.2.2 Eredmények

A méréssorozat adatai jó alapot szolgáltatottak az álgeszt területaránya és a mérhető átmérő közötti összefüggés feltérképezéséhez, valamint az álgeszt alsó/felső határméretének kimutathatósági vizsgálatához is. A területarány meghatározása az ImageJ nevű képfeldolgozó és elemzőszoftver segítségével történt. A mérések helyszínén készített fényképfelvételek elemzésével meghatározásra került az álgeszt, valamint a kéreg nélküli fatest pixelek alapján számított területe, melyeket arányosítottuk egymáshoz. Az összesített eredményeket grafikon formájában ábrázoltuk (14. ábra).



14. ábra: A megvizsgált bükk egyedek keresztmetszethez viszonyított álgeszt részaránya a mért feszültség függvényében

Megfigyelhető, hogy azoknál az egyedeknél, amelyek nem tartalmaznak álgesztet 10 mV, vagy annál magasabb feszültségértéket mérhetünk. Megfordítva az összehasonlítást, már bizonytalanabb dolgunk van. A nagyobb területarányal rendelkező álgeszteknel a 10 mV-os, vagy annál alacsonyabbak a feszültségértékek adódnak. A 14. ábra, valamint a mérések alapján elmondható, hogy a kimutathatósági határméretet/határérték (kb. 10mV, 10%) feletti álgesztől egészen a nagy részarányt képviselő fahibáig a mérhető értékek is ebben a tartományban keresendők.

Ami nagymértékben befolyásolja mérésünk pontosságát az az alkalmazott mérési magasság a törzs mentén. Az álgeszt hosszanti lefutása ugyanis meghatározza, hogy a mért keresztmetszetben mekkora kiterjedésű a fahiba ezzel együtt a mért adatokat is.

A másik, bár kisebb mértékű befolyásoló tényező a mérőkonfiguráció keresztmetszethez viszonyított elhelyezkedése. Mérési tapasztalataink azt mutatták, hogy az álgeszt jelenlétét jelző méréseknél érdemes kétszeri, a faegyed hossz tengelyéhez viszonyítva 90 fokos elfordulásnál nem nagyobb mértékben elfordított, újabb mérést végrehajtani a biztosabb detektálás érdekében.

3.2.3 Következtetések

A fenti eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a fahiba kimutatható. Jellemzően 10 mV alatti, de markáns fahiba esetén 5 mV alatti feszültségértékeket kaptunk az álgeszt jelenléte esetén. A gyakorlatban történő kellő alaposágú mérés kivitelezés megkönnyíti a fahiba kimutatásának lehetőségét.

Viszont a kimutathatósági határérték feszültségértékei nem adnak teljesen egyértelmű viszonyítási pontot annak eldöntésére, hogy valójában mekkora kiterjedésű fahibát feltételezhetünk a törzsben. A meglehetősen elmosódott határérték alatt és felett valóban kijelenthetjük, hogy tartalmaz-e fahibát az adott egyed, de a méretére itt sem találunk konkrét utalást.

A gyakorlati mérések kimutatták, hogy jobb, megbízhatóbb eredményt ad, ha a mérést egy „elforgatott”, illetve a törzs mentén a tő vagy a korona felé áthelyezett pozícióban megismételjük. A négy mérési pontos műszerkonfigurációban így pontosíthatjuk a kisszámú elektródák okozta pozícionálási bizonytalanságot.

Némiképpen korlátoznak ugyan az emberi testméretből adódó lehetőségek, de még így is pontosabb eredményekhez jutunk, mintha csak egy mérést végeztünk volna el.

3.3 Az eredmény egyezik-e a korábbi eredményeinkkel?

Az előzetes, még a kutatási terv megkezdése előtti méréseket megerősítő értékeket kaptunk eredményként. Ha összehasonlítási alapként visszatekintünk a diplomamunkám keretein belül elvégzett mérésorozatra, azt tapasztaljuk, hogy az ott megvizsgált 50 egyedből 15 esetében 10 mV-nál kisebb feszültségértékeket mértünk. Abban az esetben

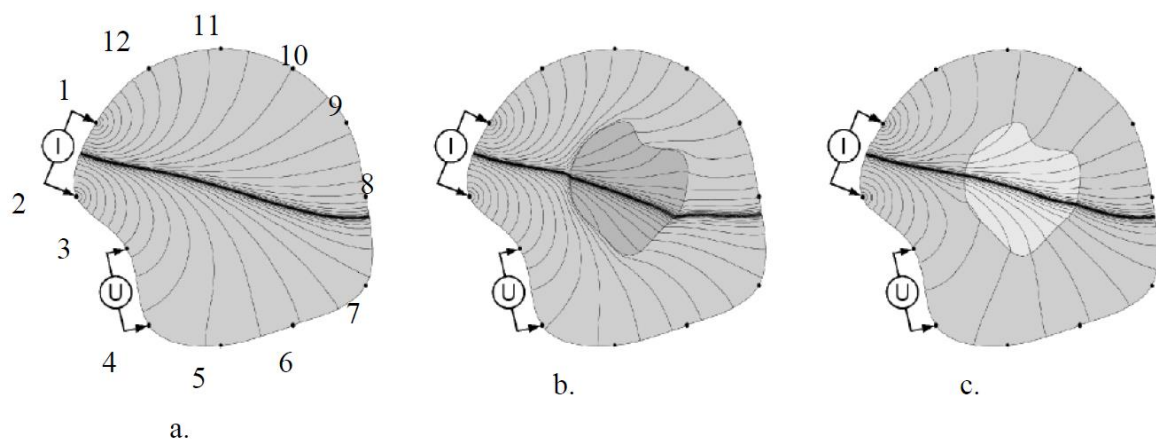
fakitermelés nem történt, viszont a legmegbízhatóbb eredményeket (10mV, vagy annál kisebb értékeket) mutató mintákat fúrásos mintavételezéssel ellenőrizve valóban álgesztet találtunk. A 16-os számú mintához 2,8 mV, a 6-os számúhoz 5,8 mV feszültségérték tartozott, míg a kontrollnak számító véletlenszerűen kiválasztott egészséges egyednél (33-as számú minta) 18,5 mV.¹⁵

3.4 Milyen új információkkal szolgál az impedancia tomográfia alkalmazása?

3.4.1 Módszerek

A mérések kivitelezésekor már a kezdetektől jelentkezett az általunk használt műszer kiegészíthetőségének, bővítésének igénye. Hogyan tudnánk pontosítani, ellenőrizni, összehasonlítani, esetleg más szemszögből megvilágítani az eredményeinket? A kereskedelmi forgalomban kapható impedancia tomográf hasonló elven, de nagyobb mennyiségű és kézzelfoghatóbb eredményeket szolgáltat számunkra. Az akusztikus és mikrohullámú eszközök esetünkben nem nyújtanak kielégítő információkat.

A mérés a kerület mentén elhelyezett elektródákra támaszkodik. Az elektromos áramot a használt elektródák közül minden esetben kettőn vezetjük be a faanyagba. A kialakuló elektromos mező az ellenálláseloszlás függvénye. A mérés mindig két elektródán történik, jellemzően a legnagyobb feszültségkülönbségre támaszkodva.



15. ábra: Picus Treetric mőszert mőködési elve
(forrás: Treetric manual eng 2011_03, argus electronic gmbh, Vízvári 2015)

¹⁵ A minták részletes eredményei a 3.6.2-es fejezetben találhatóak.

A műszer a geofizikai vizsgálatoknál elfogadott „A” és „B” elnevezést használja a generátor, míg az „M” és „N” betűket a mérőcsatornák pozíciójának jelölésére.

„A mérőeszköz egy elektródapárra kapcsolja a gerjesztőjelet és ezzel egy időben a mérőcsatornát. Mindig szomszédos elektródákon történik gerjesztés és szomszédos elektródákon történik a mérés. A mérés során a műszer regisztrálja a rendszeren átfolyó áramerősséget és az M, N elektródákon mérhető potenciálkülönbséget.” (VÍZVÁRI, 2015)

Ha a vizsgált tartományt homogén izotrópnak (15.a ábra) és elektromosan vezetőnek feltételezzük, a betáplált elektromos áram a teljes tartományt kitölti, illetve a töltésmegmaradás értelmében az áramgenerátor (15. ábrán I-vel jelölve) kapcsa között folyik. A 15. ábra a kialakuló áramtér által létrehozott potenciáltér izopotenciál vonalait szemlélteti, melyek az áramgenerátor kapcsai között kialakuló áramsűrűségnek megfelelően alakulnak: az elektródák környezetében, a nagyobb áramsűrűség következtében, az izopotenciál vonalak közelebb helyezkednek el egymáshoz, majd ettől távolodva ritkulnak és egyenesednek ki, illetve a vastag vonal mentén sűrűsödnek újra. (VÍZVÁRI, 2015)

„Ha a vezetőképesség inhomogenitása potenciáalteret torzítja, a 15.b és 15.c ábrán láthatóan aszimmetrikus lesz. Az A-B és M-N közötti távolság állandó, az elektródapárok közötti távolság (B-M távolság) változik.

A mérés menete a következő, amennyiben $\overline{AB} = \overline{MN} = a$ és $\overline{BM} = n \cdot a$:

1. mérés történik $n = 1$ elektródaközzel (mindegyik elektróda egyforma távolságra van egymástól) úgy, hogy első lépésben „A” az 1-es, „B” az 2-es, „M” az 3-as, „N” az 4-es helyre kerül, második lépésben egy elektródával arrébb kerül mindegyik, majd ez addig ismétlődik, amíg „N” újra az 1 elektródára nem kerül,
2. $n = 2$ mellett új mérési sor indul, ugyanúgy, mint az előző esetben,
3. $n = 3$ esetében is újra körbejár a mérőrendszer, majd ez folytatódik, amíg
4. például 12 elektródás mérés esetében $n = 6$ távolság esetében kerül mérésre az utolsó mérési sor.

Természetesen az adatgyűjtési sorozat hossza az elektródák számától függ, így aktuálisan n maximális értéke az összes elektródák számának a fele. A mérés indítása előtt lehetőség

van valamilyen szinten beavatkozni a mérés menetébe, de lényegében ennek végrehajtása teljesen automatikus. A maximális csatornaszám kihasználásakor, azaz 24 elektródás mérésnél a mérőrendszer 252 adat-csomagot regisztrál. Minden adatcsomag esetében 4 paraméter kerül rögzítésre:

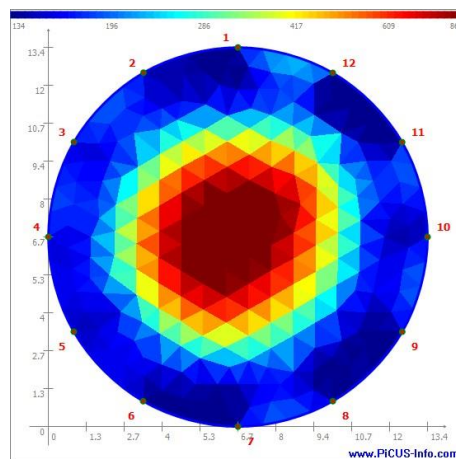
- I+ a rendszeren átfolyó áramerősség és U+ az M és N elektródákon mért feszültség

(potenciálkülönbség),

- I- a rendszeren átfolyó áramerősség a generátor polaritás váltása után és U- az M és N elektródákon mért feszültség (potenciálkülönbség).

Mérés közben a generátor amplitúdóját automatikus szervórendszer szabályozza, hogy a méréstartományból való kilépés elkerülhető legyen. Erről a szoftver az észlelőt tájékoztatja.” (VÍZVÁRI, 2015)

A mérés befejeztével az adatok külön mentésre kerülnek, majd az értékeléshez kirajzoltatható a tomogramm, mely egy ellenállástérkép. A vizsgált fa keresztmetszetét háromszögeléssel színes síkidomokra bontva ábrázolja a szoftver, meghatározott színskálával jelölve az egyes fajlagos ellenállás értékeket. Az eredmény a 16. ábrán látható.



16. ábra: Picus Treetric mőszerral készített ellenállástérkép

Az eredményül kapott impedanciatarományt öt szakaszra bontja a mőszér, kiírva a szakaszok határainál mérhető impedanciaértéket. Az egyes szakaszokon belül 13 színárnyalatot különböztethetünk meg, összesen 65 színárnyalattal jelölve a teljes tartományt. A tartomány határait jelző értékek közötti szorzótényező átlagértéke 1,5. Az

egyres mérési eredményeket lehetőségünk nyílik egy előre meghatározott skálán is összehasonlítani.

Az elektródák száma határozza meg a felbontást, minél többet alkalmazunk, annál pontosabb eredményt kaphatunk. A használt mértékegység: *Ohm*méter [Ωm]*

Alkalmazásával megbecsülhető a faanyag egészségi állapota és stabilitása, és sok egyéb tényező is.

A műszer az alábbi részegységekből tevődik össze:

- A hordozáshoz és az akkuk tárolásához szükséges ütésálló műszertáska
- AD konverter és multiplexer egység (a generátor és a mérőcsatornák mérési algoritmusának megfelelő elektródákra történő kapcsolása, és a mért analóg jel digitalizálása)
- mérővezetékek
- mérőegység, amely mért jeleket dolgozza fel és továbbítja a számítógépnek.

A PICUS Tretronic tomográfal egyfajta elektróda konfigurációval végezhető el a mérés. Ez a dipól tengelyirányú, vagy dipól axiálisként ismert elrendezés.

3.4.2 Mérés kivitelezése a gyakorlatban

A mérés megkezdése előtt tájékoztatást kértünk az erdőgazdaságtól a fakitermelési tervekkel kapcsolatban. A helyszínen a morfológiai bélyegek alapján kiválasztottuk a mérésre leginkább alkalmasnak ítélt faegyedeket a kitermelésre megjelöltek közül. Próbáltuk eszerint méréseket végezni abban az esetben is, ha a kitermelésre előírt erdőrésztlet faegyedei eleve korlátozták lehetőségeinket.

Az élőfa kiválasztása után a mérőműszer szoftverének működéséhez és a mérés elvégzéséhez szükséges paraméterek megadása következett. Ezek a következők voltak:

- mérési sík talajtól mért távolsága (mérési magasság)
- használni kívánt elektródák száma (elektróda konfiguráció)
- fatörzs kerülete a mérés síkjában
- az „É”- i irány meghatározása az 1-es számú elektróda pozíciójának kijelöléséhez (az összehasonlíthatóság érdekében).

Miután a fenti adatok meghatározásra kerültek, betápláltuk őket a műszer szoftverébe, mely automatikusan kiszámította a további elektródák pontos pozícióját. Az adatok

alapján a mérés síkjában elhelyezésre kerültek az elektródák, egymástól egyenlő távolságra abban az esetben is, ha a kerület mentén rendellenesség volt megtalálható. A műszerösszeállítás a 17. ábrán látható.



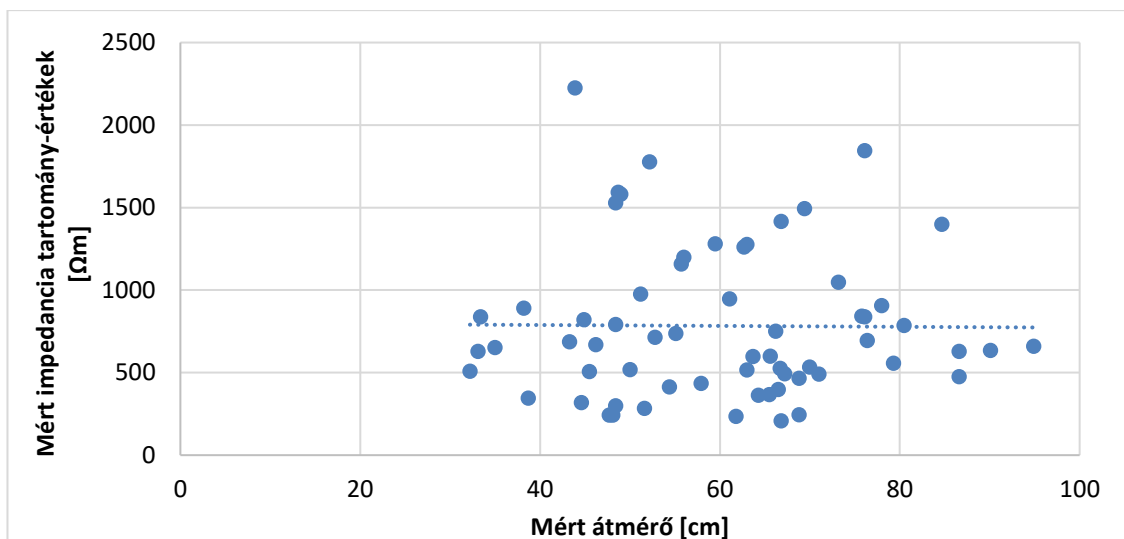
17. ábra: Picus TreeTronic műszer elektródái, és mérés közbeni állapota

Az elektródáknak a fatesttel érintkezniük kell, tehát teljesen áthatolnak a kérgen¹⁶. A bükkfánál vékony kéreggel számolhatunk, még a tő közelében sem vastagodik 2 cm fölé. Elektródaként egyszerű szegek kerültek felhasználásra, melyek a folyamatos használat során elhasználódtak, idővel cserére szorultak. A krokodilcsipeszekkel az elektródákhoz rögzítettük a mérővezetékeket, melyek négyesével csatlakoztak a multiplexer egységhez. Ezután a mérőműszer összeállítása következett. A mérések kivitelezése a műszer alapkonfigurációja által maximálisan támogatott 24 elektródával történt. A mérés az indítás után automatikusan megy végbe, időtartama a faegyed megjelölésétől a műszer hordtáskában való újbóli elzárásáig nagyjából 15-20 perc.

3.4.3 Eredmények

A megvizsgált bükkök között a fiatal egyedektől egészen 100-110 éves korú bükkfáig egyaránt találunk mintákat.

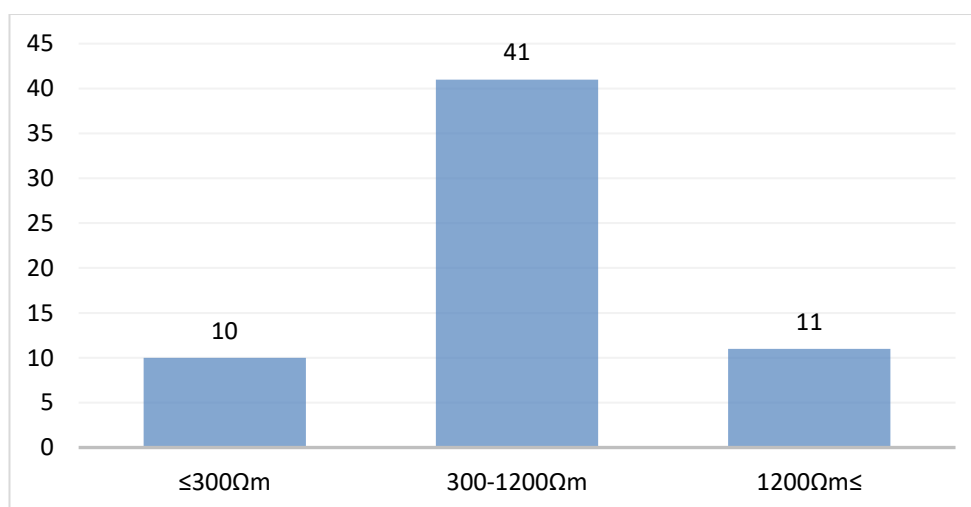
¹⁶ Végeztünk méréseket mélyebben elhelyezett elektródainstallációval is, melynek eredményei nem mutattak eltérést a fatestbe enyhén behatoló elhelyezéshez képest, viszont a mérések kivitelezését nagymértékben megnehezítette, így a későbbiekben nem alkalmaztuk.



18. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető impedancia tartomány az átmérő függvényében

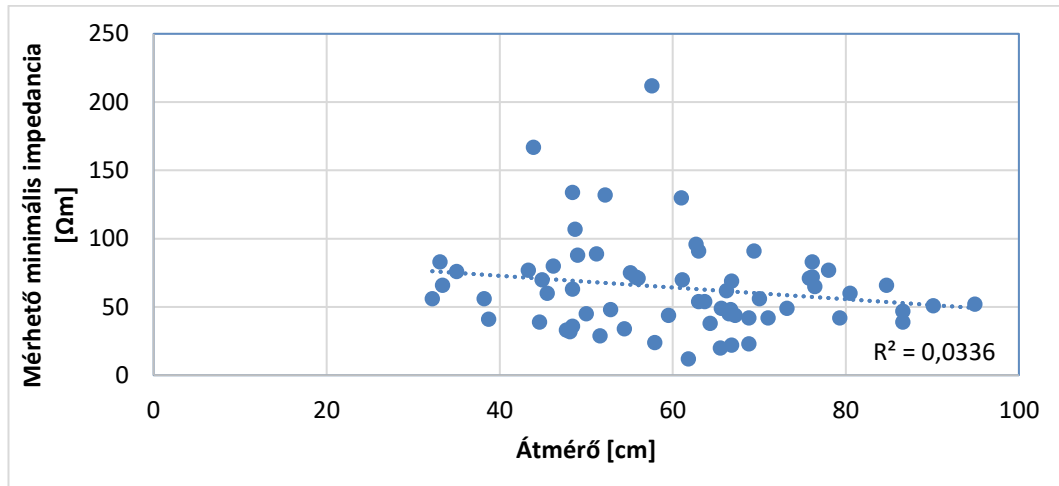
A 18. ábrán láthatjuk a megvizsgált mintáink mérhető impedancia tartományát, tehát a legkisebb és legnagyobb érték különbségét az átmérő függvényében. A jellemzően felfelé kiugró néhány érték (magasabb maximális impedancia) pontjait leszámítva az 300 és 1200 Ωm-es tartománnyal találkozunk egy-egy egyednél.

Az átmérő növekedésével stagnálás, illetve egy nagyon enyhe növekedés mutatható ki a mérhető impedanciatartomány-értékek tekintetében. Ennek részben az az oka, hogy a fahibát tartalmazó egyedek alsó határértéke alacsonyabb lesz, ezáltal szélesíti a mérhető tartományt, melynek mennyiségi eloszlása látható a 19. ábrán.



19. ábra: impedancia tartomány mennyiségi eloszlása impedancia tartomány kategóriáinként

Ha az összes mért impedancia érték minimum értékét¹⁷ az átmérővel összefüggésben ábrázoljuk, látható, hogy növekvő átmérőhöz kissé alacsonyabb értékek tartoznak (20. ábra). Ez összhangban van az előzetes számításainkkal.



20. ábra: A megvizsgált bükkgyedek esetén mérhető minimális impedancia az átmérő függvényében

Az impedanciatérképek segítségével jó összehasonlítási lehetőségünk adódott az egészséges és beteg farészek eltérő vezetőképességének tekintetében. Amennyiben összehasonlítjuk az álgesztes farészeknél mérhető impedanciaértéket az egészséges faanyagok impedanciaértékeivel 2,89-os arányosság adódik, tehát az álgesztes faanyag fajlagos ellenállása nagyságrendileg harmada, az egészséges farészekének. Az eredményeink a bizonyíthatóan álgesztet tartalmazó mintáinkból lettek kiszámítva az ellenállástérképek színskálái alapján.

3.4.4 Következtetések

Az adatok alapján egyértelmű az impedanciaértékek csökkenése, főként a 60 cm feletti átmérők esetén, ugyanakkor nem feledkezhetünk meg arról a tényről sem, hogy ebben a korban sokkal nagyobb a fahiba megjelenési gyakorisága is. Megfigyelhető volt az egy-egy területen megtalálható bükkök hasonló, míg a külön erdőrészekben megtalálható minták különböző eredménye egyező átmérő, valamint mérési magasság esetén.

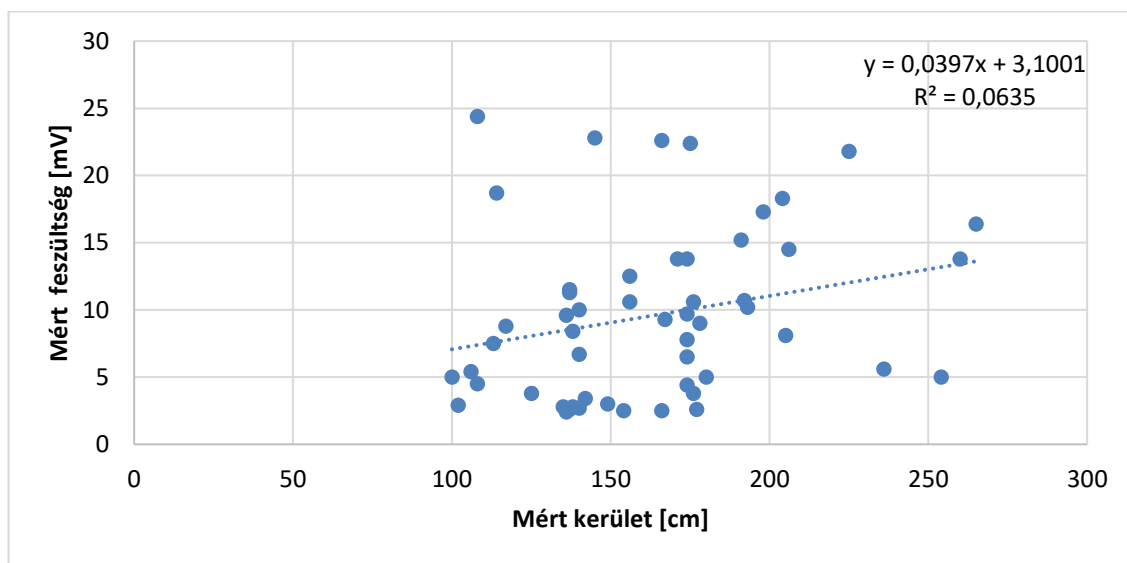
¹⁷ Az értékek minimumát célszerű figyelembe venni az álgeszt alacsonyabb ellenállásértékei miatt.

3.5 A fatörzs geometriája hatással van-e az eredményeinkre?

3.5.1 Módszerek

A vizsgált problémakör meglehetősen összetett, ugyanis az elmélet azt diktálná, hogy növekvő átmérőhöz, csökkenő feszültségértékek tartozzanak. Viszont, ahogyan az előző fejezetben is megfogalmaztuk, növekvő átmérő esetén nagyobb valószínűséggel jelenik meg a vizsgált fahiba is, mely magával hozza a feszültségértékek természetzerű csökkenését.

3.5.2 Eredmények



21. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető minimális feszültség a terület függvényében

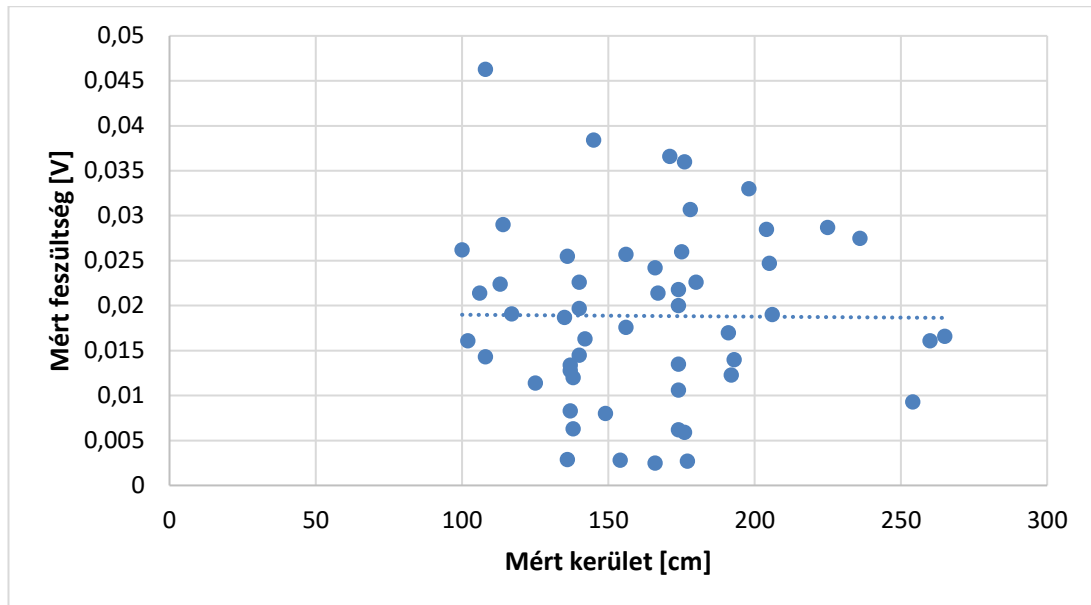
A 21. ábra a mérhető terület és feszültségértékek között látható összefüggést mutatja.

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a mérhető feszültségértékek közül az alacsonyabbat érdemes figyelembe venni a mérések során, ugyanis ez az, amely jelzi számunkra a fahiba lehetőségét. A felső határértékek nagy szórást mutattak, főleg, ha a mérést nem a megfelelő¹⁸ törzszakaszon hajtottuk végre. Másrészt az álgeszt kiterjedésével a legkisebb mérhető feszültségérték összefüggésben áll.

A minimálisan mérhető feszültségértékek kismérvű növekedése figyelhető meg a mintavételen belül. Ha azonban a maximálisan mérhető feszültségértékeket viszonyítjuk a

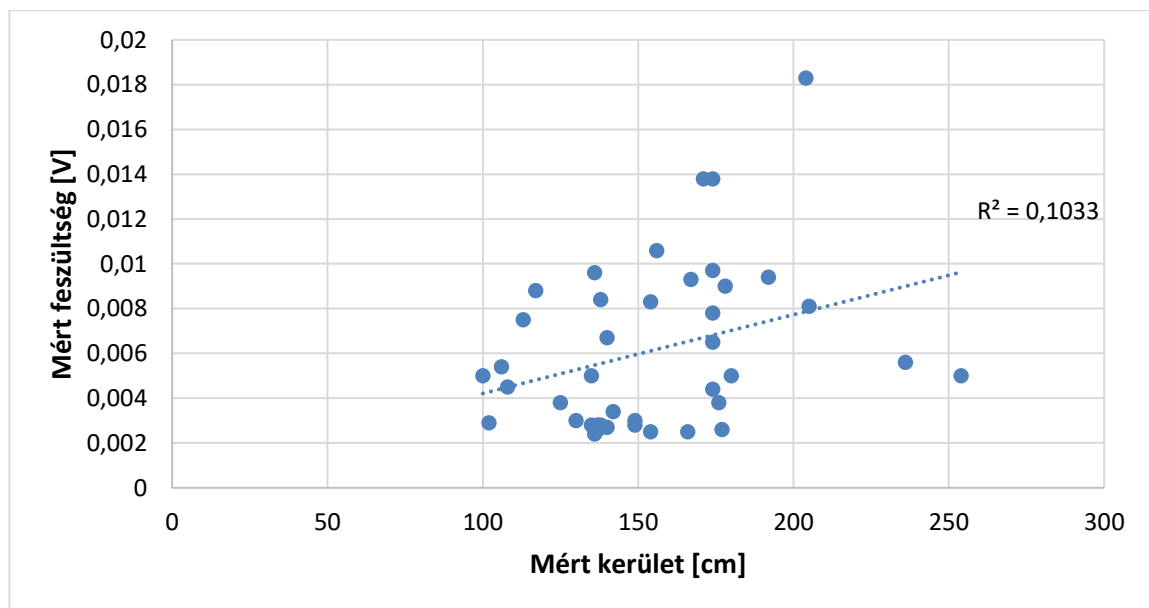
¹⁸ A korábban említett megismételt, pontosító mérés, amely a fakitermelések után már sokkal egyszerűbben kiválasztható lenne.

megvizsgált egyed kerületéhez, szinte egy teljesen állandó értéket figyelhetünk meg. Az összefüggést a 22. ábra mutatja.



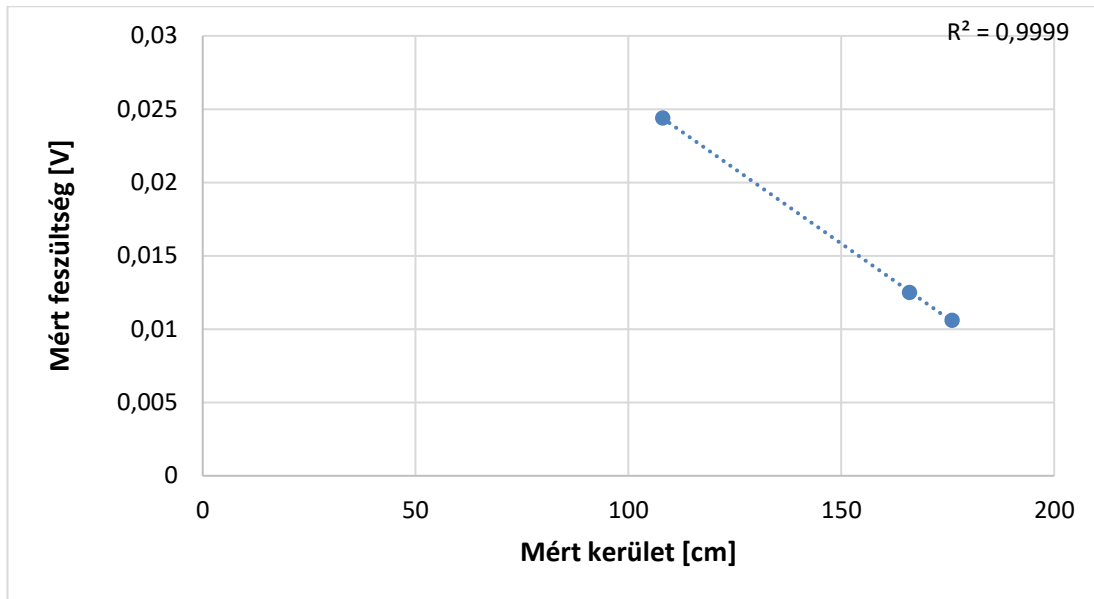
22. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető maximális feszültség a kerület függvényében

Amennyiben elfogadjuk a 21-22. ábra eredményeit, és összevetjük az eredményeket a vágáslapokról készített felvételekkel, leszűkíthetjük az eredményeket az álgesztes, azaz a kutatásunk szempontjából megfelelő, és az egészséges egyedekre, akkor a 23. ábrán látható eredményre jutunk.

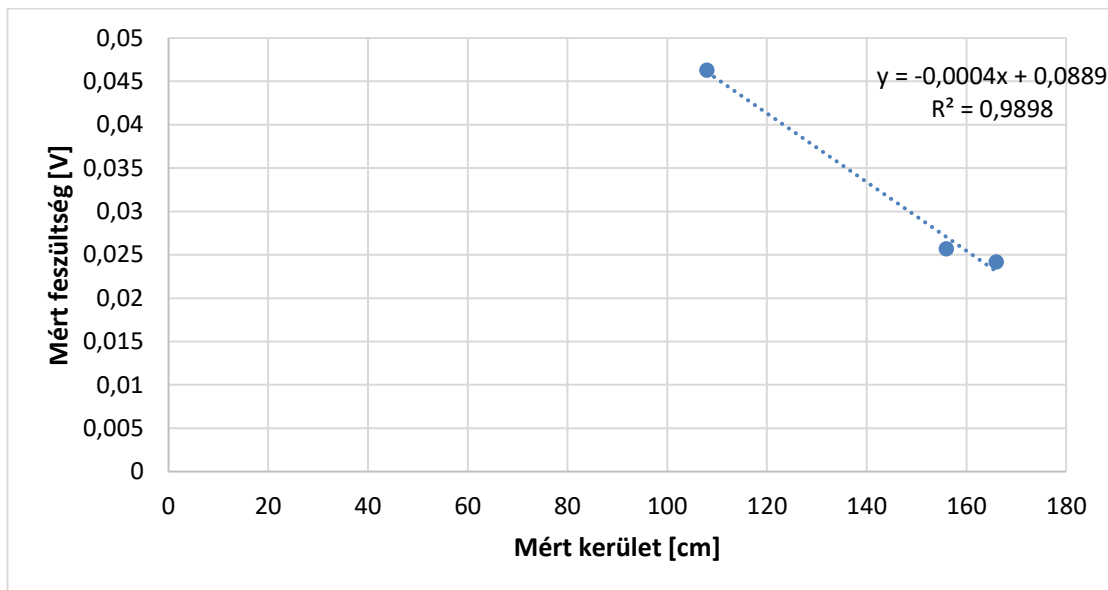


23. ábra: A megvizsgált bükk egyedek esetén mérhető minimális feszültség a kerület függvényében (álgesztes egyedek adatai)

Amennyiben azt a néhány teljesen egészséges egyedek külön vizsgáljuk meg, akkor a 22. és a 23. ábrán látható összefüggésre jutunk.



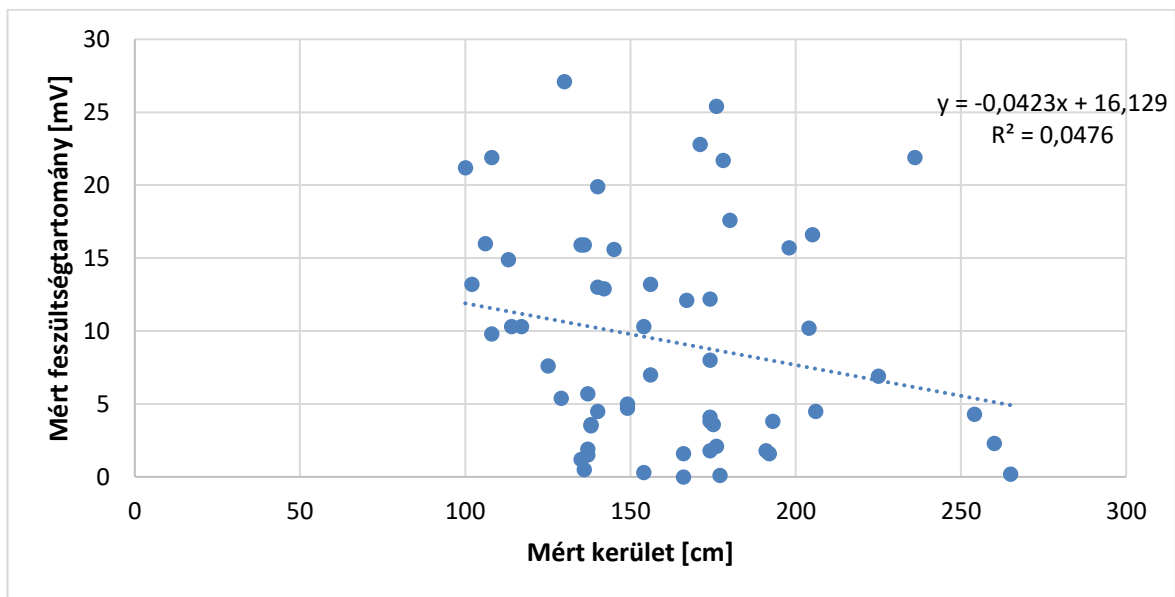
24. ábra: A megvizsgált biztosan egészséges bükk egyedek esetén mérhető minimális feszültség a terület függvényében



25. ábra: A megvizsgált biztosan egészséges bükk egyedek esetén mérhető maximális feszültség a terület függvényében

A 24-25. ábrákon egyértelműen a szakirodalomnak megfelelő eredményeket figyelhetjük meg. Az átmérő növekedésével határozott feszültségcsökkenést mérünk mind a legmagasabb, mind a legalacsonyabb feszültségértékek esetén, bár egyértelműbb eredményt a 25. ábra mutatott.

A mérés kivitelezésénél szerzett tapasztalatok azt mutatják, hogy a mérhető legkisebb feszültség 2,4 mV, ezen érték alá nem süllyed a mérhető feszültség még nagy kiterjedésű álgeszt esetén sem. A kézi műszer által mért értékek 2,4-5 mV között ingadoznak az álgeszt kimutathatósági határérték feletti, valamint meglehetősen nagyméretű fahiba esetén is. A felső mérhető érték már jóval bizonytalanabb képet mutat. 46,3 mV volt a legnagyobb mért érték jóllehet, az egyik legkisebb kerületű (108 cm) egyednél mértük. Jellemzően azonban egészséges minta esetén 18-30 mV közötti értékekkel számolhatunk.



26. ábra: A mérhető feszültségtartomány a kerület függvényében

A mérések során megállapítható, hogy a kézi műszer a legpontosabb eredményt a még álló, kitermelés előtti állapotban lévő faegyedeken történő, különösebb segédeszköz nélkül elérhető mérési magasságokban adja. Döntés után, illetve főleg a bütök felől elinduló száradás során már sokkal pontatlanabb eredményekre jutunk.

Ez a jelenség több különböző okra vezethető vissza. Nehezen kivitelezhetővé válik a mérés, ugyanis az erdei rakodón lévő kiközelített rönkök palástja korlátozottan hozzáférhető. Nagyon nehezen biztosítható az érzékelők pontos elhelyezése és a rönk hossz tengelye mentén végzendő mérések kivitelezése. Ugyanakkor a megváltozott vezetőképességi viszonyokkal is számolnunk kell, mert a faanyagot megfosztottuk a gyökérzetétől és a lombkoronájától is.

További problémát jelent a mérések helyének, valamint a döntés, illetve darabolás során keletkezett vágási felületnek az összeegyeztetése.

3.5.3 Következtetések

Az eredményekből látható, hogy a nedvességtartalmi értékek, valamint a törzs hozzáférhetősége alapján az élőfákon végrehajtott mérések adják a legmegbízhatóbb eredményt. A geometria befolyásolja az eredményeinket abból a szempontból, hogy egyedenként más-más értékeket kapunk a mérési tartomány tekintetében, de az átmérőket tekintve nagy szórással számolhatunk, konkrét összefüggés nem mutatható ki a fahibát tartalmazó egyedek esetében.¹⁹

3.6 A törzs mentén hol kapjuk a legmegbízhatóbb eredményt?

3.6.1 Módszerek

A következő fázis mintáit több mérési magasságban is megvizsgáltuk, lehetővé téve az eredmények, módszerek pontosítását, valamint azok térbeli, 3D-s ábrázolását. Előzetes várakozásaink alapján ezzel a módszerrel megállapítható az álgeszt fatörzs hossz tengelye mentén való lefutása, valamint a későbbi méréseknél alkalmazandó magasságok minél pontosabb meghatározását is lehetővé teszi.

A kutatási terv végrehajtásának egyik sarkalatos pontja a méréseink gyakorlati kivitelezésénél jelentkezett. Hogyan egyeztethető össze legpontosabban a mérési magasság az előre nem látható hosszanti álgeszt lefutással?

Mivel az adott faegyed esetén nem tudjuk előre eldönteni, hogy milyen hosszanti lefutással van dolgunk, nem egyértelmű, hogy a mérési magasságunkban fogja elérni a fahiba a legnagyobb kiterjedését. A kialakult helyzetet nehezíti, hogy a terepi mérések során rendkívül nehéz az emberi adottságoktól és domborzati viszonyoktól független, a minél pontosabb eredményeket megcélzó mérést végrehajtani.

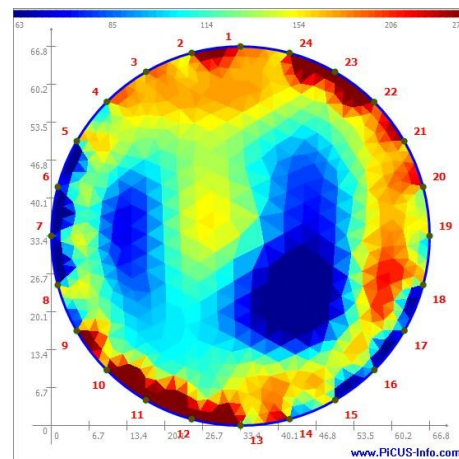
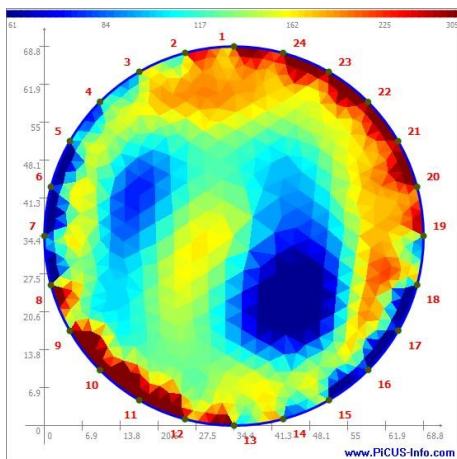
Ha közel mérünk a tőhöz, az – mint később látni fogjuk – jelentősen befolyásolja a mérési eredményeket. Ha viszont túl magasan mérünk a vágási laphoz képest, mivel az álgeszt alakja a törzs mentén folyamatosan változik, szintén befolyásoló hatással bír, téves eredményeket kaphatunk. A fakitermelés során pedig nem várható el az erdőgazdálkodótól, hogy a kitermelt faanyagot darabolja fel.

¹⁹ A faanyag vezetőképességének változásai jelentik a mérések alapját.

Itt felvetődik az előzetes morfológiai vizsgálatok jelentősége. Az adott erdőrészletben, a téli időszakban nagyszámú bükk egyed összehasonlítására nyílik lehetőség. A kéregsérülések, a villás növés és a nagy átmérő feltételezhetően összefüggésben állnak a fáhiba kialakulásával. Ezt alátámasztják a helyszínen fakitermelőkkel folytatott konzultációink is. Elmondásuk alapján a villás növésű egyedek igen nagy számban tartalmazzák a fáhibát.

3.6.2 Eredmények

Első lépésként visszalátogattunk a 162/E erdőrészletbe, ahol impedancia tomográfia segítségével megvizsgáltuk a korábbi, már a diplomamunkám keretein belül elvégzett mérésorozat alapján álgesztesnek ítélt, és fúrásos mintavételezéssel ellenőrzött 162/E/6-os és 162/E/16-os számú bükkfa mintákat. Az eredmények az 5-6. táblázatban, valamint a 27-28. ábrán láthatók.



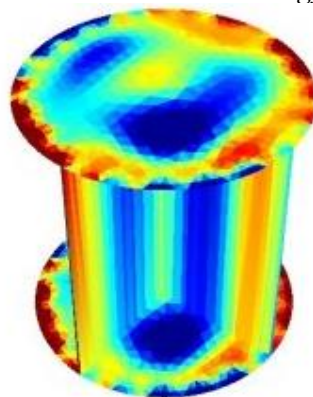
1. mérési szint

Mért átmérő: 68,8 cm
Mérési magasság: 100 cm
Mért impedancia: 61 – 305 Ω m

2. mérési szint

Mért átmérő: 66,8 cm
Mérési magasság: 180 cm
Mért impedancia: 63 – 271 Ω m

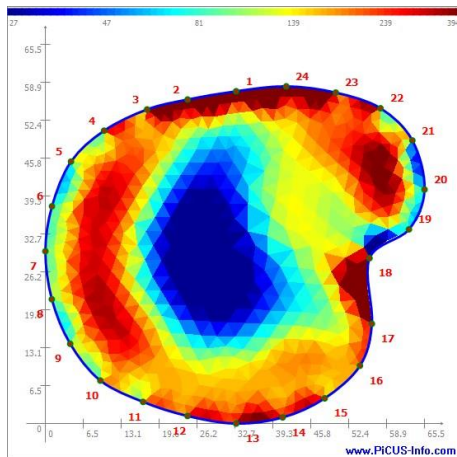
5. táblázat: a 162/E erdőrészlet 6-os számú bükkgyedének ellenállástérképei.



27. ábra: a 162/E/6 jelű bükkgyed 3d-s impedanciatérképe

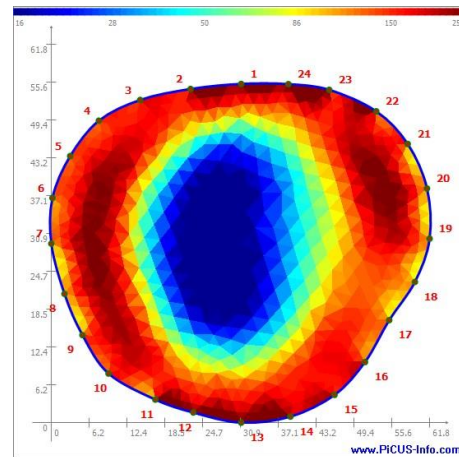
Az 5-ös táblázatban található ellenállástérképeken a különböző mérési magasságokban szinte teljesen megegyező képet láthatunk. Egy kis kiterjedésű, alacsony ellenállású terület az 1-13 elektród tengelytől balra, míg egy nagy kiterjedésű, szintén alacsony ellenállású területet a fent említett tengelytől jobbra helyezkedik el.

Az álgesztet tartalmazó terület 60-70 Ω m-es, míg a környező farész 180-200 Ω m-es ellenállást mutat, egyezést mutatva a korábbi eredményeinkkel.



1. mérési szint

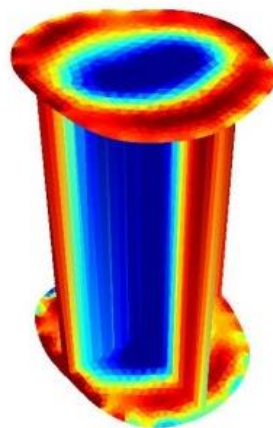
Mért átmérő: 65,5 cm
Mérési magasság: 100 cm
Mért impedancia: 27 – 394 Ω m



2. mérési szint

Mért átmérő: 61,8 – 55,6 cm
Mérési magasság: 190 cm
Mért impedancia: 16 – 251 Ω m

6. táblázat: a 162/E erdőrészlet 16-os számú bükkgyedének ellenállástérképei



28. ábra: a 162/E/16 jelű bükkgyed 3d-s impedanciatérképe

A 162/E/16-os mintánál is látható a megszokottól teljesen eltérő vezetőképességi eloszlás, valamint a fatest középső részén végigfutó fahiba is nagyon jól nyomon követhető. Az alacsony ellenállású rész a keresztmetszet közepén szinte egyenlő nagyságú és formájú az

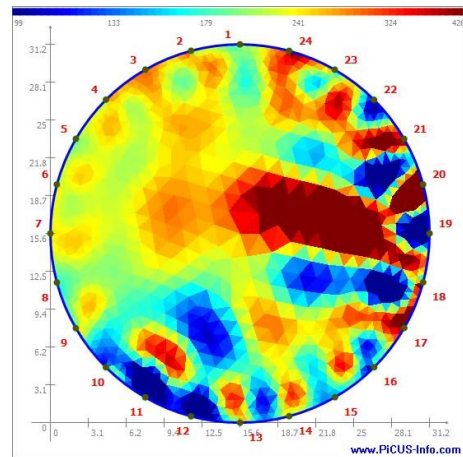
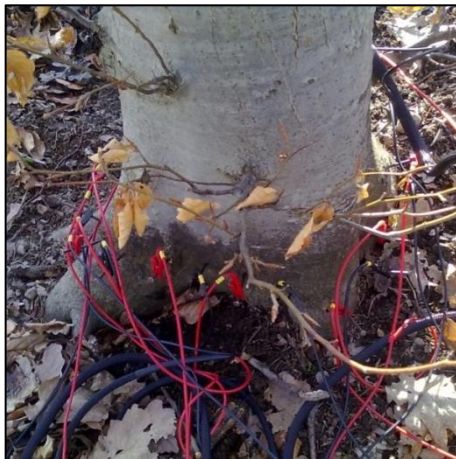
egész keresztmetszetben. A fahibára nagyon alacsony, 16-30 Ωm , míg a környező farészre 50-130 Ωm -es fajlagos ellenállás adódott.



29. ábra: a 162/E/6, egy kontroll minta 162/E/33, és a 162/E/16 és növedékcsapjai (fentről lefelé haladva, balról jobbra a kéreg felé)

A mérések megismételt, immár sokkal részletesebb és pontosabb eredményt adó elvégzésével a mintavételezéssel is megtámogatott korábbi eredményeink (29. ábra) ismét igazolást nyertek, a két előzetesen álgesztesnek ítélt egyed az EIT alkalmazásával is igazolhatóan nagy kiterjedésű, a mérési magasságban is nagymértékben jelen lévő fahibát tartalmaz.

A továbbiakban kettő egyeden tőközeli méréseket végeztünk meglehetősen kicsi, 30-40 cm-es átmérőtartományban. Az aránylag kis átmérők elméletileg lehetővé tették, hogy minél jobban kiküszöböljük az álgeszt befolyásoló hatását az eredményeinkre.



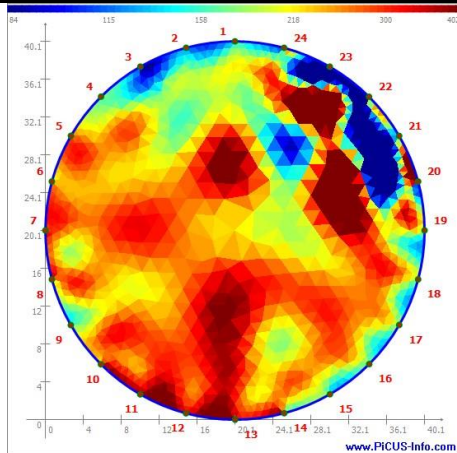
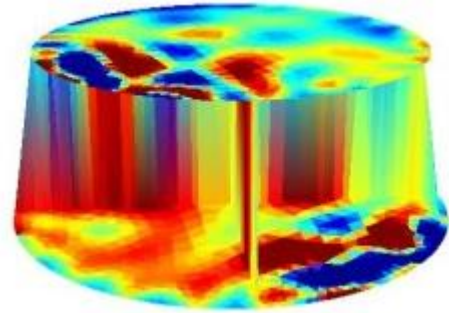
Mért átmérő: 31,2 cm
Mért impedancia: 99 – 426 Ωm
Mérési magasság: 5 cm

7. táblázat: a 140/E/1 egyed fotója és ellenállástérképe

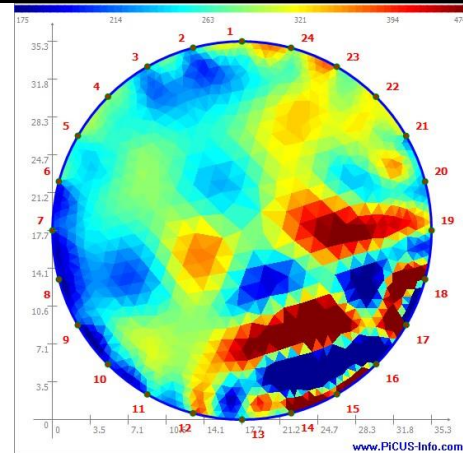
A kiválasztott egyed törzse fiatal ágakat, hajtásokat bőven tartalmazott. Segített a mérésben, hogy a talaj viszonylag tiszta és vízszintes volt, jó hozzáférhetőséget biztosított a mért egyedhez. A 7. táblázatban látható ellenállástérképen álgesztre utaló jel nem

látható. A képen, jobb oldalon a 19-20-as érzékelőnél látható egy viszonylag magas, a mért értékek maximumát tartalmazó, nagy ellenállású rész. Az ellenállástérkép erősen inhomogén, nem a jellemző képet mutatja.

A következő kiválasztott egyed szintén fiatal volt, törzsén jóval kevesebb ággal, hajtással.



40,1
84 – 402 Ω m
5 cm



Mért átmérő
Mért impedancia
Mérési magasság

35,3 cm
175-474 Ω m
15 cm

8. táblázat: a 140/E/2 3D-s ábrája és ellenállástérképei

A magasabb mérési síkban mért első ellenállástérképen álgesztre utaló jel nem látható. A képen a gyökérzetnek megfelelően tagolt nyalábokba rendeződő, magas ellenállású területeket figyelhetünk meg.

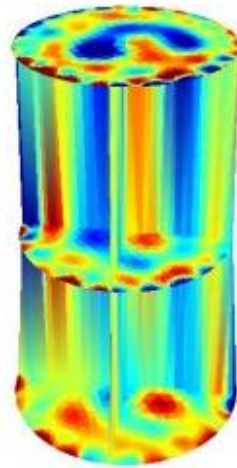
A második mérésnél közvetlenül a talaj síkja feletti mérésből készítettük el az ellenállástérképet. A 8. táblázat eredményeiből látható, hogy nagyjából a fordítottját kapjuk a feljebbi síkon végzett mérés eredményének. Jobb oldalon a 14-19-es érzékelőnél

látható egy viszonylag magas ellenállású, éles határvonallal egy alacsony ellenállású részhez kapcsolódó terület.

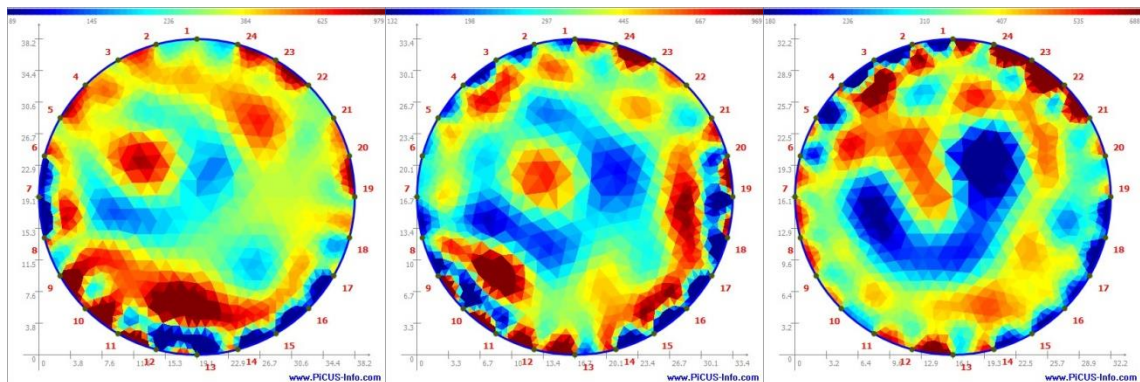
A tőközeli mérések nem szolgáltatnak megbízható eredményt sem az álgeszt detektálásával, sem pedig a kontroll mérések végrehajtásával kapcsolatban. A talaj közelsége, a gyökérzet befolyásoló hatása mind-mind erősen torzítja az eredményeket.

3.6.2.1 Több mérési síkban végrehajtott mérések

A következő mintáknál az alsó törzsszakaszt, tehát a vágáslaptól fokozatosan felfelé haladva mellmagassági átmérő síkjáig mértük meg vezetőképesség szempontjából.



30. ábra: a 152-es erőrszlet 1-es minta 3D-s ellenállástérképe



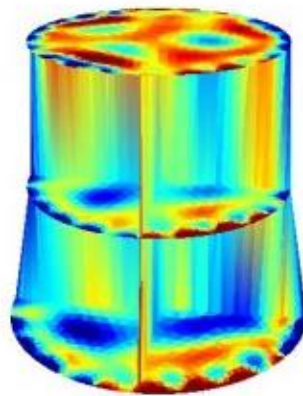
31. ábra: a 152-es erőrszlet 1-es mintájának eredményei

A 30. és 31. ábrán látható 152/1-es mintánk első mérési síkja a vágáslaphoz közel eső 30 cm magasság volt. Itt 38-32 cm-es átmérőt mértünk. A keresztmetszeten inhomogén, viszonylag alacsony ellenállású részeket a középső területeken tartalmazó ellenállástérképet láthatunk. Valószínűsíthetően álgesztre utaló jelet középen láthatunk,

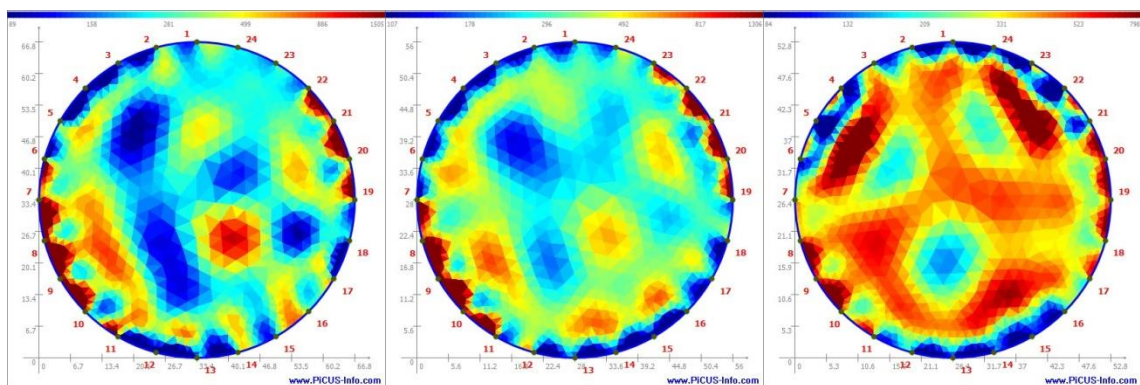
mely felfelé haladva fokozatosan növekszik, egyre nagyobb területet elérve. A fahibára utaló alacsony ellenállású részek már az első, az átmérőnél magasabb mérési sík ellenállástérképén láthatók, így valószínűleg ebben a magasságban már kiküszöbölhető a gyökérzet befolyásoló tényezőinek hatása.

A második mérési sík eredménye alapján megállapítható, hogy a keresztmetszet inhomogén, az előző szinten látható képhez nagyon hasonló ellenállás eloszlást figyelhetünk meg. Fahibára utaló jelet a keresztmetszet középső részén egyértelműen láthatunk.

A harmadik hasonló, de sokkal kontrasztosabb ellenállás eloszlást figyelhetünk meg. Fahibára utaló jelet a keresztmetszet középső részén láthatunk, mely itt már egyértelműen összefüggő területet alkot.



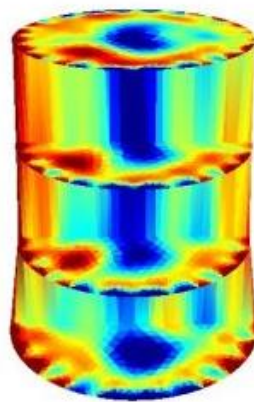
32. ábra: a 152/2-es minta 3D-s ellenállástérképei



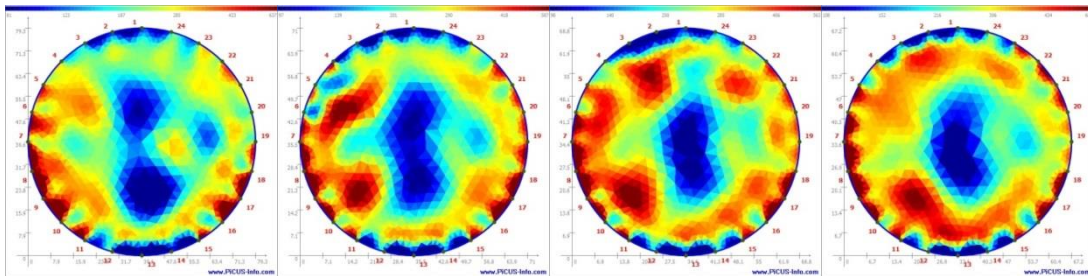
33. ábra: a 152/2-es minta ellenállástérképei

A 32-33. ábrán látható 152/2-es jelű mintát szintén három magasságban mértük meg. Az első mérési síkot amennyire lehetett a vágáslaphoz közel, 30 cm magasságban jelöltük ki.

A végeredményből látható, hogy a keresztmetszeten inhomogén, alacsony ellenállású területeket láthatunk, mely alig-alig tartalmaz magas ellenállású részeket. Álgesztre utaló jelet a baloldalon, a 3-13 érzékelők sávjában figyelhetünk meg. A második mérés 60 cm-es magasságban történt. A keresztmetszet továbbra is inhomogén, bár kiegyenlítettebb, mint az előző mérés esetében, annak folytatásaként értelmezhető. Álgesztre utaló jelet szintén a baloldalon láthatunk. A harmadik mérés 90 cm magasságban történt. A keresztmetszet még inhomogénebb (bár az 1-13 tengelyre közel szimmetrikus), és jóval nagyobbak az ellenállásban lévő eltérések, mint az előző mérés esetében. Megváltozott vezetőképességre utaló jelet az 1-13 tengely mentén, a 13-as érzékelő felett találhatunk.



34. ábra: a 152/3-as minta 3D-s ellenállástérképei

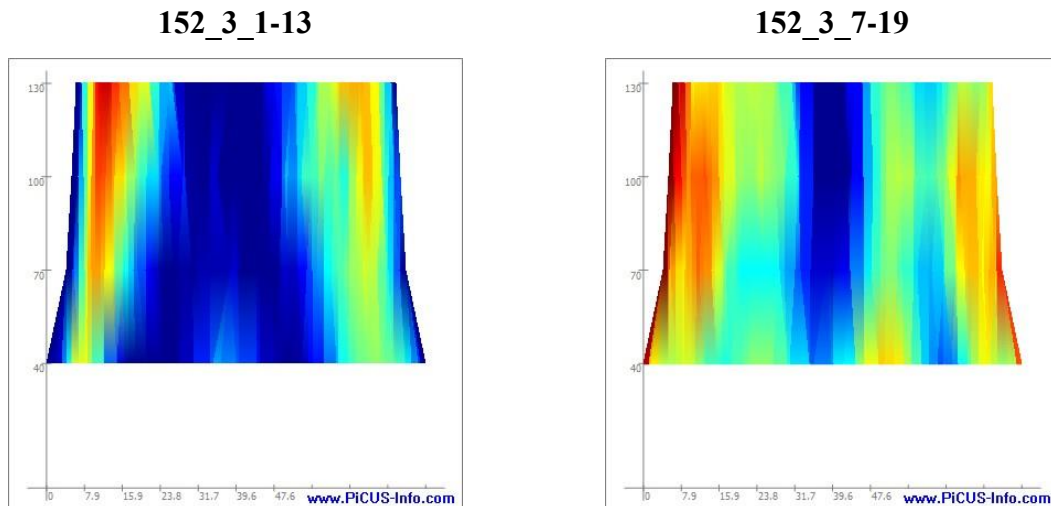


35. ábra: a 152/3-as minta ellenállástérképei

A 35. ábrán látható 152/3-as egyed négy mérési magasságban mértük meg. Ezek közül az első a vágáslaphoz közel eső, 40 cm magasság volt. Az eredményeink szimmetrikus ellenállástérképeket mutatnak mind a négy mérési síkon. Az álgesztre egyértelműen utaló sötétkék sávot a keresztmetszet közepén láthatunk. A második mérés 70 cm-es magasságban történt. A keresztmetszeten hasonlóan szimmetrikus ellenállástérképet láthatunk. Álgesztre utaló jel közepén található, határozottan kisebb (2,5-3 szorosán, az egészséges faanyagéhoz képest) ellenállást mutatva, mint a környező faanyag. A harmadik mérés 90 cm-es magasságban történt. A 7-19-es érzékelő vonalára szimmetrikus

ellenállástérképet láthatunk. A negyedik mérést 130 cm magasságban hajtottuk végre, amely szinte teljesen megegyezik a harmadik mérési síkon látottakkal.

A mért eredményeket 3 dimenziós ábrán egyesítve láthatóvá válik a vizsgált fahiba jelenlétét jelző alacsony ellenállású farész, a törzs geometriai középpontjában. A módszer segítségével nyomon követhető a térbeli lefutása is (34. ábra).

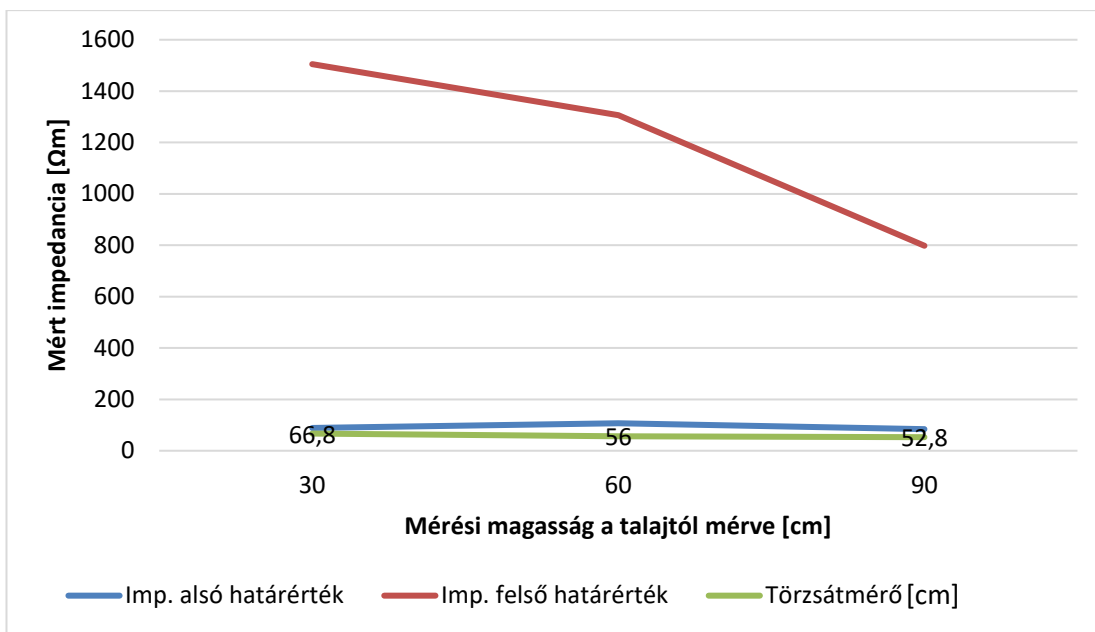


9. táblázat: a 152/3-as minta függőleges metszetei

A 9. táblázat megmutatja a 152/3-as minta 1-13 és 7-19-es elektródengelyek mentén készített függőleges metszeteit. Látható, hogy az alacsony ellenállású terület függőleges (1-13) irányú kiterjedése jóval nagyobb, mint a keresztirányú (7-19). A vágáslaphoz közelítve határozottan két részre válik szét, ahogy ez a vízszintes metszeten is megjelent.

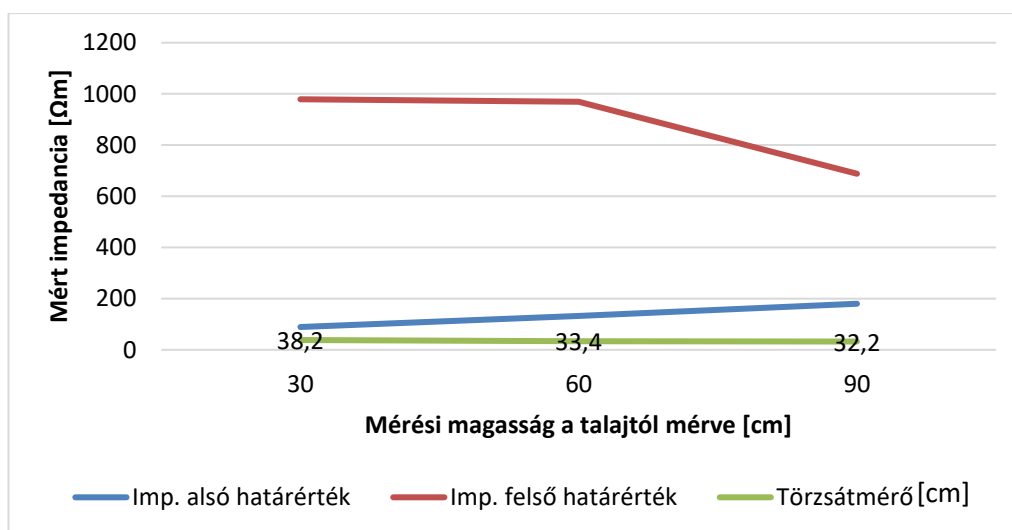
A mérések kiértékelésénél arra is választ, kerestük, hogy hogyan változik a mérhető impedanciatartomány az egyes szinteken, fokozatosan csökkenő átmérők esetén.

A 36. ábrán látható 152/2-es mintánkon három mérési síkon végeztünk ellenállásmérést. A minta nem tartalmazott álgesztet.



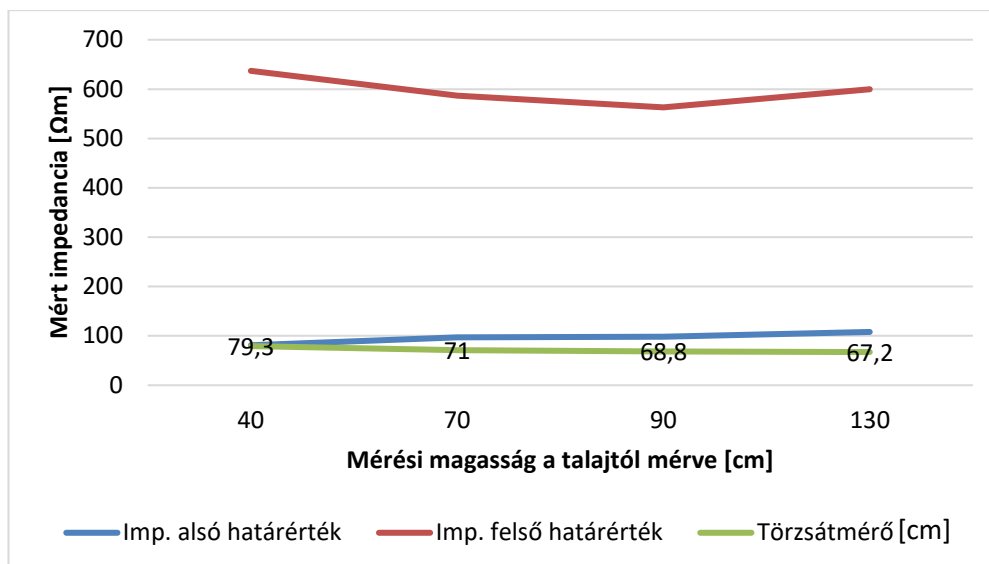
36. ábra: A 152/2-es minta fajlagos ellenállástománya a mérési szintek függvényében

Látható a mérhető fajlagos vezetőképesség felső határértékének meredek csökkenése, mely 90 cm-nél közel felére esett vissza a kezdeti értékekhez képest. A korábban kiértékelt impedanciatérképeken álgesztre utaló jelet nem láthattunk. Mindeközben az alsó határérték enyhe növekedés után ismét csökkent 90 cm-es mérési magasság elérése esetén.



37. ábra: A 152/1-es minta fajlagos ellenállástománya a mérési szintek függvényében

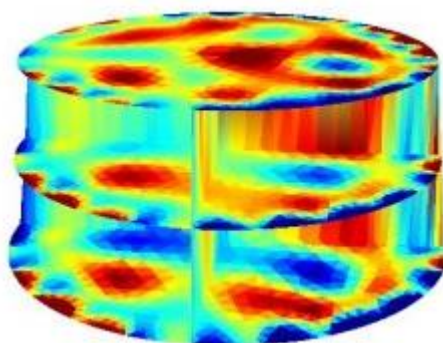
A 37. ábrán látható 152/1-es minta impedanciamaximuma az előzőnél már kevésbé meredeken csökken a 90 cm-es mérési magasság elérése közben. Az impedanciatérképek alapján kisméretű álgesztet tartalmaz. A minimálisan mérhető fajlagos vezetőképesség értékeiben konstans növekedést láthattunk.



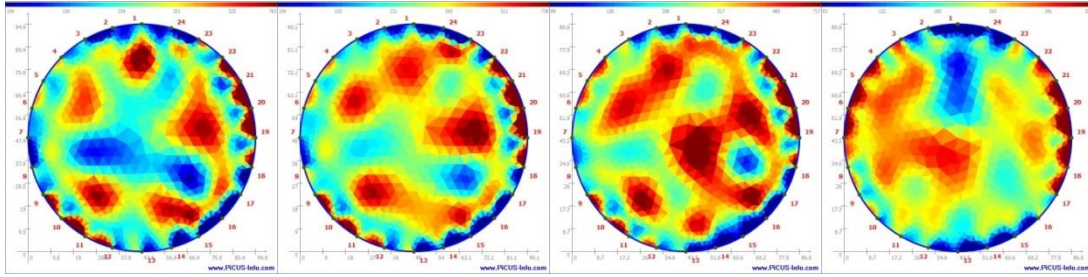
38. ábra: A 152/3-as minta fajlagos ellenállástománya a mérési szintek függvényében

A 38. ábrán a négy mérési magasságban megvizsgált, az impedanciatérképek alapján egyértelműen nagyméretű fahibát tartalmazó 152/3-as minta összefüggéseit láthatjuk. A felső határértékek csökkenése nem számottevő, az alsó határértékek enyhe konstans emelkedését láthatjuk az átmérő csökkenésével párhuzamosan.

Az Egyetemi botanikus kert E épületétől nyugatra található idős bükk egyed 4 magassági szinten mértük meg. A minta ellenállástérképei, háromdimenziós egyesített ábrája a 39-40. ábrán láthatók.



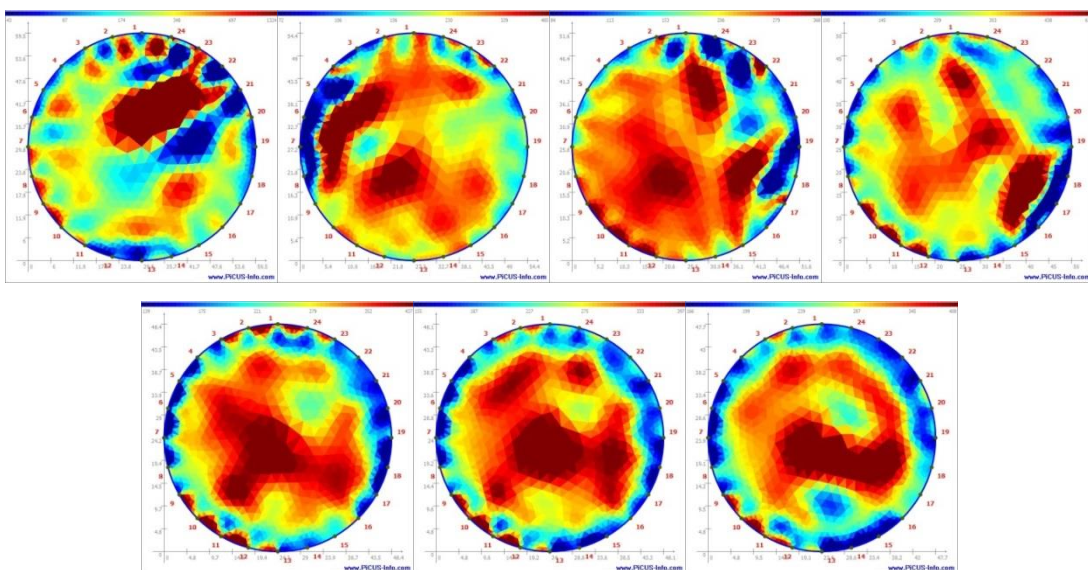
39. ábra: az E épülettől nyugatra elhelyezkedő bükkfa eredményei 3D-s ábrázolással (az első három szint)



40. ábra: Az E épülettől nyugatra elhelyezkedő bükkfa eredményei

Az első mérésünk 60 cm-en történt. A keresztmetszeten inhomogén, az 1-13 tengelyre kissé szimmetrikus ellenállástérképet láthatunk. Megváltozott vezetőképességi viszonyokra utaló jel közepén a 7-17-es érzékelő vonalánál található, viszont a mérés az átmérő mérete alatti magasságban történt, így az a korábbi tapasztalatainknak megfelelően itt sem szolgáltat teljesen megbízható eredményeket. A második mérés 80 cm-es magasságban került kivitelezésre. Az alacsony ellenállású jel közepén a 7-17-es érzékelő vonalánál már sokkal „halványabb”. A harmadik mérés 100 cm-es magasságban történt, ahol a keresztmetszet szintén inhomogén, már nem szimmetrikus. A negyedik mérés az előzőknél jóval magasabban, 260 cm-en történt, a keresztmetszeten mégis hasonló kép tárul elénk. Itt is inhomogén, de már nem szimmetrikus ellenállástérképet láthatunk. Alacsony ellenállású, sokkal egyértelműbb jel közepén a 2-24-es érzékelő vonalánál látható.

Az mérések folytatásaként hét, egymástól egyenlő távolságra lévő magassági szinten végeztünk méréseket a 131/A/1-es mintán. A kapott ellenállástérképeket egyesítve láthatóvá válik a teljes törzsszakasz ellenállástérképe. Ez látható a 41-42. ábrán.



41. ábra: a 131/A/1 minta hét megvizsgált szintjének ellenállástérképei alulról felfelé haladva

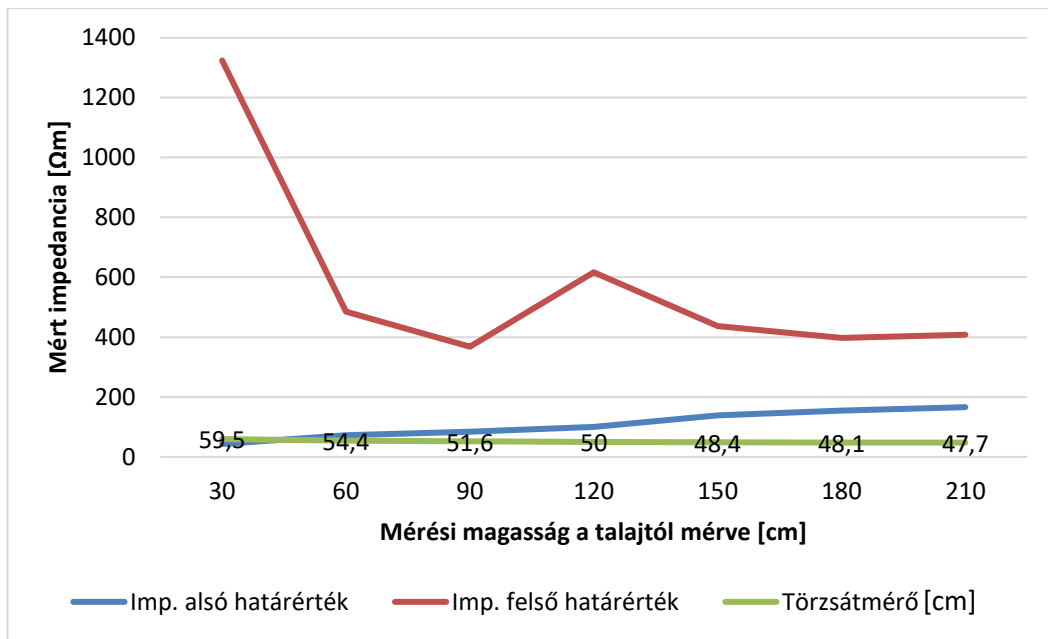


42. ábra: a 131/A/1 jelű bükkegyed 3D-s impedanciaterképe és fényképfelvétele

A rétegenkénti mérést a talajszinttől mért 30 cm-es magasságtól kezdődően hajtottuk végre, majd 30 cm-es ugrásokkal 7 mérési síkot használva 210 cm-nél fejeztük be.

A mintánk mellmagassági átmérője kb. 50 cm volt, a 39. ábrán látható, hogy az első, de még a második mérési sík ellenállásterképe sem ad túl megbízható eredményt, viszont a teljes törzsszakasz feltérképezéséhez elengedhetetlen. Az első két kép egymáshoz viszonyítva is teljesen különböző, valamint a többi réteggel sem mutat hasonlóságot. A közeli gyökérzet befolyásoló hatása szembeutó. A törzs mentén felfelé haladva látható, hogy az egyes rétegek képei egymásból eredeztethetők. Alacsony ellenállású keresztmetszeti tartományt csak a 150 cm-es mérési magasságtól felfelé találunk, viszont azt nem a fatest geometriai középpontjában.

Ha megvizsgáljuk az egyes mérési magasságokban eredményeként kapott vezetőképességi tartományt, a 43. ábra összefüggéseit kapjuk.



43. ábra: a 131/A/1 minta fajlagos ellenállástartománya a mérési szintek függvényében

Nagyon jól megfigyelhető a 60 cm-es mérési magasság alatti bizonytalanság a fajlagos ellenállástartomány növekedésben. Ha a mérhető átmérő közelítőleg megegyezik a mérési magassággal, illetve ennél magasabb szinten mérünk, megközelítőleg azonos mérési tartományt tapasztalhatunk. A törzs mentén felfelé haladva mindemellett enyhén növekvő minimális impedanciaértékeket mérhetünk..

3.6.3 Következtetések

A legmegbízhatóbb eredményt a fatörzs mentén a tőtől és az elágazásoktól távol, legalább egy, az adott síkon mérhető átmérőnek megfelelő távolságra kapjuk. Ezen a területen van a legkevesebb befolyásoló tényezője a talajnak és a lombkoronának.

Az átmérő csökkenésével a mérhető impedanciamaximumok csökkenő tendenciát, míg az alsó határértékek enyhe növekedést mutattak. Az álgesztes mintáink impedanciacsökkenése jóval kisebb, a mérhető fajlagos vezetőképességi tartomány kiegyenlítettebb, mint az egészséges mintáinké. Egyértelműen látható a tőközeli mérések bizonytalansága.

3.7 Feltárható-e a fahiba kialakulása során szerepet játszó bármilyen tényező?

3.7.1 Módszerek

Az ide vonatkozó módszerek összetettek. A korábbi kutatási eredményekre, valamint a saját tapasztalatainkra hagyatkozhatunk, ugyanakkor elsősorban az EIT alkalmazásával feltárható új eredmények keresése az elsődleges cél.

Az adott mérés az előzetesen vizsgálatra alkalmasnak ítélt faanyag esetén a szemrevételezéssel kezdődik, ahol az élőfa külső jegyei alapján keresünk összefüggéseket az álgeszt előrejelzésére. Az elágazások, átmérő, koronaforma stb. mind-mind kiindulópontot jelenthet. Ebben a fázisban jó tapasztalati lehetőség adódik a későbbiekben sikeresen kimutatott fahiba külső jegyekkel való összeegyeztetésére.

A makroszkopikus ismertetőjegyek további támpontot szolgáltathatnak, mint például a kéregsérülések, ágcsonkok, korábbi rendellenes növekedést előidéző tényezők stb.

Végeredményben a fentiek eredményezik a műszer megfelelő elhelyezésének megválasztását, az eredményes mérés kivitelezésének lehetőségét.

3.7.2 Eredmények

A villás növésű mintáink kivétel nélkül álgesztet tartalmaztak. A kettéágazó törzs két ága közötti, a faanyag törzsfelépítése szempontjából átmeneti terület remek vízgyűjtő, nehezen szárad ki, valamint az elágazások szél hatására külön-külön sajátfrekvenciájukon²⁰ mozognak, a fatest itt folyamatos igénybevételnek van kitéve (44. ábra).

²⁰ Búza (2016) megállapította, hogy az eltérő ágak sajátfrekvenciájukon mozognak, mely frekvencia sérülés, fahiba esetén eltolódik.



44. ábra: Villás növésű bükkfa elágazási szakasza, a fatestben álgesztes tartománnyal

A korhadt, sérült ágcsontok a paláston szintén utat nyitnak az álgeszt megjelenésének. Nem egy mintánál tapasztaltuk, hogy nagy bizonyossággal köze lehet az álgeszt kialakulásához, tovaterjedéséhez.

A kéregsérülések, kéregbenövések (45. ábra), rendellenes növekedés szintén a fahiba kialakulását eredményezheti. Az abnormális gesztnél minden esetben egy nagyméretű kéregsérüléssel összefüggésben találkoztunk vele (45. ábra).



45. ábra: Kéregbenövések, kéregsérülések a kialakult álgeszttel

A fiatalkori tőelágazások maradványai, nagyméretű ágcsontok sebhelyei a kor előrehaladtával egyre inkább deformálódnak, sok esetben vízgyűjtőként funkcionálnak, ahonnan erőteljes gesztképződés, korhadás indul meg (46. ábra).



46. ábra: Régi törzssérülést tartalmazó tőközeli törzszakasz bükkfa esetében

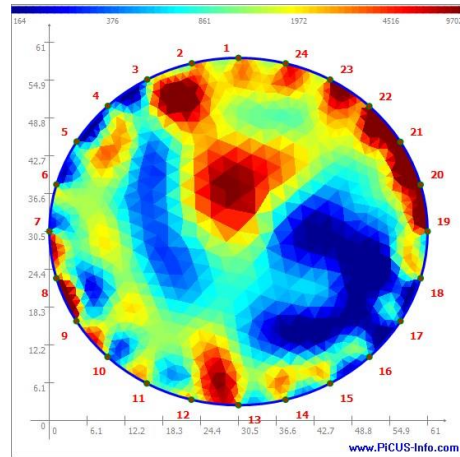
3.8 A vizsgálatok megbízhatóan kivitelezhetők-e kitermelt faanyag esetében is, vagy kizárólag élőfán alkalmazhatóak sikerrel?

3.8.1 Módszerek

A kutatási terv végrehajtása közben folyamatosan végeztünk méréseket a döntés utáni mintáinkon, erdei rakodókon. A mérések előrehaladtával megnéztük, hogy a rönk formában elvégezhető méréseknek van-e létjogosultsága az EIT alkalmazása esetén? Az egyszerű kézi műszerrel megfelelő körülmények között alkalmazhatónak bizonyult, bár a rönkök mérete és tömege miatt teljes körű alkalmazhatóság valószínűleg sikeres mérések esetében is korlátozott marad. Behatóbb, részletesebb, azonnali visszacsatolást adó vizsgálatok elvégzését céloztuk meg ezzel, illetve az élőfán végrehajtott mérés összehasonlíthatóvá vált a később kitermelésre került faanyag rönkben végrehajtott vizsgálataival.

3.8.2 Eredmények

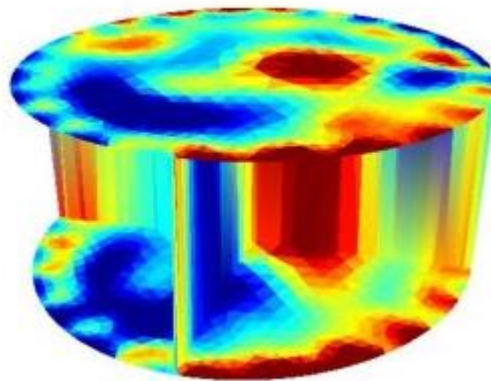
A méréseinket a korábban ismertetettekhez hasonlóan hajtottuk végre, azzal a különbséggel, hogy ebben a szakaszban rönkvégi, vagy a vágáslap közvetlen közelében kiválasztott mérési síkot is alkalmaztunk, valamint a kitermelések bizonytalan időpontja miatt sokkal nagyobb hangsúlyt kapott a faanyag nedvességtartalma.



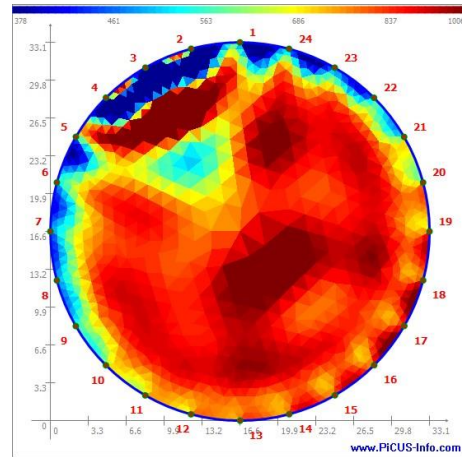
Mért átmérő [cm]: 57,6; 61,0
Mérési magasság [cm]: 27
Mért impedancia [Ωm]: 164 – 9702

10. táblázat: a 205/H/1 minta eredményei

A 10. táblázatban a keresztmetszetről készült fotón jól látható az álgeszt megléte, amely az ellenállástérképen is nyomon követhető. Sajnos a mérést nagymértékben befolyásolta a rönk nedvességtartalma, így irreálisan magas maximális impedanciaértékeket mutatott műszerünk. Viszont az álgesztnél és annak környezetében alacsony ellenállási értékeket adott, a korábbi méréseknek megfelelően (47.ábra).



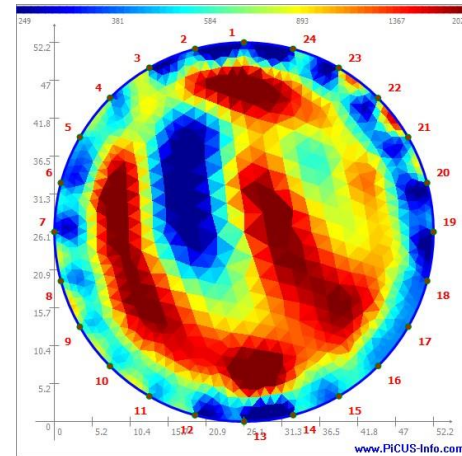
47. ábra: a 205/H/1 minta 3D-s ellenállástérképe



Mért átmérő [cm]: 33,1
 Mérési magasság [cm]: 300 (rönkvéglapi)
 Mért impedancia [Ωm]: 378 – 1006

11. táblázat: a 153/1-es minta erdészeti rakodón mért eredményei

A 11. táblázatban található rönk jól láthatóan egészséges álgesztet tartalmazott. A rönk bütüi felől viszont a száradás erőteljesen megindult, így a kívánt eredmény helyett inkább a még nedves, alacsony ellenállású részeket mutatta ki a műszer, illetve szemléltette a száradó fa esetén tapasztalható téves eredményekre vezető körülményeket.

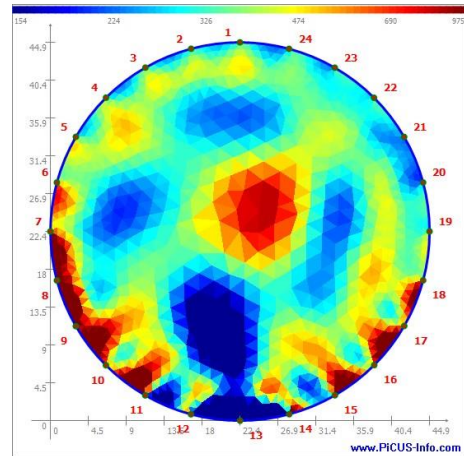


Mért átmérő[cm]: 52,2
 Mért impedancia [Ωm]: 249 – 2025
 Mérési magasság [cm]: 50

12. táblázat: a 153/2-es minta erdészeti rakodón mért eredményei

A 12. táblázatban látható minta egészséges álgesztet tartalmazott, bár jóval kisebbet, mint az előző esetben. A rönk véglapjai felől kezdtek kiszáradni, így a mérést az előző mérésnél 50 cm-rel beljebb hajtottuk végre. Segített a mérésben, hogy a rönk

gesztrészében viszonylag magas volt még a nedvességtartalom, így az álgesztet tartalmazó részt a 3-as, 4-es elektródáknál kimutatta a műszerünk.



Mért átmérő [cm]: **44,9**
Mért impedancia [Ωm]: **154 – 975**
Mérési magasság [cm]: **300**

13. táblázat: a 153/3-as minta erdészeti rakodón mért eredményei

A 13. táblázatban szereplő rönk csillagos álgesztet tartalmazott, valamivel nagyobb méretű fahibát, mint az előző esetben. A rönk bütüinél a száradási folyamat megindult, így a mérést szintén a rönkvéglapoktól beljebb hajtottuk végre. Hátráltatott a mérésben, hogy a rönk keresztmetszetében viszonylag alacsony volt még a nedvességtartalom, így az álgesztet tartalmazó részt nem mutatta ki a műszerünk.

3.8.3 Következtetések

A műszerünk nagyon érzékeny a faanyag nedvességtartalmának megváltozására. Az erdei rakodón lévő rönkökről nem kapunk megbízható eredményt, kivéve, ha hosszan tartó fagynak vannak kitéve. Ebben az esetben a lábon álló mintáinkhoz hasonló eredményeket tudunk felmutatni.²¹ Viszont a rönk hosszúságának közepe felé haladva pontosabb eredményeket kapunk, mint a vágáslapokon. Ennek oka, a megváltozott geometria a mérési sík körül, ugyanis minél közelebb mérünk a fűrészelt felülethez, annál inkább torzul a vezetőképesség eloszlása. A másik ok, hogy mivel a faanyag száradása a bütüknél a legintenzívebb, a mintánk geometriai középpontja felé haladva egyre magasabb nedvességtartalmi értékekkel találkozunk, viszont a mérés kivitelezhetősége egyre nehezebbé válik.

²¹ A feszültségmérésen alapuló méréssorozatunkban a 150/B és 151/B mintáinknál volt tapasztalható.

3.9 A fentiek mellett tapasztalhatók-e előre nem tervezett, járulékos eredmények?

3.9.1 Módszerek

A vizsgálatok során mindig számolnunk kell járulékos eredményekkel is, melyeket általában a mérések során gyűjtött tapasztalatainkból számszerűsíthetünk. A másik eshetőség, hogy adottak a vizsgálati menetrend, a vizsgálatok körülményei, a módszerek, így lehetőségünk nyílik a vizsgálatokat kiegészítő egyéb mérések elvégzésére is, illetve a helyszínen akaratlanul is találkozunk olyan problémával, eshetőséggel, amely érdeklődésre tarthat számot a mérés technika további alkalmazhatóságának szempontjából.

3.9.2 Eredmények

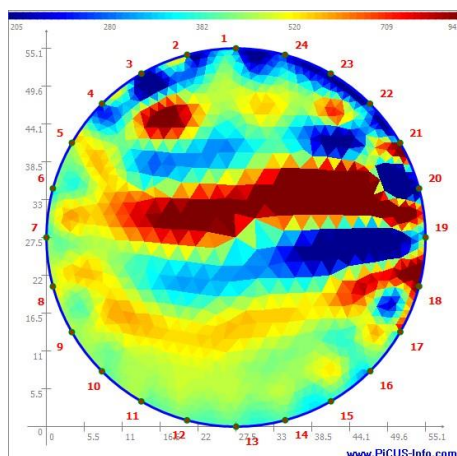
3.9.2.1 Idegen anyag a fatestben

A következőkben részletezett minták eredményei kissé eltérnek az eredeti célkitűzésünktől. A kutatási terv végrehajtása közben találtunk rá öt olyan bükkfákra, melyek törzse idegen testet, fémhuzalt nőtt be. Nagyon mélyen, a vizsgálatunk időpontjában a törzsátmérő közel felénél helyezkedtek el, egymás felett négy, párhuzamos vonalban elhelyezkedve (48. ábra).

Előzetes várakozásainknak megfelelően, teljesen megváltozott impedancia térképeket kaptunk eredményként (14. táblázat).



48. ábra: idegen testet benőtt 167/G bükk egyed és vizsgálata



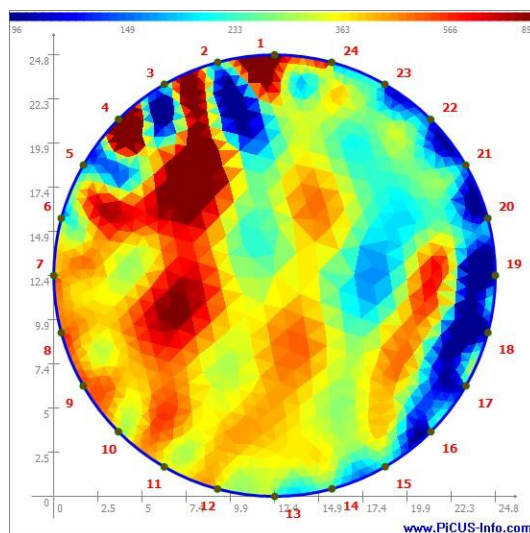
Mért átmérő [cm]: **55,1**
 Mért impedancia [Ωm]: **205– 943**
 Mérési magasság [cm]: **120**

14. táblázat: A 167/G/4 minta ellenállástérképe

A keresztmetszet meglehetősen szabálytalan, az eddigiektől jelentősen eltérő képet mutat. Alacsony ellenállású részt a keresztmetszeten a 19-21-es rész között a belső farészeken találunk. A 6-19-os érzékelők vonalában látható alacsony ellenállású terület mutatja az acélhuzal irányát. Az idegen anyag a fatestben témakörrel kapcsolatos további eredmények a függelékben találhatóak.

3.9.2.2 Ikerbelet tartalmazó minták eredményei

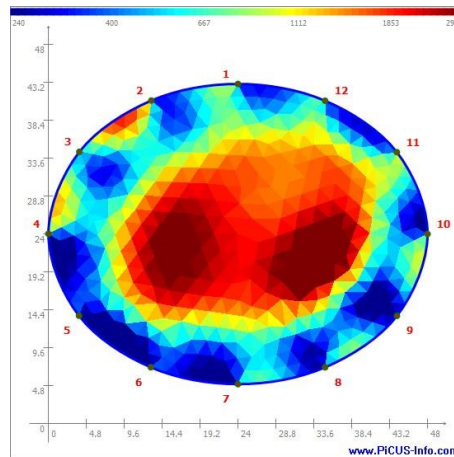
A vizsgálatok végrehajtása közben vizsgáltunk olyan mintákat, melyek kettős belet tartalmaztak.



Mért átmérő [cm] **24,8**
 Mérési magasság [cm] **100**
 Mért impedancia [Ωm] **96 – 853**

15. táblázat: a 188/A/4-es minta fotója és ellenállástérképe

A 15. táblázatban található impedanciatérképen meglehetősen inhomogén ellenálláseloszlást figyelhetünk meg. A legnagyobb ellenállást a faanyag 2-es és 11-es, valamint a 21-13 érzékelők közötti része mutatja. A terület fotóval történő összevetéséből egyértelműen látható, hogy a faanyag belső, bél körüli, magas ellenállású farészei szinte egymás tükörképeiként jelennek meg, melyek az ikerbelet jelzi számunkra. Az eredményt összevetettük egy korábbi, tesztelési célból egy erdeifenyőn végrehajtott méréssel (49. ábra).



49. ábra: villás növésű erdeifenyő ellenállástérképe

A 12 elektródás konfigurációban végrehajtott vizsgálat egy erdeifenyő villás elágazásának alsó részén történt, ahol a kettéágazás a makroszkopikus jegyek alapján is egyértelműen felismerhető volt. A végeredményen jól látható az elágazás kettős bél része az ellenállástérkép magas ellenállású farészeivel.

A két vizsgált egyed eltérő impedanciatérképei nagyon hasonló ellenálláseloszlást mutatnak. Nagyobb, makroszkopikusan is felismerhető elágazás esetén egyértelműbb a vezetőképességben tapasztalható differencia, viszont a bükkegyednél a külső jegyek alapján nem volt előre jelezhető az elváltozás.

3.9.2.3 *Álgesztmentes, fehér egyedek*



50. ábra: a 205-ös erdőrészlet erdészeti rakodóterülete

A Soproni-hegység 205-ös erdőrészletek nyugati fekvésű, fagyzugos vizenyős területein a nagyméretű, közepesen hosszú törzsű bükkegyedek szinte teljes mértékben álgesztmentesek voltak (50. ábra). Abban a néhány esetben, ahol talákoztunk jelenlétükkel, az valamilyen korábbi, viszonylag erőteljes sérülésnek volt betudható. A számos erdőterület közül ebben az egyben talákoztunk ezzel a jelenséggel.

3.9.2.4 *Az álgeszt hosszanti lefutása*



51. ábra: egy erdészeti rakodón található 3 m hosszú törzszakasz alsó és felső vágáslapi álgesztformája

Az álgeszt már a bevezetőben is említett hosszanti lefutási formái következtében, a kutatási terv végrehajtása közben folyamatosan meglévő jelenségről, illetve problémáról van szó. A mérés helyén nehezen látható, de mérhető. Viszont az optikailag is

ellenőrizhető vágáslapokon, ahol a fahiba jól látható, de nehezen mérhető, az álgeszt mérete és formája nem mutatnak egyezőséget. A legnehezebb dolgunk abban az esetben van, amikor a vágáslapon nem látható elváltozás, míg a mérés helyén legalább kimutatható méretű fahibával találkozunk.

Az 51. ábra ugyan azon rönk két vágáslapját mutatja, melynél jól látható, hogy teljesen más színű, alakú, de hasonló kiterjedésű fahibát figyelhetünk meg. A két fotót három méter hosszúságú törzszakasz választja el egymástól. Hasonló jelenségről tanúskodik a 151_B/4-es és 151_B/5-ös minta esete is (52. ábra). A vágáslapon még csak egy nagyon csekély méretű rendellenes elváltozást figyelhetünk meg, viszont 3 méterrel a vágáslaptól már kiterjedt mértékű fahibával találkozunk.



52. ábra: a 151/B/4-es és 151/B/5-ös minta vágáslapi fotója



53. ábra: a 151/B/53-as minta vágáslapi fotója

A 53. ábrán a 151_B/53-as minta vágáslapja, valamint az azon látható kisméretű fahibát figyelhetjük meg. A törzsből hosztolással feldarabolt rönköknél a 16. táblázatban lévő adatokat regisztráltuk.

Álgeszt pozíciója (a vágáslaptól számítva) [cm]	Álgeszt kiterjedése [cm]
0	10 * 5
312	15 * 11
624	6,5 * 11
936	9 * 6

16. táblázat: a 151/B/53 minta álgesztméretei a törzsön belül elfoglalt pozíciója alapján

Bár a kitermelés utáni vágáslapi fotó jó támpontot szolgáltat a közvetlen visszaellenőrzésre, de további pontosítási lehetőség adódik, ha a feldarabolt törzsszakaszokat összevetjük a lábon mért minta eredményeivel. Sajnos erre a terepi mérések alkalmával ritkán adódik lehetőség. Emiatt is volt hasznos az EIT mérések alkalmazhatósága, hogy a több mérési síkon végrehajtott mérések, és 3D-s ábrázolási lehetőség a törzsek további darabolását elkerülve nyerjünk betekintést a fatest belsejébe.

4 Összegzés és kitekintés

A doktori disszertáció a bükkfa (*Fagus sylvatica* L.) álgeszt fakitermelés előtti állapotban, feszültség-, és ellenállásmérésen alapuló roncsolásmentes faanyagvizsgálati technikák alkalmazásával történő detektálására vonatkozó kutatásokat mutatja be. Ez a fahiba a kutatás kiindulópontja, mivel a feldolgozásra, értékihozatalra, késztermékként történő hasznosításra jelentős hatást gyakorol. A kutatás az iparilag még hasznosítható, egészséges álgeszt vizsgálatára koncentrált. Mindemellett a fahiba számos megjelenési formájával kapcsolatosan gyűjtöttünk információkat.

A kutatási terv végrehajtása sikeresnek tekinthető. Az előre megfogalmazott, elérni kívánt célokat teljesítettük. Mindeközben számos olyan megfigyelést tettünk, melyek előre nem voltak tisztázottak.

Sikeresen teszteltünk egy feszültségmérésen alapuló mérés technikát, mely a gyakorlatban is működőképesnek bizonyult, bár több erdőterületen végrehajtott kísérletsorozattal, több minta eredményeinek kiértékelésével javíthatók lennének az alkalmazási lehetőségei.

Szintén használhatónak bizonyult az EIT alkalmazása élőfákon. Az impedancia tomográfias mérésorozat egy új lehetőséget nyit meg a keresztmetszet vezetőképességi feltérképezésében, bár hasznos lenne a piacon beszerezhető újabb, továbbfejlesztett műszerekkel is újabb kutatásokat végrehajtani. Hasznos lenne az álgesztesedésre hajlamos kőrissel és cserrel is összehasonlító méréseket kivitelezni.

Az átmérő és a mért feszültség/impedancia tekintetében nem sikerült határozott összefüggést megállapítani. Túl sok befolyásunkon kívül eső tényező, és időbeni bizonytalansággal kellett szembesülnünk ezen a területen.

Az egyes részterületeken belül vannak olyan előre nem látott tényezők, körülmények, melyek hatására egy szerteágazóbb, nagyobb volumenű kutatássorozat alapjait jelenthetik az eredményeink.

További perspektívát nyithat meg egy-egy kitermelés előtt álló erdőrészlet teljes, törzsenkénti feltérképezése, a termelés során való nyomonkövetése, összehasonlító elemzése, akár az ország több pontján egyidejűleg.

5 Tézisek

- 1. Az bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztes farészében nagyságrendileg háromszor kisebb impedancia, és háromszor kisebb feszültségértékeket mérhetünk az egészséges faanyaghoz képest.**

Az álgeszt kimutatására irányuló mindkét faanyagvizsgálati módszerrel sikerült megbízhatóan detektálni a fahibát. A mérések során a fahibát tartalmazó farészek impedancia és feszültségértékének nagysága harmada az egészséges faanyagéknak.

- 2. Az átmérő mérete és az általunk mért feszültség-, és impedanciaértékek között álgesztes faanyag esetében nincs határozott összefüggés.**

A növekvő átmérő szinte kivétel nélkül magában hordozta az álgeszt meglétét. Az álgesztes farész megváltozott vezetőképesség-eloszlása miatt befolyásolja a mérhető feszültséget és impedanciát, így nem mutatható ki egyértelműen az átmérő növekedésével a mérhető a feszültség és impedancia csökkenő értéke.

- 3. A mérések kivitelezésénél tapasztalható eredményekről általánosságban elmondható, hogy a tő közeli méréseknél a gyökérzet nagymértékben befolyásolja a kapott eredményeket, nem teszi lehetővé a pontos kiértékelést.**

- 4. Az impedancia tomográf használatával feltérképezhető az álgeszt fatörzs hossz tengelyével párhuzamos, hosszanti lefutása is.**

- 5. A bükk álgesztesedése összefüggésbe hozható az erdőnevelési tényezőkkel.**

Az álgesztesnek bizonyuló egyedek nagy többségén külső jegyek alapján is nagy eséllyel következtethetem a fahiba meglétére.

- 6. A legmegbízhatóbb eredményt lábon álló, illetve frissen kitermelt faanyag esetén kapjuk.**

A döntés után fellépő nedvesség veszteség nagymértékben megnehezíti az álgeszt vizsgálhatóságát, valamint a mérés helyes kivitelezhetőségét is negatívan befolyásolja a rönk korlátozott hozzáférhetősége.

- 7. Az impedancia tomográfos vizsgálat alkalmas az ikerbél, mint fahiba kimutatására.**

A keresztmetszeti impedancia térképek alkalmasak a geszt-szijács vezetőképességben megmutatkozó különbségeinek kimutatására.

These

- 1. In red heart of beech (*Fagus sylvatica*), the impedance and the voltage values are approximately three times less than in normal heart of beech.**

Both wood research methods for detecting red heart were successful. During the measurements, the impedance and voltage values of defected wood were one third of the normal wood.

- 2. In case of red hearted beech, there were no definite correlations between the size of diameter and the conductivities and impedances we measured.**

Because a bigger diameter means red heart inside nearly without exception and red heart influences the measurable voltage because of the conductivity distribution, therefore the decreasing voltage value with the growth of diameter cannot be detected definitely.

- 3. In general, about the results of measurements can be said that the results of measurements close to the foot are influenced by root to a great extent so it does not make possible an exact evaluation.**

- 4. The longitudinal running down of red heart can be detected using impedance tomograph.**

- 5. Red heart in beech can be brought into connection with factors of bringing up trees.**

A greater part of wood entities likely to have red heart inside had external marks, which helped to come to the conclusion, there is abnormal wood inside.

- 6. The most reliable result can be got in case of standing wood or newly cut wood.**

After cutting trees, moisture loss makes the ability to consider red heart more difficult and the limited availability of the timber influences the right implementation of measurement negative.

- 7. Impedance tomograph measurements are suitable to detect double pith as an abnormally wood.**

The cross-section impedance maps are suitable to detect differences between conductivity in heart wood and in sapwood.

6 Köszönetnyilvánítás

Doktori dolgozatom nem jöhetett volna Prof. Dr. Divós Ferenc témavezetőm hathatós, ösztönző támogatása, mindenre kiterjedő precizitása, és belém vetett bizalma nélkül. Hálás köszönettel tartozom Nagy Istvánnak a technikai jellegű, Dr. Bejó Lászlónak a folyamatos, tekintélyes méretű segítségnyújtásáért. Dolgozatom elkészültében meghatározott szerepet játszott a Faalapú Termékek és Technológiák Intézet, melynek minden dolgozója segítségemre volt doktori munkám elkészítése során.

Kiemelt köszönettel tartozom Szüleimnek, akik mindvégig kitartóan hittek bennem, folyamatos támogatásról biztosítottak a dolgozatom elkészítése, valamint életem nehézségei során is.

Köszönöm Feleségemnek, aki erre az útra terelt, biztatott, támogatott, megerősített a legnehezebb pillanatokban is. Örökké pozitív hozzáállásával megváltoztatta, formálta, pozitív irányba terelte munkámat, fáradságot nem ismerve segítette dolgozatom és családunk létrejöttét.

Külön köszönettel tartozom Testvéreimnek, akik folyamatosan mellettem álltak, biztattak, támogattak, segítetek, együtt haladtak velem hosszú tanulmányaim során.

Szeretném megköszönni kisfiamnak, ifj. Göncz Baláznak őszinte szeretetét, végtelen türelmét mely átsegített a dolgozat megszületésének nehézségein.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom minden kutatónak, tanárainak, a megszerzett tudás elsajátításának lehetőségéért.

7 Irodalomjegyzék

ALBERT L., NÉMETH ZS., HALÁSZ G, KOLOSZÁR J, VARGA SZ, TAKÁCS L. (1998a): Eltérések a vörös gesztű bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyagának kémiai paramétereiben. Faipar. Nr.1. pp.36-37.

ALBERT, L; NÉMETH, ZS; HALÁSZ, G; KOLOSZÁR, J; VARGA, SZ; TAKÁCS, L. (1998b): A szabad és kötött savtartalom sugárirányú változása a vörös gesztű bükk (*Fagus Sylvatica*) faanyagában. Faipar. Nr.2. pp.23-24.

ALBERT L., KOLOSZÁR J.(2003a): Új kutatási eredmények a bükk álgesztesedését kiváltó okokról. MTA VI. Országos Erdészettudományi és Fatudományi Fóruma.

ALBERT,L; HOFMANN, T; NÉMETH, ZS; RÉTFALVI, T; KOLOSZÁR, J; VARGA, SZ; CSEPREGI, I. (2003b): Radial variation of total phenol content in beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood. Holz als Roh- und Werkstoff 61, 227-230.

APOSTOL T. (2004): Az álgeszt kialakulása a szakirodalom tükrében. Faipar. 2004/1.

APOSTOL T. (2006): A bükk rendellenes gesztesedésének fizikai sajátosságai és hatása a felhasználhatóságra. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.

BALTAZÁR, T., VARGA, I., GÖNCZ, B., DIVÓS, F. (2013): A fehér fagyöngy (*Viscum album*) hatása az alma (*Malus domestica*) faszövetének szerkezeti változásaira [Influence of European mistletoe (*Viscum album*) to the structural change of apple (*Malus domestica*) woody tissue]. Növényvédelem. 49 (6): 245-252. ISSN: 0133-0829.

BECKER D., FREIST H., OLLGARD M. (1989): Zielstarkennutzung und Buchenrotkern. Forst und Holz, 44 Nr. 1. pp.12-14.

BECKER G., SEELING U. (1998): Erscheinungsbild, Auswirkungen und Akzeptanz des Rotkerns in Buchenholz. Projekt des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft Freiburg.

BIEKER, D. AND S. RUST (2010a) Electric resistivity tomography shows radial variation of electrolytes in *Quercus robur*. Canadian J. of Forest Research 40(6):1189–1193. DOI: 10.1139/X10-076.

BIEKER, D. AND S. RUST (2010b) Non-destructive estimation of sapwood and heartwood width in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Silva Fennica* 44(2): 267-273.

BIEKER, D., R. KEHR, G. WEBER, S. RUST (2010) Non-destructive monitoring of early stages of white rot by *Trametes versicolor* in *Fraxinus excelsior*. *Annals of Forest Science* 67(2):210.

BÍRÓ B. (2004): A bükk álgesztesedés vizsgálata a Somogyi Erdészeti és Faipari Részvénytársaság Erdőállományaiban. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.

BITTMANN O. (1930): "Frostkern" der Rotbuche. *Holzmarkt* 22 (135): 3-4.

- BONDOR A.** (1986): A bükk. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BOSSHARD, H.H.** (1965): Mosaikfarbkernholz in *Fagus sylvatica* L. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 116: Nr. 1, pp. 1-11.
- BOSSHARD, H.H.** (1974): Splintholz-Kernholz-Umwandlung. In: Holzkunde Bd. 2, Biologie, Physik und Chemie des Holzes, Birkhäuser Verlag, Basel.
- BORCEA L.** (2002): Electrical impedance tomography, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, Inverse Problems 18 (2002) R99–R136.
- BÖRNER, M.** (1997): Zu Wachstum und Wachstumsreaktionen der Rotbuche nach Feistellung in Fortgeschrittenem Alter. Dissertation, Universität Freiburg, Forstliche Fakultät.
- BRASHAW BK, BUCUR V, DIVOS F, GONCALVES R, LU JX, MEDER R, PELLERIN RF, POTTER S, ROSS RJ, WANG XP, YIN YF,** (2009): Nondestructive Testing and Evaluation of Wood: A Worldwide Research Update, FOREST PRODUCTS JOURNAL 59:(3) pp. 7-14.
- BRAZEE N. J., R. E. MARRA, L. GLÖCKE, P VAN WASSENAER** (2011) Nondestructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography. Forestry 84:33–39. doi:10.1093/forestry/cpq040.
- BUES C. T., SCHULZ H.** (1989): Festigkeit und Feuchtegehalt von Buchenholz aus Waldschadensgebieten. Holz als Roh- und Werkstoff. Nr. 47. pp.515-520.
- BUTTERFIELD B.; MEYLAN B.; PESZLEN I.** (1997): A Fatest háromdimenziós szerkezete, Faipari Tudományos Alapítvány, 97-98 Budapest.
- BÜREN S. v.** (2002): Der Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in der Schweiz nördlich der Alpen. Untersuchungen über die Verbreitung, die Erkennung am stehenden Baum und die ökonomischen Auswirkungen. Diss., Zürich, 1997. Zürich: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. (Beiheft Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 86).
- BUZA Á.** (2016): Élő fák stabilitása – az ágak és a gyökérszet vizsgálata. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.
- BÚZA Á., GÖNCZ B.,** (2015): Comparison of Trees and NDT Methods. Wood Research 60(1): 45-58.
- BÚZA Á., DIVÓS F.** (2015): Wood density measurement by microwave, Proceedings of the 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. USDA Forest Service pp. 192-196.
- CHENEY M., ISAACSON D., C. NEWELL J.,** (1999): Electrical Impedance Tomography, Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM REVIEW Vol. 41, No. 1, pp. 85–101.

CSANÁDY E. (2015): Dr. Csanády Etele munkássága 1949-1992, Lővér Print Nyomdaipari Kft, Sopron, 2015.

DÍVÓS F. (1994): Első Európai Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Konferencia, FAIPAR 44:(12) pp. 205-206. (1994).

DIVOS F (szerk.) (2011):17th Int. Nondestructive Testing and Evaluating of Wood Symposium.

DIVOS F., BEJO L, BRADLEY M., (2015): Near infrared laser reflection based wood moisture content determination, Proceedings of the 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, USDA Forest Service, pp. 98-102.

DIVÓS P., DIVÓS F. (2005): Akusztikus tomográfia élő fák vizsgálatára, FAIPAR 53:(1) pp. 3-8.

DIVOS F, SZALAI L. (2003): Tree evaluation by acoustic tomography, In: Beall FC (szerk.) Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Washington: pp. 251-256.

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.

DIVÓS F., GÖNCZ B. (2015): Bükk (*Fagus sylvatica*) álgeszt kimutatása elektromos feszültség- és ellenállásméréssel, FAIPAR 63:(2) pp. 29-35.

DUBBEL, V., U. WEIHS, F. KRUMMHEUER, A. JUST (1999) Neue Methode zur zweidimensionalen Darstellung von Fäulen an Fichte. [AFZ/Der Wald 26:1422–1425.

FIRBÁS O. (1985): Erdőhasználat I. Mezőgazdasági Kiadó Budapest.

FRITZSCHE (1995): Kernbildung beim Buchenstammholz – Eine Erhebung im Bezirk. Hannover im Forstwirtschaftsjahr 1995. Unveröffentlichter Bericht.

FRANK A. (1996): Rotkernbildung und Zielstärkennutzung in Buchenbeständen des Forstamtes Minden. Allgemeine Forstzeitschrift, 51: Nr. 29. pp.811-812.

FRÖHLICH J. (1951): Urwald-Praxis. Neumann Verlag Radebeul und Berlin.

GADOW W. v. (1989): Zielstärkennutzung und Buchenrotkern. Forst und Holz, 44 Nr. 14. pp.364-366.

GAUMANN E. (1946): Über die Pilzwiderstandsfähigkeit des roten Buchenkerns. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 97: Nr. 1 pp.24-32.

GÖNCZ, B., (2011): Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*) by electric measurement,17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood

Symposium, Sopron 2011. p.121-126, ISBN 978-963-9883-81-9, ISBN 978-963-9883-82-6 volume 1.

GÖNCZ B. (2010): Bükk álgeszt kimutatása impedancia mérés segítségével. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar, Sopron.

HANSKÖTTER, B. 2004. Diagnose fakultativer Farbkerne an stehenden Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) mittels "Elektrischer Widerstandstomographie". Ph.D. thesis. Department of Forest Science and Ecology, Georg-August Univ. Göttingen, Germany. 133 pp.

HAPLA, F. AND D. OHNESORGE (2005) Qualitätsorientierte Schnittholzausbeute in Abhängigkeit von Durchmesser und Rotkernanteil bei Buchenstammholz – ein Modellansatz mit unterschiedlichen Einschnittarten. *Holztechnologie* 46(4):5-9

HERMANN G. (1902): Über die Kernbildung bei der Rotbuche. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen*, 34: Nr. 10. pp.596-617.

HOFMANN T. (2006): A kémiai paraméterek szerepe a bükk (*Fagus Sylvatica* L.) álgesztésében. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.

HOFMANN T., ALBERT L., RÉTFALVI T. (2004): Quantitative TLC analysis of (+) -catechin and (–) -epicatechin from *Fagus sylvatica* L. with and without red heartwood, *JPC - Journal of Planar Chromatography - Modern TLC*, Akadémiai Kiadó, Volume 17, Number 5/October 2004.

HÖRWECKE B. (1991): Untersuchung zur Farbverkernung in Baden-Württemberg. Dissertation, WSL Birmensdorf.

HUPFELD M., BERENDES G., LEHNHARD F. (1997): Buchenrotkern und Zielstärkennutzung. *Allgemeine Forstzeitschrift* 52: Nr. 19. pp.1024-1027.

ILLE R. (1930): Forstkern der Buche. *Wiener Allg. Forst- und Jagdzeitung*, Jg. 48. Nr. 52. pp.321-322.

JAROSCHENKO G. (1935): Der Einfluss der natürlichen Reinigung des Stammes von Ästen auf die Bildung des falschn Kerns bei der Buche und einiger ähnlicher Bildungen bei anderen Holzarten *Forstwissenschaftliches Zentralblatt*, 57: 1. pp.375-379.

JUST, A., F. JACOBS (1998) Elektrische Widerstandstomographie zur Untersuchung des Gesundheitszustandes von Bäumen. Tagungsband des VII. Arbeitsseminars „Hochauflösende Geoelektrik“, Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig.

KAESTNER P. A., BÁÁTH B. L., (2005): Microwave Polarimetry Tomography of Wood, *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 5, NO. 2, APRIL 2005.

KLEIN E. (1992): Beobachtungen und Überlegungen zur Verkernung der Rotbuche. *Holz- und Zentralblatt*, 118: Nr. 8. pp. 96-98.

- KELLER H.** (1961): Vom Rotkern der Buche. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 8: Nr. 8, pp. 498-502.
- KLEMMT H. J.** (1996): Untersuchungen zum Auftreten des Buchenfarbkerns in unterfränkischen Beständen. Diplomarbeit, Universität München, Forstliche Fakultät.
- KNOKE, T.** 2002. Value of complete information on red heartwood formation in beech (*Fagus sylvatica*). *Silva Fennica* 36(4): 841–851.
- KNOKE T.** (2003 a): Predicting red heartwood formation in beech trees (*Fagus sylvatica* L.) Elsevier B.V., *Ecological Modelling* 169 (2003) 295–312.
- KNOKE T., SCHULZ W. S.** (2003 b): Ein Ansatz zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.), *Forstwirtschaft. Cbl. 120* (2003), S. 154-172.
- KOCH G.** (2003 a): 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.
- KOCH G.** (2003 b): Rotkernige Buche – Entstehung und Eigenschaften – (Wissenschaftliche Grundlagen), *Kernholz Magazin*.
- KOCH G., BAUCH J., PULS J., SCHWAB E., WELLING J.,** (2003 c): Holzverfärbungen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* [L.] und Möglichkeiten vorbeugender Maßnahmen, *Holz-Zentralblatt* 126, Nr. 6 (2000) S. 74-75.
- KOCH G., PULS J., BAUCH J.** (2003d): Topochemical Characterisation of Phenolic Extractives in Discoloured Beechwood (*Fagus sylvatica* L.), *Holzforschung / Vol. 57 / 2003 / No. 4* © Copyright 2003 Walter de Gruyter · Berlin · New York (2003) 339–345.
- KOTAR M.** (1995): Gesetzmäßigkeiten der Verbreitung des Rotkerns bei der Buche, Qudenau, H.D.I., pp.197-224.
- KUCERA L.J.** (1991): Die Buche und ihr Holz – eine Einführung in die Problematik. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 142:(5) pp.363-373.
- KUZSELLA L.** (2011): Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira, Doktori (PhD.) értekezés, Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Polimermérnöki Tanszék, Miskolc.
- KREML H., MARK E.** (1962): Untersuchungen über den Kern der Rotbuche. *Allgemeine Forstzeitung Wien*, pp.186-191.
- LARSEN P.** (1943): Die Bedeutung der Winterkalte für die Kernbildung der Buche. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 92 Nr.9. pp.265-272.
- LARSSON, B., B. BENGTSSON, M. GUSTAFSSON** (2004) Nondestructive detection of decay in living trees. *Tree Physiol.* 24(7):853-858. doi: 10.1093/treephys/24.7.853

- LIESE J.** (1930 a): Der Forstkern der Buche. Der deutsche Forstwirt, Nr. 12. pp.812-814.
- LIESE J.** (1930 b): Eigenartiger Rotkernbildung der Buche. Forstarchiv, 16: Nr 1. pp.161-163.
- LIN, C.-J., C-H. CHUNG, T-H. YANG AND F.-C. LIN** (2012) Detection of Electric Resistivity Tomography and Evaluation of the Sapwood-Heartwood Demarcation in Three Asia Gymnosperm Species. *Silva Fennica* 46(3): 415–424.
- MAHLER G., HÖRWECKE B.** (1991): Verkernungserscheinungen bei der Buche in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von Alter, Standort und Durchmesser. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 142: Nr. 5. pp. 375-390.
- MAHLER G., KLEBES J., KESSEL B.** (1986): Beobachtungen über außergewöhnliche Holzverfärbungen bei der Rotbuche. Allgemeine Forstzeitschrift, 41: Nr. 14. pp. 328.
- MARTIN, T.** (2009) Complex resistivity (CR) of wood and standing trees. In: Proc. 16th Int. Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood. October 12-14, 2009, Beijing, China. pp. 10-15.
- MÁTYÁS CS., BERKI I., CZÚCZ B., GÁLOS B., MÓRICZ N., RASZTOVITS E.** (2010): Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology, *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 6 (2010) 91-110.
- MAYER-WEGELIN H.** (1944): Die Verkernung des Buchenholzes. *Silvae orbis*, CIS, Berlin. Nr. 15. pp.227-236.
- MEHRINGER H.** (1989): Eigenschaften des Holzes von Kiefern und Buchen aus Waldschadensgebieten. Dissertation, Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- MEHRINGER H., FRÜHWALD A., BAUCH J.** (1988): Holzbiologische Untersuchungen an Buchen aus Waldschadensgebieten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 42: Nr. 12. pp.447-455.
- MOLNÁR S. SZERK.** (2000 a): Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, 78 Sopron.
- MOLNÁR S., PAUKO A., SZOJÁK P.,** (2000 b): Hazai és egzóta haszonnfák In: Molnár S. szerk. Faipari Kézikönyv I. - Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 96. old.
- MOLNÁR S., BARISKA M.** (2002): Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház, 71-77 Budapest.
- MOLNÁR S.** (2001 a): Az álgesztes bükk faanyag kiváló tulajdonságokkal rendelkezik! Faipar 19.
- MOLNÁR S., NÉMETH R., FEHÉR S., TOLVAJ L., PAPP GY., VARGA F., APOSTOL T.** (2001 b): Technical and technological properties of hungarian beech wood consider the red heart, *Wood research – Drevársky Vyskum* 46:21-30.

- 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, NÉMETH R, TOLVAJ L, HORVÁTH N, ÁBRAHÁM J, KOMÁN SZ, BÖRCsök Z.** (2009): Az álgesztes bükk. Magyar asztalos és –faipar. 19:(1) p. 105.
- MOLL F.** (1949): Der falsche Kern der Buche. Forstwirtschaft – Holzwirtschaft 1949. Nr. 19.
- MÖRATH E.** (1931): Der Forstkern der Buche. Allg. Forst- und Jagdzeitung, Nr 107. pp.312-315.
- MÜNCH E.** (1910): Über krankhafte Kernbildung. Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft. 8: Nr. 10. pp.533-547.
- NECESANY V.** (1960): Der Buchkern. Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied Bratislava.
- NECESANY V.** (1966): Die Vitalitätsveränderung der Parenchymzellen als physiologische Grundlage der Kernbildung. Holzforschung und Holzverwertung, Nr. 18., pp.61-65.
- NECESANY V.** (1969): Forstliche Aspekte bei der Entstehung des Falschkerns der Rotbuche. Holz- Zentralblatt, 95: Nr. 37., pp. 563-564.
- NIEMZ P., KUCERA L.J, FLISCH A., BLASER E.** (1997): Anwendung der Computer-Tomographie an Holz. Holz als Roh- und Werkstoff. 55: Nr. 4. pp. 279-280.
- PANSHIN, A.J. AND C. DEZEEUW.** (1980) Textbook of Wood Technology. 4th Ed. McGrawHill Book Co., New York. pp. 736.
- PERSZE L.** (2015): A fotodegradáció színváltoztató hatása a bútöríparban felhasználható faanyagoknál. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.
- PODHORSKY J.** (1932): Zur Frage der Entstehung des Buchenfrostkernes, Wiener Allg. Forst- und Jagdzeitung 50: Nr. 10 pp.55-56.
- PÖHLER E., KLINGNER R., KÜNNIGER T.** (2006): Beech (*Fagus sylvatica* L.) – Technological properties, adhesion behaviour and colour stability with and without coatings of the red heart-wood. Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences, 2006, 63 (2), pp.129-137.
- RACZ, J.; SCHULZ, H.; KNIGGE, W.** (1961): Untersuchungen über das Auftreten des Buchenkerns. Forst- und Holzwirt, 16: Nr. 19, S. 413-417.
- RAUNECKER H.** (1956): Der Buchenrotkern, nur eine Alterserscheinung?, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 127: Nr. 1 pp.16-31.

- RAUSCH, H.** (1960): Wasserhaushalt und Rotkernbildung bei der Rotbuche, *Allgemeine Forstzeitschrift* 15 (1): 12.
- ROHDE, T.** (1933): Die Frostkernfrage, *Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft*, 4: 591-629.
- ROMERALO, C.** (2010) Reliability of Rotfinder instrument for detecting decay in standing trees. MSc. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). Uppsala, Sweden. 59 pp.
- RUMPF, J., GÓLYA J., MIHÁLY S., HEGYI GY., TÓTH F., JAGODITS M.** (1994): Bükki álgesztesedés vizsgálata a zirci erdőzetnél, Kutatási jelentés, Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőhasználati Tanszék, Sopron.
- RUMPF J, BÍRÓ B** (2003) Examination of false heartwood forming in beech tree in the woods of SEFAG Rt. *Hungarian Agricultural Engineering*. 16:52–53.
- RUST, S. AND L. GÖCKE** (2007) Combining sonic and electrical impedance tomography for the non-destructive testing of trees. In: *proc. 15th international symposium on NDT of wood*, September 10-12, Duluth, MN, USA.
- SACHSSE H.** (1967): Über das Wasser/Gas- Verhältnis im Holzporenraum lebender Bäume im Hinblick auf die Kernbildung. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 25: Nr. 6. pp. 291-303.
- SACHSSE, H.** (1991): Kerntypen der Rotbuche. *Forstarchiv*, 62: Nr. 6, pp. 238-242.
- SACHSSE H., SIMONSEN D.** (1981): Untersuchung über mögliche Zusammenhänge zwischen mechanischen Stammverletzungen und Kernbildung bei *Fagus sylvatica* L. *Forstarchiv*. 52: Nr.5. pp.179-183.
- SACHSSE H., FERCHLAND R.** (1988): Abnorme Kerne bei Rotbuche. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 46: Nr. 11. pp.426.
- SEELING U., SACHSSE H.** (1992): Abnorme Kernbildung bei Rotbuche und ihr Einfluss auf biologische und holztechnologische Kerngrößen. *Forst und Holz*. 47: Nr. 8. pp. 210-217.
- SCHMIDT M., NOWACK S., RIEBELING R.** (2008): Methodische Ansätze und Ergebnisse zur Quantifizierung des Buchen-Rotkerns in Hessen, *Beiträge aus der NW-FVA*, Band 3.
- SCHMIDT O., MEHRINGER H.** (1989): Bakterien im Stammholz von Buchen aus Waldschadensgebieten und ihre Bedeutung für Holzverfärbungen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Nr. 47 pp.285-290.
- SHIGO, A.L. AND L. SHIGO** (1974) Detection of discoloration and decay in living trees and utility poles. Res. Pap. NE-294. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 11p.

SIMPSON W., TENWOLDE A. (1999): Physical properties and moisture relations of wood. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. General technical report FP; GTR-113: Pages 3.1-3.24.

SKUTT, H. R., A. L. SHIGO, AND R. M. LESSARD. (1972.) Detection of Discolored and Decayed Living Trees Using a Pulsed Electric Current. *Can. J. Forest Res.* 2: 54-56.

SEIFFERT P. (2003): Regionales Vermarktungsprojekt rotkernige Buche, der Firma UNIQUE.

SORZ J. AND HIETZ P. (2008): Is oxygen involved in beech (*Fagus sylvatica*) red heartwood formation? *Trees - Structure and Function* Springer, Volume 22, Number 2 / April, 2008.

SOUSANI J (1997): Study the relationship between the red heart and inner trunk decay in beech tree with diameter at breast height in Veisar region. M.Sc. thesis, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran.

SPELLMANN H. (2008): Ergebnisse angewandter, Forschung zur Buche, Universitätsverlag Göttingen.

SZILÁGYI, F. (2001): Fák és cserjék, "dr. Bányai János" Műszaki Kollégium Székelyudvarhely, Erdély.

TORELLI, N. (1979): Beitrag zur Ökologie und Physiologie der fakultativen Kernbildung bei Rotbuche, disszertáció, Humboldt Egyetem, Berlin, Németország.

TORELLI, N. (1984): The ecology of discoloured wood as illustrated by beech (*Fagus sylvatica*), *IAWA Bulletin* 5: 121-127.

TUZSON J. (1904): A bükkfa korhadása és konzerválása. A m. kir. földművelődésügyi minister kiadványai, 17. szám. Pallas részvénytársaság nyomdája, Budapest. 90 old.

VASILJEVIC J. (1979): Heartwood formation in Beech in the Zrinjska Gora region (Croatia), *Sumarsky List* 98 (12): 505-520.

VISINÉ RAJCSI E. (2008): Bükk (*Fagus sylvatica* L.) extraktanyagok képződése, akumulációja és megoszlása. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.

VIZVÁRI Z., KISS T., MÁTHÉ K., ODRY P., VÉR Cs., DIVÓS F. (2015): Multi-Frequency Electrical Impedance Measurement on a Wooden Disc Sample, *ACTA SILVATICA ET LIGNARIA HUNGARICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL IN FOREST, WOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES* 11:(2) pp. 153-161.

WALTER M. KUCERA L. (1991): Vorkommen und Bedeutung verschiedener Kernformen bei der Buche, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 142 (5): 391-406.

WALTER M., KUCERA L., BONSEN K. (1991): Zur Frage der Nasskernbildung bei der Buche (*Fagus sylvatica* L.), *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 142 (5): 435-442.

WEIHS, U. (2001) Farbkerndiagnose am stehenden Elsbeerenstamm. [Diagnosing red heart in standing wild service tree stems] *AFZ/Der Wald* 6:268-270.

WEIHS, U., V. DUBBEL, F. KRUMMHEUER, A. JUST (1999) Die elektrische Widerstandstomographie – Ein vielversprechendes Verfahren zur Farbkerndiagnose an stehenden Rotbuchen. *Forst und Holz* 6:166–170.

WEIHS, U., HOFFMANN, N., FITZNER, S. & SCHILLING, M. (2005a) Diagnose des Eschenbraunkerns mittels “Elektrischer Widerstandstomographie”. *AFZ/Der Wald* 20:1093–1096.

WERNSDÖRFER H. (2005b): Analysing red heartwood in Beech (*Fagus sylvatica* L.) related to external tree characteristics – towards the modelling of its occurrence and shape at the individual tree level, Inaugural-Dissertation, Freiburg im Breisgau, pp 3-14.

WERNSDÖRFER H., CONSTANT T., MOTHE F., BADIA M. A., NEPVEU G., SEELING U. (2005c): Detailed analysis of the geometric relationship between external traits and the shape of red heartwood in beech trees (*Fagus sylvatica* L.), Springer-Verlag, *Trees* 19: 482–491.

WERNSDÖRFER H, LE MOGUEDEC G, CONSTANT T, ET AL. (2005 d): Approach to the estimation of red heart occurrence in *Fagus sylvatica* based on geometric relationships between branch scar development and knot dimensions, *SCANDINAVIAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH* Volume: 20 Issue: 5 Pages: 448-455 Published: OCT 2005.

ZIEGLER, H. (1968) Biologische Aspekte der Kernholzbildung, *Holz als Roh- und Werkstoff* 26: 61-68.

ZYCHA H. (1948): Über die Kernbildung und verwandte Vorgänge im Holz der Rotbuche. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt*, 67, Nr. 2, S. 80-109

ZYCHA H. (1953) Der rote Kern der Buche. *Holz- Zentralblatt* 79: 973-974.

WINKLER A. (1998) *Faforgácslapok*. Dinasztia Kiadó. 27-28; 39. Budapest.

WINKLER A. (1999) *Farostlemezek*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó 46. Budapest.

ELEKTRONIKUS FORRÁS:

http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ome003b.html

8 Kutatással kapcsolatos publikációk, eladások

GÖNCZ, B., DIVÓS, F., (2010): Bükk álgeszt kimutatása impedancia mérés segítségével
Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 2010.

DIVÓS, F., GÖNCZ, B., (2010): Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*) by electric measurement, The 4th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe, Sopron, 17-18 May 2010, p.102-105, ISBN 978-963-9883-52-9.

GÖNCZ, B., DIVÓS, F., (2010): Bükk álgeszt (*Fagus sylvatica*) kimutatása elektromos méréssel, Poszter, InnoLignum Erdészeti és Faipari Szakvásár és Rendezvénysorozat, Sopron 2010.

GÖNCZ, B., (2011): Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*) by electric measurement, 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron 2011. p.121-126, ISBN 978-963-9883-81-9, ISBN 978-963-9883-82-6 volume 1.

GÖNCZ, B., (2012): Bükk álgeszt kimutatása elektromos módszerrel. Nyugat-magyarországi egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Doktorandusz Konferencia, Sopron, 2012.

GÖNCZ, B., DIVÓS, F., (2013): Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*), Poster, Science of Sustainability, International scientific conference for PhD students the University of West Hungary, Győr, Hungary, March 19-20, 2013.

GÖNCZ, B., (2013): Bükk álgeszt kimutatása elektromos módszerrel. Nyugat-magyarországi egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Doktorandusz Konferencia, Sopron, 2013.

BALTAZÁR, T., VARGA, I., GÖNCZ, B., DIVÓS, F. (2013): A fehér fagyöngy (*Viscum album*) hatása az alma (*Malus domestica*) faszövetének szerkezeti változásaira. Növényvédelem. 49 (6): 245-252. ISSN: 0133-0829.

BÚZA Á., GÖNCZ, B., (2015): Comparison of Trees and NDT Methods. WOOD RESEARCH Volume 60, Number 1, 2015 45-58.

DIVÓS F., GÖNCZ B. (2015): Bükk (*Fagus sylvatica*) álgeszt kimutatása elektromos feszültség- és ellenállásméréssel = Detecting red heart in beech (*Fagus sylvatica*) through electric resistance and voltage measurements FAIPAR 63:(2) pp. 29-35.

GÖNCZ B., DIVÓS F., BEJÓ L. (2017): Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements, Eur. J. Wood Prod. (2017). <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1225-4>.

Függelék