

SZAKDOLGOZAT

Vida Bertalan
2023

MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁJÉPÍTÉSZETI, TELEPÜLÉSTERVEZÉSI ÉS DÍSZKERTÉSZETI INTÉZET
BUDAPEST

A Ludwig-szögek alkalmazásának előnyei és hátrányai az akusztikus tomográfos vizsgálatokban

Vida Bertalan

Favizsgáló és faápoló szakirányú továbbképzési szak

Készült a Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszéken

Tanszéki konzulens: Sütöriné dr. Diószegi Magdolna

Konzulens: Dr. Divós Ferenc

Bírálok: _____

Budapest, 2023.05.07.

tanszékvezető/szakirányfelelős

konzulens

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	4
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	5
2.1. A favizsgálat, a favizsgálati módszerek ismertetése, különös tekintettel az akusztikus tomográf működésére.....	5
2.1.1. A vizuális favizsgálat.....	6
2.1.2. A fa föld feletti részeinél a korhadások detektálására alkalmazott műszeres favizsgálatok	7
2.1.3. A fák állapotának és korának meghatározása	11
2.2. A Ludwig-szögek alkalmazása a Fakopp 3D Akusztikus Tomográfos vizsgálatokban	13
2.3. Biztonsági tényező	14
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	17
3.1. A vizsgálatra kiválasztott faegyedek bemutatása	17
3.1.1. A vizsgált fák településen belüli elhelyezkedése, jelentőségük	17
3.1.2. A vizsgált fafajok tulajdonságai.....	19
3.2. A kiválasztott faegyedek vizsgálatának menete	21
3.2.1. A favizsgálatokhoz, fafelvételezéshez használt eszközök.....	22
3.2.2. A fák teljes körű vizsgálata szemrevételezéssel és a szemrevételezéshez használt egyedi adatlap bemutatása	23
3.2.3. A fák vizsgálata akusztikus tomográfal	24
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	27
4.1. A teljes körű vizuális favizsgálat eredményei	27
4.1.1. A PC1 kódú <i>Populus × canadensis</i> favizsgálatának eredményei	27
4.1.2. Az AH1 kódú <i>Aesculus hippocastanum</i> favizsgálatának eredményei.....	28
4.1.3. Az AH2 kódú <i>Aesculus hippocastanum</i> favizsgálatának eredményei.....	28
4.1.4. Az AH3 kódú <i>Aesculus hippocastanum</i> favizsgálatának eredményei.....	29
4.1.5. Az AH4 kódú <i>Aesculus hippocastanum</i> favizsgálatának eredményei.....	29
4.2. Az akusztikus tomográfos vizsgálatok eredményeinek leírása és elemzése, különös tekintettel a Ludwig-szögek alkalmazására	29
4.2.1. Korhadás és biztonsági tényező értékek elemzése	29
4.2.2. Ludwig-szögekkel és nélkülük végzett mérések közötti kontraszt	31

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	34
5.1. Következtetések és gyakorlati tanácsok a Fakopp 3D műszer felhasználóinak a Ludwig-szögek alkalmazásával kapcsolatban.....	34
5.2. Kezelési javaslatok a vizsgált fákra vonatkozóan.....	35
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	36
7. IRODALOMJEGYZÉK.....	37
8. ÁBRAJEGYZÉK.....	38
9. MELLÉKLETEK.....	40

Vida Bertalan

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Szakedolgozatomban a Ludwig-szögek alkalmazhatóságának, előnyeinek és hátrányainak feltárását tűztem ki célul.

A fák vizsgálata során egyre nagyobb jelentőséget kapnak a műszeres favizsgálatok, melyek alkalmazásának a célja az, hogy minél pontosabb diagnózist adhassunk a fák egészségügyi állapotáról, életképességéről. Bár a műszeres vizsgálatok egyre pontosabb láttelet elkészítését teszik lehetővé a fák állapotáról, mégis magukban hordozzák a hibák lehetőségeit. Ezért fontos ismernünk a műszerek biztosított lehetőségeket és korlátokat. Szakedolgozatom is ezekre a korlátokra és lehetőségekre koncentrálok. Célom, hogy a magyarországi favizsgálati gyakorlatban népszerű, elterjedt és hatékony akusztikus tomográf (Fakopp 3D) korlátaira és lehetőségeire világítsak rá, a műszer által biztosított egyik lehetőség, a Ludwig-szöges technika alkalmazásának fényében. A Ludwig-szögek, érzékelésre nem alkalmas jeladók, a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf eszköz részei.

Célom a koros és korhadt faegyedekben a biztonsági tényező és a korhadt terület meghatározása a „vakszöges”, hivatalos nevén Ludwig-szöges technika alkalmazásával. A műszeres favizsgálatok által kapott eredmények kiértékelésével választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy melyek a korlátjai és melyek az előnyei a Ludwig-szögek használatának a koros fák akusztikus tomográfos vizsgálata során.

Szakedolgozatomban 5 db koros és korhadt fát vizsgáltam. A kiválasztott fákon teljes körű favizsgálatot végeztem. Elsőként vizuálisan vagyis szemrevételezéssel vizsgáltam meg a fákat majd Ludwig-szögek bevonásával akusztikus tomográfos műszeres vizsgálattal folytattam a kiválasztott fák vizsgálatát. A vizsgálatok menetét az Anyag és módszer c. fejezetben fogom kifejteni. Az összesen 60 db 2D-s műszeres mérés kiértékelésével, a korhadt terület aránya és a biztonsági tényező adatainak elemzésével megbízható következtetések vonhatók le a Ludwig-szöges technika alkalmazásával kapcsolatban. Szakedolgozatom lezárásaképp javaslatot teszek a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf felhasználóinak, hogy milyen helyzetekben érdemes használni a gyakorlatban a Ludwig-szögeket.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A fejezetben kifejtem a választott témám szempontjából releváns módszereket, fogalmakat hogy a későbbiekben, például a vizsgálataim leírása vagy a Ludwig-szöges méréseim elemzése közben felmerülő kifejezések egy laikus olvasó számára is egyértelműek legyenek. Elsőként a favizsgálatról, majd a Ludwig-szögekről és a biztonsági tényező fogalmáról írok részletesen. A favizsgálatok részletezésénél a vizuális favizsgálat ismertetése mellett a fa talajfelszín feletti részeinél a törésveszély vizsgálatára és a korhadt terület detektálására alkalmas műszeres favizsgálatokat ismertetem.

2.1. A favizsgálat, a favizsgálati módszerek ismertetése, különös tekintettel az akusztikus tomográf működésére

„A két legfontosabb kérdés, melyre a favizsgálat válaszokat keres: Mi a baja a fának és mi módon lehet meggyógyítani” (LUKÁCS, 2020).

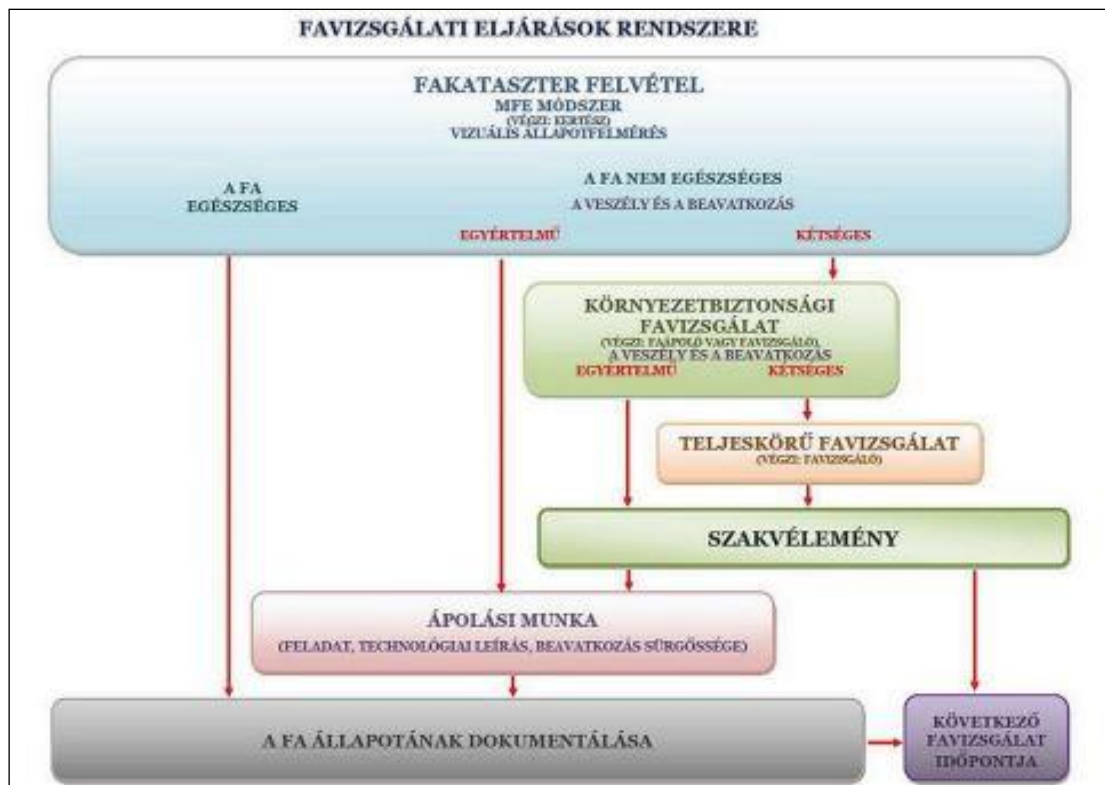
A Magyar Faápolók Egyesülete (továbbiakban: MFE) a következőképp definiálja a favizsgálatot: *„a fa egészségi állapotának vizuális és indokolt esetben további műszeres vizsgálata és elemzése. Tartalmazza a fa megőrzésére, állapotának javítására tett javaslatot, az esetleges kockázatok csökkentésének lehetőségeit is”* (SZALLER, 2013). A favizsgálat során pontos képet kapunk a fa aktuális állapotáról. A fadiagnosztikai adatlap jogi eljárások esetén döntő tényező lehet.

„A fafelmérés-favizsgálat célja, a fák számbavétele, az adott pillanatban egészségi és statikai állapotuk felmérése és a megtarthatóságukhoz, környezeti kockázatukhoz tartozó biztonságuk eléréséhez szükséges intézkedések meghatározása” (PUSKÁS, 2022).

Az 1. fejezetben említett teljes körű favizsgálat tárgya és alanya a fa és a környezete, tehát ezeknek az együttes vizsgálatát jelenti. A favizsgáló joga, kötelessége és felelőssége az adott fa vizsgálatához szükséges legjobb módszer kiválasztása. Műszerek alkalmazásával vagy műszerek alkalmazása nélkül is elvégezhető a teljes körű favizsgálat. Az MFE (SZALLER, 2017) 5 módszert különböztet meg:

- vizuális favizsgálat
- vizuális favizsgálat fastatikai elemzéssel
- vizuális és műszeres favizsgálat
- vizuális és műszeres favizsgálat fastatikai elemzéssel
- vizuális és műszeres favizsgálat gyökérzet statikai elemzéssel

Az alábbi, 1. ábra bemutatja a teljes körű favizsgálat elhelyezkedését az MFE által 2017-ben kidolgozott favizsgálati eljárások rendszerében.



1. ábra: Favizsgálati eljárások rendszere (forrás: SZALLER, 2017)

2.1.1. A vizuális favizsgálat

A vizuális vagy szemrevételezéses favizsgálat lényege, hogy minél egyszerűbb eszközök segítségével (átláló, mérőszallag, magasságmérők stb.), gyorsan elkészíthető diagnózist, kockázatelemzést adhassunk a fa egészségi állapotáról, bonyolult, időigényes műszerek igénybevétele nélkül. A szemrevételezés során a favizsgáló szakember felméri a fa alapadatait, környezetét, a gyökérzet- a törzs- és a korona állapotát, a fa életképességét és egészségi állapotát. A szakember leginkább a fák testbeszédére, a szemmel jól látható elváltozásokra és rendellenességekre fókuszál a vizsgálat során, mint például az üregek, nyílások, csonkolások, sebek, kórokozók és kártevők (pl. gomba termőtestek, rovarok stb.). A szakember a fák különböző testrészeinek rendellenességeit rögzítve határozza meg a szükséges intézkedéseket, kezeléseket. Egy-egy kezelés azonban akár több rendellenesség megoldására is alkalmas lehet (DIVÓS, 2013; PUSKÁS, 2022).

A Magyar Faápolók Egyesületének javaslata (SZALLER, 2017) szerint a vizuális favizsgálati jegyzőkönyvnek a következő adatcsoportokat kell tartalmaznia: adminisztrációs adatok (pl.: megrendelő, felmérés időpontja, lokáció), a fa általános adatai (pl.: egyedi azonosító, fafaj, alapvető méretek), a fa környezeti adatai (pl.: fa védettsége, környezeti állapot, élőhely minősége), a fa állapotának meghatározása (pl.: gyökérzet-, törzs-, korona-, általános egészségi állapot meghatározása Radó-MFE értékszámok alapján), a fa statikája (pl.: kitérés iránya és mértéke, súlypont eltolódás), ápolási javaslat (itt jelezhető, ha további műszeres vizsgálatok szükségesek) vizuális vizsgálat összegzése, fényképek (min. 2 db – egy a fa teljes habitusáról és egy a látható tünetről), egyéb adatok (pl.: következő favizsgálat ideje, favizsgáló neve).

A szemrevételezéses favizsgálat a legtöbb esetben elegendő egy fa állapotának a leírására és a szükséges kezelések, intézkedések meghatározására, azonban ez csak jól képzett, hozzáértő és tapasztalt favizsgáló szakember szakvéleménye esetében jelenthető ki.

2.1.2. A fa föld feletti részeinél a korhadások detektálására alkalmazott műszeres favizsgálatok

A fák szemrevételezéses vizsgálata során nem minden esetben tudjuk egyértelműen és kielégítő mértékben meghatározni a korhadás, egészségromlás mértékét, van olyan szituáció, amikor szükséges műszeres favizsgálatot is végezni. Vannak esetek, amikor a korhadás látható, amikor egy seb miatt alakul ki, vagy amikor a belső korhadás már eléri a kérget. De vannak kívülről láthatatlan korhadások és üregek is, melyek pontos feltérképezésére a vizuális felmérés már nem szolgáltat elég információt és meghaladja annak lehetőségeit. Ilyen esetekben van szükség műszeres favizsgálatra, mely kiegészíti a vizuális favizsgálat eredményeit és így sokkal pontosabb és megbízhatóbb eredményt kaphatunk a fa egészségi állapotáról, életképességéről. Szeretném felhívni ugyanakkor a figyelmet arra, hogy a favizsgálatokhoz használt eszközök (akusztikus mérések, dinamikus tesztek, impedancia tomográfia stb.) mind-mind csak eszközök csupán, melyek csak akkor hasznosak, ha megfelelően, a céljukra használjuk őket és még így is magukban rejthetik a hibázás lehetőségét. Az adott favizsgálathoz, tudnunk kell kiválasztani a megfelelő eszközt, hogy a lehető legpontosabb diagnózist készíthessük el a fáról. Minden fa, minden eset más és más megközelítést, így egyedi specifikus vizsgálati eszköz kiválasztását igényli. A következőkben a magyar favizsgálati gyakorlatban alkalmazott műszereket mutatom be a teljesség igénye nélkül, a témám szempontjából releváns korhadások és törésveszély detektálására alkalmas eszközöket érintve.

A korhadás helyzetének és az érintett terület méretének megállapítása többféle pontossággal lehetséges roncsolásmentes, vagy roncsolást okozó eszközök segítségével.

Roncsolást okozó eszközök:

A legegyszerűbb módszer a műanyag vagy gumialapáccsal végzett kopogtatás és a fúróval történő fúrás. Bár a gumialapács használata során ritkán sérülnek az ép faszövetek, de előfordulhatnak kisebb sérülések a vizsgálat során, vagy egy erősebb ütés hatására könnyen beszakadhat egy rejtett üreg, ezért én ezt a módszert a roncsolást okozó eszközök közé sorolom.

A gyakorlott favizsgáló a kopogtatás hangjából gyakran már annyit meg tud állapítani a rejtett üregekről, mint a drágább műszerek. A legfeljebb 3 mm átmérőjű fúrószárral végzett fúrásokkal, az ellenállásból, a forgács színéből és szagából is következtetéseket lehet levonni a fa állapotára vonatkozóan (LUKÁCS, 2020). Ezek az egyszerűbb, előzetes módszerek jól alkalmazhatóak arra, hogy hol lehet érdemes a fán komolyabb műszeres favizsgálatokat végezni.

Pressler-fúró és fraktométer:

A Pressler-fúró egy faanyag mintavevő, belülről lukas fúró eszköz, melynek segítségével, mintát lehet venni a törzs anyagából (2. ábra). A kifúrt minta vizuálisan is jól vizsgálható, amennyiben korhadt farészt tartalmaz. A Pressler-fúrós technika 10-15 mm átmérőjű, akár több 10 cm mély lyukat hagy hátra a fában. Ezt a sebet a fa egészségének megőrzése érdekében megfelelően kell kezelni.

A fraktométer egy speciális erőmérő műszer, a Pressler-fúró mintavétele során nyert faanyag gyors, akár terepen végezhető elemzésére fejlesztették ki. A kézi műszer meghajlítja és eltöri a fát, s így annak szilárdságáról, erőhatásokkal szembeni ellenállásáról ad információt. A szilárdság függ a fafajtól, a hajlítás irányától és a mintabeli faanyag állapotától (egészséges vagy korhadásnak indult) (BUZA, 2021).

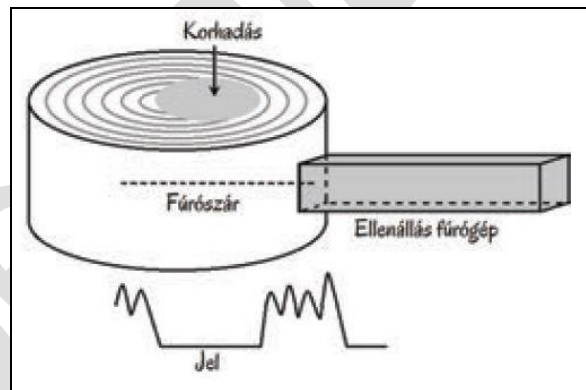
Fúrásellenállás mérés rezisztográfval:

Az ellenállásfúrás egy vékony (néhány mm-es), de hosszú (a fát keresztmetszetében átérő) fúrószárral történik és a fúrással szemben érzékelhető ellenállást méri (3. ábra). Az ellenállás apró változásaiból lehet következtetni a szöveti szerkezet minőségére, korhadás jelenlétére, de még az évgyűrűszerkezet is láthatóvá válhat a rezisztogramon. A technika vonalmenti akusztikus vizsgálat és tomográfia ellenőrzésére szolgálhat, illetve igazolhatjuk vele egy korhadás vagy egy gyűrűs elváltozás jelenlétét. Hátrányai, hogy a fúrás a vizsgált rétegen csak egyetlen vonalról ad információt, használata körülményes (nehéz a fúró, egy mérés körülbelül 5 perc) továbbá kezelendő sebet hagy maga után és akár utat nyithat a gombáknak az ép faanyag felé (BUZA, 2021).



2. ábra: Pressler-fúró (forrás:

<https://www.iguiecologia.com/idade-das-arvores-e-possivel-saber/>)



3. ábra: Az ellenállásfúrás elve (forrás: BUZA, 2021)

Tükrözés

Az embergyógyászatból (endoszkóp) átvett módszer során egy 10 mm átmérőjű furatba vezetnek bele egy vizsgáló csövet, mellyel kedvező fényviszonyok mellett vizsgálható a fa és felvételek is készíthetők. A módszer gyökér vizsgálatára is használható, azonban hasonlóan a fenti fúrásos vizsgálatokhoz ennek is hátránya, hogy roncsolással jár (LUKÁCS, 2020).

Roncsolásmentes eszközök:

Két érzékelős, egyszerű akusztikus tomográf, más néven 1D-s, vonalmenti akusztikus mérés:

A hanghullám lassabban terjed levegőben (kb. 340 m/s) vagy gyengébb minőségű (pl. korhadt) faanyagban, mint az egészséges faanyagban (rostirányra merőlegesen 2000 m/s). Ebből kiindulva, ha összehasonlítunk egy teljesen egészséges faanyagot egy korhadttal, akkor azt láthatjuk, hogy az egészséges fában lesz gyorsabb a megfigyelhető hangterjedési sebesség. Korhadás esetén, az a jel ér át elsőként a jeladó érzékelőtől a jelvevő érzékelőig, amely egészséges faanyagban halad, még akkor is, ha ez azt jelenti, hogy meg kell „kerülnie” a korhadt részt (4. ábra). A legegyszerűbb akusztikus mérés az 1 D-s, vonalmenti mérés, amikor 1

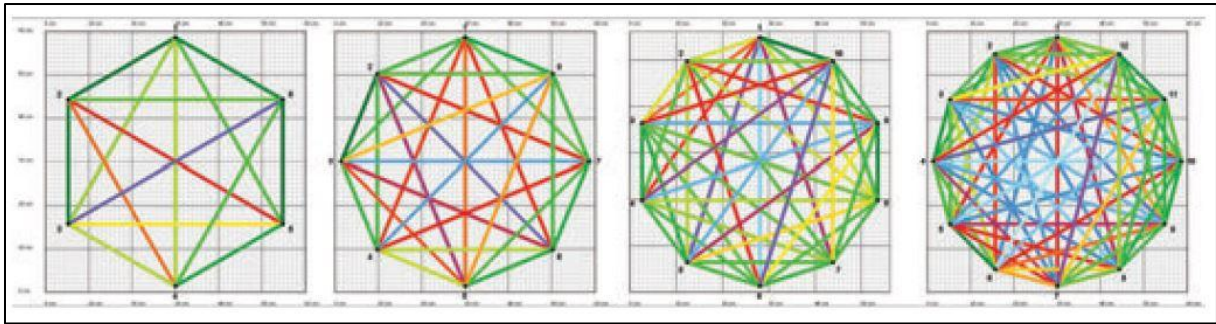
jeladó és 1 jelvevő érzékelőt használunk. Az eszköz a hang fában való terjedési idejének mérésére szolgál. A jelet egy kalapácsütés segítségével generálhatjuk a kiindulási érzékelőn. A hanghullámot a jelvevő érzékelő veszi. Az eszközhöz tartozó szoftver (pl. Fakopp Tree Sonic) a mért terjedési időt megjeleníti. A terjedési idő mérésének segítségével sebességet számolhatunk, aminek segítségével felismerhetjük a korhadt részeket, odvakat a fa belsejében a két érzékelő között. Fontos tudni, hogy az akusztikus módszerek a leggyorsabb jeleket mérik az érzékelők között, így a korhadt rész belsejéből nem kapunk információt. Bizonyos anyagok jelenléte a fában torzíthatja a mérési eredményeket, pl. ha jég vagy beton található az üregben, akkor a hang hasonló sebességgel vagy gyorsabban terjedhet, mint egészséges faanyagban. Ugyanígy félrevezethetik a mérési eredményeket, ha fém található a faanyagban (BUZA, 2021; SZALLER, 2017).



4. ábra: Példa egy 1D-s, vonalmenti akusztikus mérésre (forrás: BUZA, 2021)

Több érzékelős akusztikus tomográfia:

Működési elve hasonló, mint a vonalmenti akusztikus méréseknek, csak itt egy 2D-s tomogramot (hangterjedési sebesség ábrát) kapunk a több érzékelővel (általában 6,8,10,12 vagy több) végzett mérésnek köszönhetően. Számos fajhoz meghatározták, hogy mekkora a hang terjedési sebessége egészséges faanyagban. Ezekről a sebességértékektől való eltéréseket ábrázolják (pl. színskálák segítségével) a tomogramok (hangterjedési sebesség ábrák) az akusztikus vizsgálatokban, melyeken így jól elkülöníthetők az egészséges és a korhadt területek a faanyagban. A hanghullámokat az érzékelőkön egy kalapács ütéssel generálhatjuk. Mind a tomogram felbontása, mind pedig a megbízhatósága is növekszik, ha több érzékelőt használunk (5. ábra). Viszont két érzékelőt 5 cm-nél közelebb már nem érdemes tenni egymáshoz (BUZA 2021). A geometriát még ennél is pontosabbá tehetjük jeladó Ludwig-szögek alkalmazásával, lásd későbbiekben.



5. ábra: Több érzékelő használatával, megbízhatóbb tomogram képet, megbízhatóbb eredményt kapunk a több „mérési vonalnak” köszönhetően

(forrás: BUZA, 2021)

Fontos, hogy az érzékelőknek a kérgen át a faanyagba kell érnie, a megfelelő működés érdekében, tehát az érzékelőknek hosszabbnak kell lennie, mint a vizsgált fa kéregvastagsága. Általában a 6 cm hosszú érzékelő „tüske” megfelelő, de vastagabb kérgű fák (idősebb nyarak, mamutfenyő) esetében szükséges hosszabb érzékelővel, 12 cm-es „hosszútüskével” dolgozni (6. ábra).

Magyarországon a legelterjedtebb akusztikus tomográf a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf, közismert nevén „Fakopp” vagy Fakopp 3D műszer, melynek fejlesztője és gyártója dr. Divós Ferenc. Külföldön „ArborSonic 3D” néven ismerik.



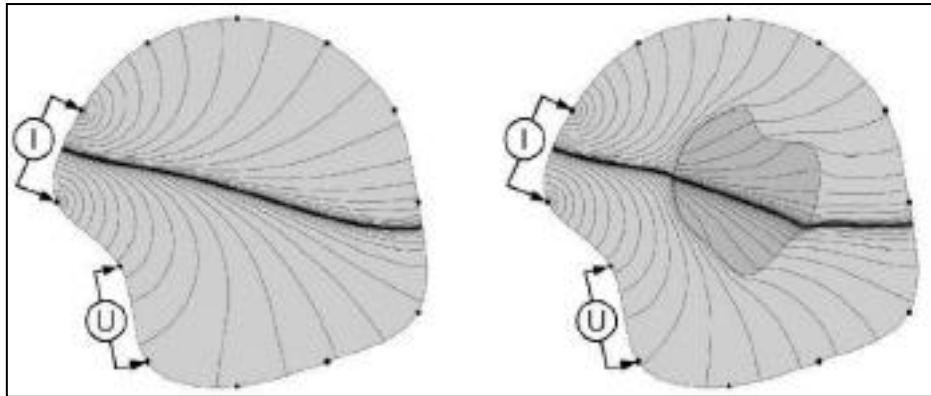
6. ábra: A Fakopp 3D Akusztikus Tomográfhoz tartozó 6 cm-es és 12 cm-es („normál”- és „hosszútüske”) Piezo érzékelők

(forrás: BUZA, 2021)

Elektromos impedancia tomográfia:

Az elektromos impedancia a geofizikából került a faviszgatás területére. Az impedancia tomográfia elsősorban az anyag inhomogenitásait képes megtalálni. A mérés során elektródákat kell felhelyezni a törzsre, úgy, hogy a kérgen átérjenek. Az elektródák közül kettőn keresztül áramot vezetnek a fába, míg másik két elektróda méri a feszültséget. Az anyag inhomogenitásai megváltoztatják a mérhető feszültséget, ezek a változások több vagy kevesebb víz vagy ionok jelenlétére utalhatnak, álgesztesedésre, sérülésekre (pl.

ághelyekre) vagy aktív gomba jelenlétére. A fa elszíneződése, anyagcseréje, gesztje és szijácsa tanulmányozható impedancia tomográfiával. Az elektromos ellenállás különbözik a hangsebességtől, így a belőle kapható tomogram jelentősen eltér az akusztikus tomogramtól (7. ábra). Elektromos ellenállás tomográfiával a faanyag változásai követhetőek nyomon, akár már a változás olyan korai szakaszában, amikor a sűrűség nem változott meg (pl.: gombatámadás korai szakasza). A változás észleléséhez először az egészséges állapot mintáját kell megmérnünk. Ez a minta fafaj függő (BUZA, 2021).



7. ábra: Elektromos ellenállás térképek, tomogramok.

A bal oldali kép egészséges állapotot, a jobb oldali kép elváltozást jelez (forrás: SZALLER, 2017)

2.1.3. A fák állapotának és korának meghatározása

A fák állapotának meghatározásában a magyar faápolási gyakorlatban a legelfogadottabb módszer a Magyar Faápolók Egyesülete (MFE) által javasolt, az Európai Unióban kidolgozott és általánosan elfogadott dr. Radó Dezső által 1998-ban honosított ötlépcsős faállapot-felmérési módszer, melyet a Magyar Faápolók Egyesülete korrekciókkal egészített ki.

Az eredeti módszert dr. Radó Dezső a „Bel- és külterületi faszorok EU-módszer szerinti értékelése” című munkájában részletezi (RADÓ, 1999). Az eredeti módszer 1-5-ig terjedő számértékekkel és az azokhoz tartozó szöveges állapotmeghatározásokkal értékeli a vizsgált faegyed esetében a gyökérzet állapotát, a törzs állapotát, a korona állapotát, az ápolás mértékét és az életképességet. A szemrevételezés során alkalmazott módszerben az 5-ös számérték a legjobb állapotot jelző érték. Az állapotjelző értékek számtani átlagából lehet következtetéseket levonni a faegyed várható élettartamára vonatkozóan (RADÓ, 1999).

A Magyar Faápolók Egyesülete kisebb korrekciókkal vette át a fent bemutatott módszert, mivel az sok szempontból nem felelt meg a modern fafelvételezési kritériumoknak. A legfőbb különbség, hogy a módosított módszer beveszi az értékelésbe a „0” számértéket, mert egy kisedésre váró tuskó vagy üres fahely nem jelölhető az eredeti meghatározások alapján és a kataszter programok megkövetelik, hogy az értékjelölő mezőkbe adat kerüljön. A másik nagy különbség, hogy az új módszer „életképességet és egészségi állapotot” értékeli. Az életképesség meghatározásánál a „vágásérettség” kifejezést kivették az értékelésből (hiszen egy parkban álló fa akár 100 év felett is kiváló egészségi állapotnak örvendhet), továbbá az értékelésnél a fa teljes egészének (gyökérzet, törzs, korona) egészségi állapotát figyelembe veszik. A Radó-MFE faállapot értékelési módszer a gyökérzet értékelésénél a gyökérzetet és a gyökérnyakat, a korona értékelésénél a koronaalapot és a

koronát együttesen vizsgálja. A törzs állapotának az osztályzásánál természetesen figyelembe veszi a gyökérményak és a koronaalap állapotát (SZALLER, 2013).

Az alábbi, 1. táblázat a módosított Radó módszert vagy más néven Radó-MFE (faállapot értékelési) módszert mutatja be.

1. táblázat: A Radó-MFE faállapot értékelés (forrás: SZALLER, 2013, szerkesztve)

	Értékelés	Osztályzat
A gyökérményak állapota	Láthatóan fejlett gyökérményak, optimális termőhelyen, ép gyökérményak	5
	A gyökérményak fejlődése kismértékben gátolt, elfogadható termőhelyen, a gyökérményak nem sérült	4
	A gyökérményakon és/vagy a gyökérményakon látható kisebb károsodások (sebek és korhadások), csekély hibákkal rendelkező termőhelyen	3
	Gyökérményakon és/vagy a gyökérményakon látható erős felszíni károsodás, jelentősen kedvezőtlen termőhelyen	2
	A gyökérményak erős, legalább 50 %-os károsodása, nagyon rossz feltételekkel rendelkező termőhelyen	1
	Elhalt gyökérményak, üres fahely	0
A törzs állapota	A törzs nem károsult	5
	Kisméretű károsodás (néhány felszíni seb)	4
	A törzs egyértelmű károsodása (néhány felszíni seb és korhadási helyek)	3
	A törzs erős károsodása (több nagyfelületű seb, mély bekorhadások)	2
	A törzs előrehaladottan károsult, elhalt, korhadt (a törzs oly mértékben károsult, hogy statikai vagy tápanyagellátási funkcióját nem képes ellátni)	1
	Üres fahely	0
A korona állapota	A korona formája (a fajra jellemzően) ép, a lombvesztés nem haladja meg a 10 százalékot.	5
	A lombvesztés 11–25 százalék közötti	4
	Jelentős a lombvesztés (26-50%)	3
	Erős koronakárosodás (50% felett)	2
	Elhalt korona, teljes lombvesztés	1
	Üres fahely	0
A fa ápoltságának mértéke	Optimálisan ápolta fa	5
	A fa kismértékű ápolásihiányt mutat	4
	A fa közepes mértékű ápolásihiányt mutat	3
	A fa jelentős mértékű ápolásihiányt mutat	2
	A fa elhanyagolt állapotban van (rajta ápolási munkát nagy valószínűséggel még egyáltalán nem, vagy nagyon hosszú ideje nem végeztek)	1
	Üres fahely	0

A fa életképessége és egészségi állapota	A fa kitűnő egészségi állapotú	5
	Beavatkozással a fa élettartama a termőhely által meghatározott maximális életkort megközelíti	4
	A fa a termőhely által meghatározott életkor előtt le-cserélendő	3
	Egy évtizeden belül lecserélendő	2
	Sürgősen lecserélendő az állapota vagy károkozás veszélye miatt (a károkozás veszélye csak a fa kivágásával kerülhető el)	1
	Üres fahely, tuskó	0

A fák korának meghatározása többféle módon lehetséges. Ez az adat a faérték-számítás miatt nagy jelentőséggel bír. A fakataszter felvételekor és a faérték-számításkor a fa teljes biológiai életkorával kell számolni, vagyis az ültetési időponttól eltelt időhöz hozzá kell adni az ültetett csemete korát is. A kormegállapítás során az egyik leghasznosabb információ a fa ültetésének hivatalos dokumentációja. A pontos ültetési dátum és az ültetett facsemete kora vagy becsült kora segítségével viszonylag pontos becslést tudunk adni a fa korára vonatkozóan. Amennyiben ez a dokumentum nem áll rendelkezésre, akkor a fafaj kronomorfológiai jellegzetességei (pl. növekedési gyűrűk, ágelágazódások, ágörvek visszaszámolása) vagy a törzsátmérő alapján tudunk következtetni a fa korára. A törzsátmérő alapján alkalmazhatjuk az MFE által ajánlott törzsátmérő-kor hányadosokat vagy a dr. Radó Dezső által kidolgozott kormeghatározást (SZALLER, 2013). RADÓ (1999) 5000 mérés átlagából összesen 94 fafajra végzett kormeghatározást törzsátmérők alapján. A törzsátmérő 10 cm-es osztásaival határozta meg a fafajok korát.

2.2. A Ludwig-szögek alkalmazása a Fakopp 3D Akusztikus Tomográfos vizsgálatokban

A „Ludwig-szögek”, érzékelő nélküli jeladók, a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf eszköz részei. Anyaguk M1 szerszámacél (BÖHLER-K720), mely sokoldalúan alkalmazható, közepesen ötvözött hidegalakító szerszámacél. Az anyag minőségére jellemző tulajdonságok: „nagy felületi keménység, jó éltartósság, nyomószilárdság és szívósság” (URL1).

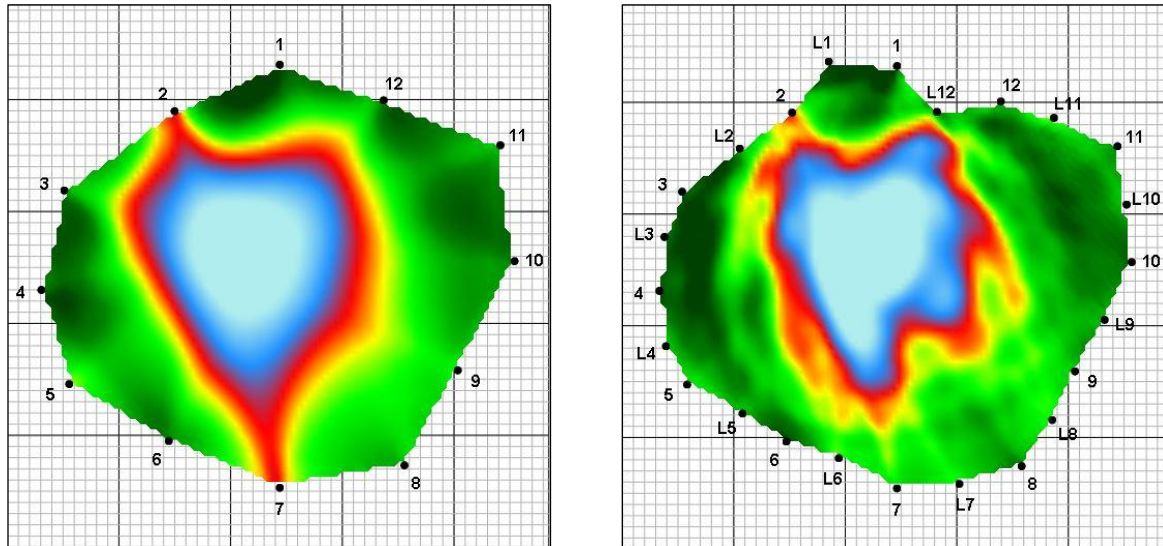
Kalapáccsal megütve őket, ugyanolyan jelet (hangot) küldhetünk velük a fába, mintha érzékelőket ütnénk meg. Az alapvető különbség az, hogy ezek a kalapáccsal (impulzus kalapács) történő kopogtatás hatására mindössze jelet adnak le, de nem detektálnak. Az eddigi ismeretek és tapasztalatok alapján, használatukkal pontosabb kép alkotható a mért rétegről (8. ábra), tehát a segítségükkel:

1. részletesebb mérést lehet végezni
2. pontosabban írható le a geometria
3. a valóságot hűbben tükröző tomogramot készíthetünk, vagyis javul a felbontás (ARBORSONIC 3D, 2020)

A fenti állítások alátámasztása is célja a szakdolgozatomnak.

A Ludwig-szög megalkotásának oka az volt, hogy a favizsgálati gyakorlatban azt tapasztalták, hogy a szabálytalan törzs alak leírásához több mérési pontra van szükség és egy költséghatékony megoldást kerestek a

fejlesztő, dr. Divós Ferenc. A Ludwig-szöget, ennek a helyzetnek a megoldása hívta életre. Segítségével megduplázzható a mérési pontok száma kétszer annyi Piezo érzékelő használata nélkül. Az elnevezést olasz favizsgálók javasolták. „A *"névrokon"* Ludwig van Beethoven, aki élete utolsó szakaszában már megsüketült, de így is csodálatos műveket komponált. A párhuzam az, hogy a Ludwig-szög nem képes érzékelni a hang megérkezését, de a nagyfelbontású kép megalkotásában mégis nagy segítség” (DIVÓS, 2023, SZÓBELI KÖZLÉS).



8. ábra: Csúpan Piezo érzékelős és Ludwig-szöges mérés ugyanazon a fán, azonos rétegmagasságban

(forrás: Vida Bertalan saját mérés, 2022)

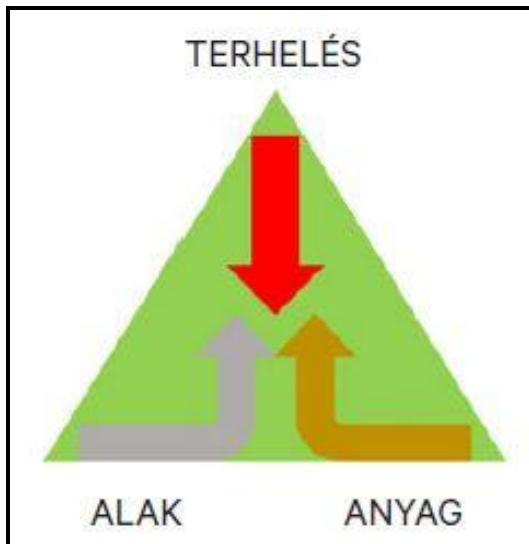
A Ludwig-szögek hegyei mind anyagukban, mind alakjukban megegyeznek a 6 cm hosszú Piezo érzékelőkkel. A megfelelő tomogram, csak így garantálható. Egy rétegen legalább 10 Ludwig-szöget kell használni. A használt Ludwig-szögek száma, mindig megegyezik a Piezo érzékelők számával. A szögeket mindig két érzékelő közé érdemes beverni a fába, célszerűen az érzékelők közti szakasz közepére (megközelítés). Az adott érzékelőhöz tartozó Ludwig-szög mindig az érzékelőtől jobbra kerül elhelyezésre.

A Ludwig-szögek mérések közbeni használatát, az Anyag és módszer c. fejezetben részletesebben is kifejtem.

2.3. Biztonsági tényező

Egy fa kétféleképpen tarthatja meg a rá nehezedő terheket. Egyrészt a faanyag tulajdonságai segítségével, másrészt alakjával, szerkezetével (9. ábra). Ennek számszerűsítésére, hogy az alaki és anyagi tulajdonságokból származó teherbírás, hogyan viszonyul a becsült terheléshez, vezették be a biztonsági tényező (angolul Safety Factor, SF) fogalmát. A biztonsági tényező egy arány (szám, vagy százalék), mely a becsült teherbírás és a becsült terhelés aránya (pl. 2,1 vagy 210%). Mindez egy egyszerű egyenlettel leírható:

$$SF = (\text{teherbíró képesség}) / (\text{össz. terhelés})$$



9. ábra: A Wessolly-féle „statikai háromszög”

(forrás: BUZA, 2021)

Egészséges fa esetében a biztonsági tényező, biztosan 100%-nál (1) nagyobb. Amennyiben ennél alacsonyabb biztonsági tényezőt (százalékot) kapunk, a fa nem tekinthető biztonságosnak. Ugyanakkor a 100%-nál vagy 150%-nál nagyobb biztonsági tényező sem jelenti azt, hogy a fa biztosan nem törik el vagy fordul ki egy viharban. A biztonsági tényező a törzs egy-egy rétegére vagy a gyökérzetre vonatkozhat. Mivel valamilyen mérés (pl. húzóvizsgálat, tomográfia, stb.) során szerzett információ alapján, így csak és kizárólag a mért rész(ek)re vonatkozhat. Az egész fára vonatkozó biztonsági tényező tehát nincs. A gyökérzet biztonsági tényezője a gyökerestől való kifordulásra, míg a törzs rétegeinek biztonsági tényezője a törzs

adott szinten való kettétörésére vonatkozik. Amennyiben az egész fát kell jellemezni, akkor a rendelkezésre állók közül a legkisebb biztonsági tényezőt kell használni.

A biztonsági tényező értelmezése során általában három kategóriát különböztetünk meg:

1. Magas kockázatú helyzetek – 1, vagy 100% alatti értékek: Ekkor a számolt teher nagyobb, mint a becsült teherbírás, így a törésnek, kifordulásnak komoly esélye van.
2. Mérsékelt kockázatú helyzetek – 1 és 1,5 (vagy akár 2) vagy 100% és 150 % (akár 200%-ig, pl. óvodaudvar) közé eső értékek: Ekkor a számolt teher kisebb, mint a becsült teherbírás. Ez általában valamilyen megelőző tevékenységet igényel (pl. koronaterület csökkentés, stb.).
3. Alacsony kockázatú helyzetek – 1,5 (2), illetve 150% (200%) feletti értékek (BUZA, 2021).

Biztonsági tényező számítása Fakopp 3D Akusztikus Tomográfval

Szakdolgozatom szempontjából a törzs kettétörésére vonatkozó, tomográfián alapuló biztonsági faktor kiszámításának van relevanciája, mivel a vizsgált fák törzsein, meghatározott rétegmagasságokon (20cm, 100 cm, 180 cm) végzett akusztikus tomográfós méréseknél számítottam ki a biztonsági faktorokat a Fakopp 3D műszerhez tartozó ArborSonic 3D szoftver segítségével.

A törzs ketté törésére vonatkozó, tomográfián alapuló biztonsági tényező (a mért rétegre vonatkozóan, és csak akkor, ha a törzs nem hasadt fel):

$$SF_{\text{törzs_tomogram}} = \sigma_{\text{nyszil}} / (\sigma_{\text{szél}} + \sigma_{\text{önsúly}} + \sigma_{\text{hajlítás}})$$

σ_{nyszil} – a fafajfüggő nyomószilárdság (N/m²)

$\sigma_{\text{szél}}$ – a beállított szélértéknek megfelelő hajlító feszültség (N/m²)

$\sigma_{\text{önsúly}}$ – a fa súlyából számolt nyomófeszültség (N/m²)

$\sigma_{\text{hajlítás}}$ – a fa hajlásából számolt hajlító feszültség (N/m²) (DIVÓS, 2022, SZÓBELI KÖZLÉS).

Az ArborSonic 3D szoftver 4 kockázati értéket különböztet meg a biztonsági tényező alapján (lásd: 2. táblázat). A biztonsági tényező a fafaj adatbázisból származó szilárdság és az adott réteg maximális

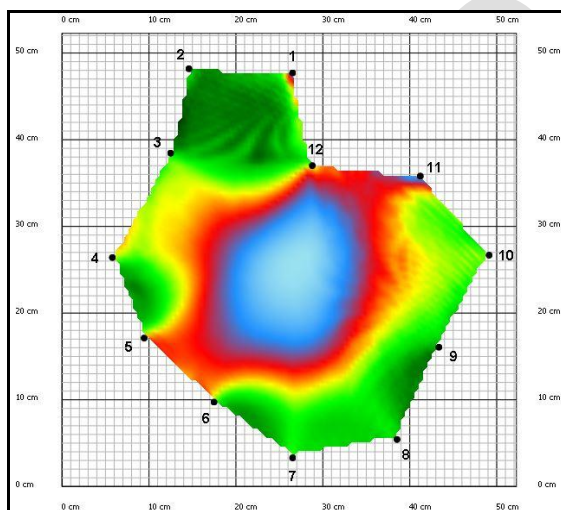
nyomófeszültségének hányadosa. A képlete $SF = \text{Szilárdság} / \text{Max.terhelés}$. Amennyiben a program által kiszámolt várható terhelés eléri és/vagy meghaladja az ismert szilárdságot, akkor a törzs eltörik.

A szoftverben a „kiértékelés” fülben határozhatjuk meg a vizsgált fa mért rétegéhez tartozó biztonsági tényezőt (szoftveren belül „biztonsági faktor”), ahol lehetőségünk van szélre- (pl.: szélmodell, térség beállítása), lombkoronára- és törzsre vonatkozó adatokat rögzíteni.

A szoftverben, a kiértékelésnél a fára vonatkozó összesített biztonsági tényező a leggyengébb rétegének biztonsági tényezőjének felel meg. Egy fa biztonságosnak tekinthető, amennyiben a biztonsági tényező 150% fölött van. Ebben az esetben a biztonsági tényezőre vonatkozó szöveg zölden jelenik meg. Ha az érték 101% és 150% között van, akkor a fa a „szürke zónában” vagyis a mérsékelt kockázatú zónában található, a szöveg halvány narancssárgán jelenik meg (10. ábra, 11. ábra). Ha a biztonsági tényező 100% alatt van, a fa nem tekinthető biztonságosnak (magas vagy extrém kockázat), a szöveg piros árnyalatban jelenik meg. A leggyengébb rétegre vonatkozó adatok kiválaszthatóak a rétegek listájában (ARBORSONIC 3D, 2020).

2. táblázat: A biztonsági tényező alapján meghatározott 4 kockázati kategória az ArborSonic 3D szoftverben (forrás: ARBORSONIC 3D, 2020, szerkesztve)

Biztonsági tényező	50% vagy alatta	51%-100%	101%-150%	150% felett
Kockázati értékelés	Extrém kockázat	Magas kockázat	Mérsékelt kockázat	Alacsony kockázat



10. ábra: Vadgesztenye (AH3) tomogramja 12 érzékelővel, 20 cm rétegmagasságon

(forrás: Vida Bertalan, saját mérés, 2022)



11. ábra: Vadgesztenye (AH3) vizsgálati rétegéhez (20 cm rétegmagasságon 12 érzékelővel végzett mérés) számított biztonsági tényező

(forrás: Vida Bertalan, saját mérés, 2022)

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A fejezetben bemutatom az általam vizsgált fákat, a célkitűzésben meghatározott szempontok alapján kiválasztott fák teljes körű favizsgálatának módszerét és menetét. Elsőként a kiválasztott fákat, azok településen belüli elhelyezkedését, jelentőségüket mutatom be és ezt követően részletezem az elvégzett favizsgálatok módszerét.

3.1. A vizsgálatra kiválasztott faegyedek bemutatása

A Ludwig- szöges technika előnyeinek és hátrányainak szignifikáns érzékeltetésére mindenképp célszerű rossz egészségi állapotú korhadtt fák vizsgálni a szögek alkalmazása során szerzett eddigi ismereteinket alapul véve (lásd 2.2. fejezet). Szakdolgozatom „vizsgálati alanyainak”, ezért 5 db koros és korhadtt vagy korhadtnak vélt fát választottam ki. A korhadtt fák tomogramján ugyanis jobban érzékeltethetők a Ludwig-szögek alkalmazásával együtt járó geometriai, pontosságbeli különbségek. A fejezetben a vizsgált faegyedek főbb, a dolgozat szempontjából releváns tulajdonságait mutatom be.

A szélesebb spektrumú vizsgálat érdekében nem csak egy, hanem két különböző fafajt is bevontam a vizsgálatba. Munkám során 4 db 40 év körüli közönséges vadgesztenyét (*Aesculus hippocastanum*) és egy 50 évesnél korosabb kanadai nyarat (*Populus × canadensis*) vizsgáltam. Az 5 faegyedben közös, hogy mindegyik koros, nagytermetű és városi (Budapest) környezetben található, és mindegyiken végrehajtottak már különböző egészségügyi, állapotmegóvó beavatkozásokat (szárazolások, koronakurtítások, injektálások stb.) az egészségi állapotuk ill. állapotromlásuk miatt.

A vadgesztenyék és a nyárfa korának a meghatározásához a helyi lakosok elbeszéléseit és dr. Radó Dezső törzsátmérő alapján számított kormeghatározását vettem alapul. Egyéb információ nem állt rendelkezésemre a fák korának megbecsléséhez (pl. faültetés hivatalos dokumentációja). A nyárfáról néhány helybéli (békásmegyeri) időskorú lakos elmondása alapján megtudtam, hogy 60 évnél korábban telepítették. A vadgesztenyékről pontos korbecslést nem tudtak adni a kerttulajdonosok, így esetükben csak is kizárólag az 1 m magasan mért törzsátmérők alapján tudtam becsülni a korukat.

Dr. Radó Dezső korbecslése alapján (RADÓ, 1999) a talajtól számított 1 m magasságban mért 130 cm-es törzsátmérőjű nyárfa kora minimum 65 év, ami alátámasztja a szóban szerzett információkat. A vadgesztenyék kora, a szintén 1 m magasan mért 46-56 cm közötti törzsátmérők alapján 33 és 40 év között lehet.

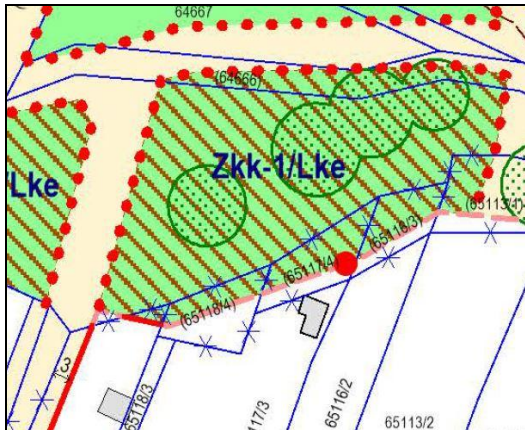
3.1.1. A vizsgált fák településen belüli elhelyezkedése, jelentőségük

A kiválasztott *Populus × canadensis* (PC1) Budapest 3. kerületében, Békásmegyer-Ófalu településrészen, az Árok utca és a Rézüst utca kereszteződése mellett található zöldterületen, a 64666 hrsz.-ú telken áll, egy ideiglenes vízfolyás és árok irányába lejtő rézsú koronavonalában. Releváns védettség és védett terület nem érinti a fát és közvetlen környezetét. A terület szabályozási terve alapján a fa „megőrzendő értékes fa” státusszal bír és egy Zkk-1/Lke övezetben helyezkedik el (12. ábra). A Zkk-1 nem beépíthető városi közkertnek számító közterületi zöldterület. A megőrzendő értékes fáról a következőképp fogalmaz a helyi építési szabályzat: A „megőrzendő értékes fa” megőrzéséről gondoskodni kell, az így jelölt fa építési tevékenység miatt nem vágható

ki, fakivágás kizárólag növény-egészségügyi, élet- és vagyonvédelmi okokból történhet (OBESZ 2018, OBESZ 2018 1. SZ. MELLÉKLET). Mindezt azért részletezem, hogy érzékeltessem, hogy a 22 m magas, 130 cm törzsátmérőjű kanadai nyár nemcsak a környezetében lakó helyiek szemében, hanem településrendezési és települési szinten is jelentős értéket képvisel, és nyilván van tartva. Viszont a nyárfa és a szomszédos, 4 db vele egykorú kanadai nyár nem része településképvédelmi jelentőségű fasornak.

A kiválasztott *Aesculus hippocastanum* egyedek (AH1, AH2, AH3 és AH4) Budapest 1. kerületében a Hegyalja út és a Berényi utca sarkán, az 5187. hrsz-ú telken találhatóak a Gellért-hegy északi lejtőjén. A vadgesztenyék a telek északi oldalán találhatóak, az AH4, AH3, és AH2 jelű fák a Hegyalja út mentén egy 2 m magas támfal mögött délre állnak sorban. Az AH1-es fa a telek Berényi utcai bejárata mellett található. A kerület szabályozási terve nem ad érdemi információt a fákra vonatkozóan (14. ábra). A fák nem védettek és a közvetlen környezetük sem élvez semmifajta védelmet. A vadgesztenyék az L3-K5-SZ – kisvárosias lakóterületi építési övezetben helyezkednek el (BUDAPEST I. KÉSZ, I. KER. SZAB).

A vizsgált fák pontos helyét az alábbi ábrákon jelöltem. A nyárfát a PC1, a 4 db vadgesztenye az AH1, AH2, AH3 és AH4 rövidítésekkel (fakódokkal) jelöltem (13. ábra, 15. ábra).



12. ábra: A vizsgált kanadai nyár megőrzendő értékes faként jelölve a 3. kerület szabályozási tervén
(forrás: OBESZ 2018 1. SZ. MELLÉKLET)



13. ábra: A vizsgált kanadai nyár elhelyezkedése
(forrás: saját készítésű ábra, Google Earth 2016.07.10)



14. ábra: A vizsgált vadgesztenyét befogadó 5187 hrsz.-ú telek az 1. kerület szabályozási tervén
(forrás: I. KER. SZAB)



15. ábra: A vizsgált vadgesztenyék elhelyezkedése
(forrás: saját készítésű ábra, Google Earth 2016.07.10)

3.1.2. A vizsgált fajok tulajdonságai

A *Populus* nemzetség képviselőinek bemutatása

A *Salicaceae* családba tartozó *Populus*ok szélel porzódó kétlaki növények. Víz mellett, vagy csapadékos klímában élő pionírok. Ha biztosítva van a víz- és fényigényük, érzéketlenek a termőhely abiotikus tényezőivel szemben. Alkalmask meddőhányók és egyéb devasztált területek rekultiválására. A nemzetség tagjai gyors növekedésű, magas fák. Bár jó várostűrő tulajdonságaik vannak, elviselik a légszennyezettséget és több oxigént

termelnek, mint a legtöbb egyéb fafaj levelei, városfásításra mégsem túl alkalmasak, mely gyors életciklusuk, bizonyos fajok késői lombfakadása vagy korai lombhullása és szemetelő termésük következménye.

A nemzetség tagjai elsősorban erdészeti szempontból jelentősek, városokban parkokba, előfásításokhoz vagy védősávok létesítésére alkalmasak. A parképítés főleg a hazai fajokkal és néhány egzótával dolgozik. A hajtások csúcsrügyekben végződnek. A rügyeket több pikkely takarja. A levelek többnyire hosszú és lapított nyelűek. Levélszélük vagy kanyargós (*P. tremula*) vagy karéjos (*P. alba*) vagy sima, nem karéjos (*P. nigra*, *P. × canadensis*) (SCHMIDT, 2003; SCHMIDT ÉS TÓTH, 2006).

Populus × canadensis (*P. × euramericana*) – kanadai- vagy más néven nemes nyár

A fekete nyárhoz hasonló, de annál robusztusabb termetű fa. Növekedése gyors, és levelei nagyobbak a fekete nyárénál. Levelei levágott vállúak, a levéllemez alapjánál többnyire szemölcsök vannak. A hibrid csoport első képviselője mintegy 200 éve keletkezett az észak-amerikai *P. deltoides* és az európai *P. nigra* spontán kereszteződéséből Franciaországban. Később ide sorolták a *P. nigrának* más észak-amerikai *Populus* fajokkal alkotott mesterséges és többszörös hibridjeit is. Közös tulajdonságuk, hogy igen gyors növekedésűek, de általában igényesebbek, mint a *P. nigra*: sem a pangó vizet, sem a tartós szárazságot nem tűrik (SCHMIDT ÉS TÓTH, 2006).

Populus × canadensis 'Robusta' – Óriás nyár:

Porzós fajta, egyenes, hengeres törzzsel. Fiatalon kúpos, később széles koronájú fa, 45 fokos szögben felfelé törő, örvszerűen álló ágakkal (17. ábra). 20-25 éves korig gyorsan nő, majd hamar előregszik. 20 m-nél magasabbra nő. Hajtása kerek, csupasz, rügye ragadós. Levele háromszög alakú, kihegyezett, 7-10 cm hosszú (16. ábra). Fája fontos papíripari alapanyag. A nedves talajt nem szereti, mérsékelten szárazságtűrő. Előfásításra, védőfásításra használják, de ültetik facsoportokba is (RETKES ÉS TÓTH, 1997; SCHMIDT ÉS TÓTH, 2006).



16. ábra: *Populus × canadensis* levelei

(forrás: <https://hu.pinterest.com/pin/36-populus-x-canadensis-serotina-aurea-golden-poplar--566820303071202011/>)



17. ábra: *Populus × canadensis* 'Robusta'

(fotó: Vida Bertalan, 2022. szeptember, Budapest)

Az *Aesculus hippocastanum* – közönséges vadgesztenye - bemutatása

16-20 m-es fa. Hazája a Balkán és Kis-Ázsia. A tenyeresen összetett leveleinek levélkéi a felső harmadukban a legszélesebbek. Lombja ősszel sárgára színeződik. A rügyek enyvesek. Koronájának habitusa megnyúlt, kissé oszlopos. Ívesen lehajló ágaival, májusban nyíló nagy (20-30 cm), kúpos, fehér virágbugáival (18. ábra, 19. ábra) az egyik legszebb fa. Termése tüskés falú toktermés, 1-2 nagy, barna maggal. Régen utcafásításra is előszeretettel használták, erre a célra ma már csak legfeljebb kisvárosokban, jó talaj és nedvességviszonyok közt alkalmas. A nagyvárosokra jellemző száraz, meleg klímát nem bírja, a levegőszennyezésre és az utak sózására pedig érzékeny. Ilyen környezetben leginkább parkfának alkalmas. Alapvetően tápdús, üde talajt, páras, napos helyet kíván. Allelopátiás tulajdonsága miatt, minden más növény kipusztul a lombkoronája alatt. Sok kórokozója, kártevője korai lombhullást okoz. Ezek közül a leginkább figyelemre méltó a vadgesztenyelevél-aknázómoly, mely tömeges lombhullást okoz. (RETKE S TÓTH, 1997; SCHMIDT S TÓTH, 2006).

Az említett kártevő kifejezetten ezt a vadgesztenyefajt károsítja leginkább. A kártevő 1985-ben Macedóniában jelent meg és a 2000-es években már Közép- és Kelet Európában is általánosan elterjedt. A fertőzött fákon gyakran már nyáron a lomb nagy része elszáradva lehullik a levelekben fejlődő lárvák kártételének következtében. Különösen a városi faállományok fertőzöttsége gyakori (URL2).

A vizsgálattal érintett 4 vadgesztenye egyed sem kímélte az említett kártevő, ellenük 2019-ben injektálásra került sor, melynek köszönhetően a fák lombja mai napig ép és egészséges.



18. ábra: *Aesculus hippocastanum*

(forrás: https://www.researchgate.net/figure/Aesculus-hippocastanum-L_fig1_318394642)



19. ábra: *Aesculus hippocastanum*

(fotó: Vida Bertalan, 2022. szeptember, Budapest)

3.2. A kiválasztott faegyedek vizsgálatának menete

A fent bemutatott fákon teljes körű favizsgálatot végeztem. A teljes körű favizsgálat PUSKÁS (2022) leírása szerint „a fák és a környezetüknek az együttes vizsgálata, majd kiértékelése, melyben többféle szempontot is

figyelembe kell venni, a fa és a környezete lehetséges kölcsönhatásait kell elemezni. A cél a fák minél hosszabb ideig történő megtartása úgy, hogy a környezetükre se jelentsenek kockázatot.”

A fenti definíciónak megfelelően először vizuális favizsgálatot végeztem a vadgesztenyéken és a kanadai nyáron, majd ezt követően műszeresen, akusztikus tomográfal is vizsgáltam a koros, korhadt fákat. A vizsgálatok eredményeinek összegzésére a fák állapotának és a helyes diagnózis leírásának érdekében fadiagnosztikai adatlapokat készítettem minden egyes fára (2. melléklet), melyeken a fák állapotának javítását és megőrzését célzó kezelési javaslatokat is tettem. Ezen a szemrevételezéses és műszeres vizsgálat legfontosabb eredményeit összegzem, ezt később az Eredmények és értékelésük c. fejezetben mutatom be. Ugyanakkor a dolgozat szempontjából leglényegesebb eredményeket a Ludwig-szögek alkalmazásának előnyeit és hátrányait a műszeres vizsgálatok elvégzésével kaptam meg.

A szemrevételezéses vizsgálatokat 2022. augusztus közepén és szeptember első heteiben végeztem el. A műszeres vizsgálatokat ezt követően, augusztus 16-tól szeptember 10-ig végeztem el, a két különböző budapesti helyszínen.

3.2.1. A favizsgálatokhoz, fafelvételéhez használt eszközök

A szemrevételezéses vizsgálatokhoz a következő eszközöket használtam:

- gumikalapács
- fémkalapács
- 8 m-es mérőszalag
- Bluetooth (digitális) átlaló
- Samsung S20 okostelefon (fényképek készítéséhez)
- ceruza, radír, hegyező
- fafelvételi adatlap

A szemrevételezéses favizsgálatok során, a fák aktuális állapotának a felméréséhez fafelvételi adatlapot töltöttem ki, minden egyes fára külön-külön. Az adatlap tartalmát a következő fejezetben részletezem.

Az akusztikus tomográfus műszeres favizsgálatához a következő eszközöket használtam (20. ábra):

- laptop (Acer – X550J) – legfrissebb ArborSonic 3D szoftver (v5.3. 146 verzió)
- Fakopp 3D Akusztikus Tomográf:
 - o 12 db Piezzo érzékelőfej (továbbiakban „érzékelő”)
 - o 12 db Ludwig-szög
 - o 6 db jelerősítő doboz
 - o Elem doboz (Bluetooth jeladó)
 - o összekötő kábelek
 - o érzékelő kihúzó
 - o gumikalapács Piezo érzékelőfejek és Ludwig-szögek beütéséhez
 - o fémkalapács (impulzus kalapács)
 - o mérőszalag (5 m)
- Bluetooth átlaló



20. ábra: A műszeres favizsgálathoz használt eszközök

(fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 3. kerület)

3.2.2. A fák teljes körű vizsgálata szemrevételezéssel és a szemrevételezéshez használt egyedi adatlap bemutatása

Az eredményes szemrevételezéses favizsgálathoz, elengedhetetlen egy jó és részletes fafelvételi adatlap, melyen rögzíthető minden olyan, a vizsgált fa állapotát leíró és befolyásoló tényező, ami később a fa egyes részeinek és életképességének értékelésekor döntő jelentőséggel bír és a kezelési javaslatot is meghatározza. Ezért én a Magyar Faápolók Egyesülete fafelvételi adatlap tartalmára vonatkozó javaslatai alapján és az Ócsvári Gábor által kidolgozott korábbi fafelvételi adatlap (1. melléklet) használatával vettem fel a vizsgált fákról a legfontosabb információkat.

A legfőbb felvett információk a következők voltak: alapadatok (sorszám, dátum, helyszín, térképi sorszám, tudományos név, magyar név, törzs átmérő, fa magasság, korona átmérő, törzs magasság, korona alsó magassága), fa környezetére vonatkozó adatok, gyökér állapotjelzői, gyökérnyak állapotjelzői, törzs állapotjelzői, koronaalap állapotjelzői, korona állapotjelzői. A szemrevételezéses vizsgálatok kiértékelése során, a raddiagnosztikai adatlapokon (2. melléklet) a gyökérzet, a törzs és a korona állapotát az 1. táblázatban részletezett Radó-MFE faállapot értékelés alapján 0-5-ig osztályoztam.

3.2.3. A fák vizsgálata akusztikus tomográfal

A magyar favizsgálati gyakorlatban a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf a legelterjedtebb favizsgálati műszer.

A Fakopp 3D Akusztikus Tomográf működési elve:

- „A törzsre több szenzor kerül, melyek tűskével csatlakoznak a faanyaghoz.
- Mindegyik szenzort megütjük kalapáccsal.
- Az eszköz megméri a kalapácsütés által keltett hanghullám terjedési idejét az érzékelők között a fában.
- Ha két érzékelő között üreg van, akkor a hang nem tud egyenes úton haladni, hanem meg kell kerülnie az üreget, ami magasabb terjedési időt eredményez.” (ARBORSONIC 3D, 2020)

Az 5 kiválasztott fa vizuális vizsgálata után Ludwig-szögek bevonásával akusztikus tomográfus műszeres vizsgálattal folytattam a favizsgálásokat. A kiválasztott fákon összesen 60 db 2D-s mérést végeztem 3 különböző magasságban, 20, 100 és 180 cm (talaj-szinttől számítva) magasságú rétegekben. Egy adott rétegmagasságban 4 mérést végeztem a következő feltételekkel:

- 10 db Piezo érzékelővel végzett mérés
- 10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés
- 12 db Piezo érzékelővel végzett mérés
- 12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés

Ily módon egy adott fához 3 különböző rétegen 12 mérést végeztem. A fakopp műszerhez tartozó ArborSonic 3D szoftver segítségével kiértékeltem minden rétegmagasság mind a 4 mérését, tehát meghatároztam az adott mérésekhez tartozó biztonsági tényezőt és a korhadt terület százalékos arányát.

Egy adott fa akusztikus tomográfus vizsgálatát a következőképp végeztem:

Adott rétegmagasságban (pl. 20 cm) legelőször a 10 db Piezo érzékelővel végzett mérést végeztem el. Kezdeként beütöttem az első számú Piezo érzékelőt (továbbiakban érzékelőfej vagy érzékelő) a fa északi oldalán (mivel a műszer automatikusan északra tájolja az 1. számú érzékelőfejet). Ezt követően egy 5 m-es mérőszalaggal – melyet korábban az első érzékelő beütésével rögzítettem – körbetekertem a fát, így megkaptam a fa kerületét az adott rétegmagasságban. A kerület lényeges adat, akkor, ha kör vagy ellipszis pozícióban osztjuk ki az érzékelőket (lásd bővebben: ARBORSONIC 3D, 2020). A méréseim során azonban eleve irreguláris módon osztottam ki az érzékelőket, így a mérőszalag használatának inkább az érzékelők nagyjából szabályos kiosztásában volt fontos szerepe (21. ábra). Tíz érzékelőt például 300 cm-es törzskerület esetében 0 cm-től számítva, 30 cm-enként osztottam ki (0 cm, 30 cm, 60 cm stb.).

Nem lehetett mindig az eredeti, egyenlő osztásközű és szabályos módszerrel (túl vastag kéreg vagy kisebb, a mérési réteget keresztező odú esetében) felhelyezni az érzékelőket. Ezért és a pontosabb réteg geometria meghatározása érdekében, az érzékelők pontos helyét és egymástól való távolságát Bluetooth átlaló (BT Caliper) segítségével határoztam meg (22. ábra). Az érzékelők, gumikalapáccsal történő, óramutató járásával ellentétes irányban történő felhelyezése után, kábelekkel összekötöttem az érzékelőket a jelerősítő dobozokkal és az elem dobozzal (összeszereltem a műszert).

Miután a térbeli adatokat (érzékelők egymástól való távolsága, érzékelő beverési mélység és kéreg vastagság) rögzítettem a szoftverben, áttértem az idő adatok rögzítésére. Az idő adatok mérésénél egy adott

érzékelőt négyszer ütöttem meg fémkalapáccsal (impulzus kalapács). Miután hibás idősorok nélkül végeztem az összes érzékelő megkopogtatásával, áttérhettem a „sebesség adatok” fülre, ahol a kopogtatások alapján a szoftver megjeleníti az adott réteghez tartozó hangterjedési sebesség ábrát (tomogramot).



21. ábra: Érzékelőfejek kiosztása

(fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 3. kerület)



22. ábra: Érzékelőfejek bemérése Bluetooth

átalóval (fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 3. kerület)

A 10 db Piezo érzékelővel folytatott mérést követte a 10 db Piezo érzékelővel és 10 db Ludwig-szöggel történő mérés. Ekkor a beütött 10 érzékelőt az eredeti helyén hagytam és a 10 Ludwig-szöveget az érzékelőfejek közé ütöttem be, az érzékelők közötti távolság felénél („megközölve” a távot). Ezután szintén az irreguláris pozíció sémát választva a térbeli adatok felvételénél, megmértem a 20 jeladó (10 érzékelő + 10 Ludwig-szög) közötti távolságokat a Bluetooth átalóval. Az idő adatok felvétele és a tomogram előállítását hasonlóképp történt, mint a 10 érzékelős mérés esetében, annyi különbséggel, hogy az idő adatok felvételénél, a Ludwig-szögekre is le kellett adnom 4 ütést szögenként, a 10 db érzékelőfej „megütése” után.

A 12 db Piezo érzékelős mérést és a 12 db Piezo érzékelő + 12 db Ludwig-szöges mérést, a fentiekhez hasonló módon végeztem, csak a jeladók számának növelésével a valós állapotot hűbben tükröző, pontosabb, részletesebb adatokat kaptam. A 12 db érzékelőn alapuló mérések előtt az adott rétegen teljesen le kellett szerelnem a korábban felhelyezett 10 db érzékelőt és 10 db Ludwig-szöveget, csak az 1. számú érzékelőt hagytam a helyén (23. ábra). A jeladókat a mérőszalag felhelyezésével újból ki kellett osztanom irreguláris módon.

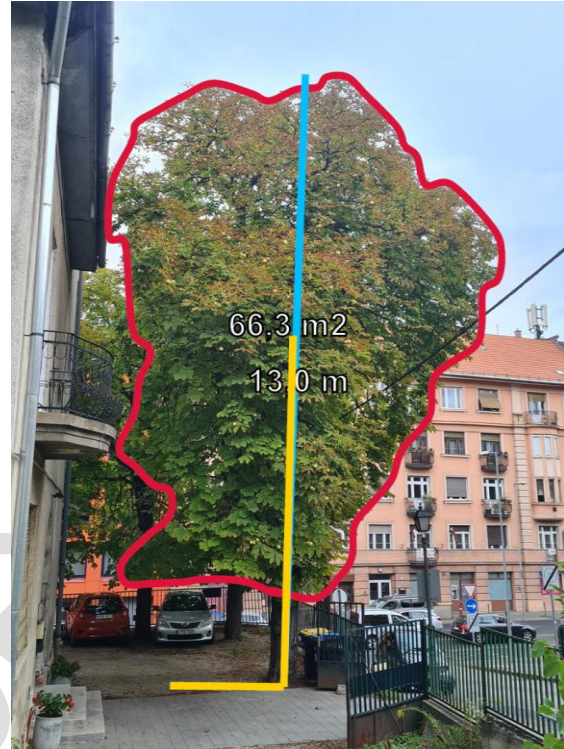
A fenti folyamatot minden rétegmagasságban (20, 100 és 180 cm) megismételtem. Majd miután a vizsgált fán, mind a 12 réteg mérését befejeztem és megkaptam a tomogramokat, a szoftver „kiértékelés” fülénél meghatároztam a biztonsági tényezőt (%-ban) és a korhadt terület százalékos arányát. A számítás alapja egy rajzolt modell volt. A kiértékeléshez fel kellett tölteni a szoftverbe egy a vizsgált fáról készített teljes alakos fotót.

A fotón be kellett rajzolnom a korona hozzávetőleges kontúrját, meg kellett adnom a fa magasságát és a törzs dőlését (24. ábra). A rajzolt korona kontúr és a fa berajzolt magassága alapján a program ki tudta számolni a lombkorona berajzolt területét. A berajzolt terület, a törzs dőlése és a mért sebesség adatok alapján a program kiszámolta mind a 12 rétegre vonatkozóan a biztonsági tényezőt és a korhadás mértékét adott fánál. És ezekre a mért adatokra, eredményekre támaszkodva tudtam megfogalmazni a tomográfus vizsgálatoknál a Ludwig-szögek alkalmazásával együtt járó következtetéseimet.



23. ábra: 12 db Ludwig-szög kiosztása 12 db Piezo érzékelő közé

(fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 1. kerület)



24. ábra: Rajzolt koronamodell a ArborSonic 3D szoftver kiértékelésénél

(forrás: Vida Bertalan, saját készítésű ábra, 2022. szeptember)

A tervezett vizsgálati rétegmagasságoktól való eltérést csak indokolt esetben tettem (pl. ha a tervezett rétegmagasságot keresztezte egy olyan széles odú, ami torzítja a réteg geometriáját és ellehetetleníti a Ludwig-szögek és érzékelők arányos szétosztását az adott rétegen).

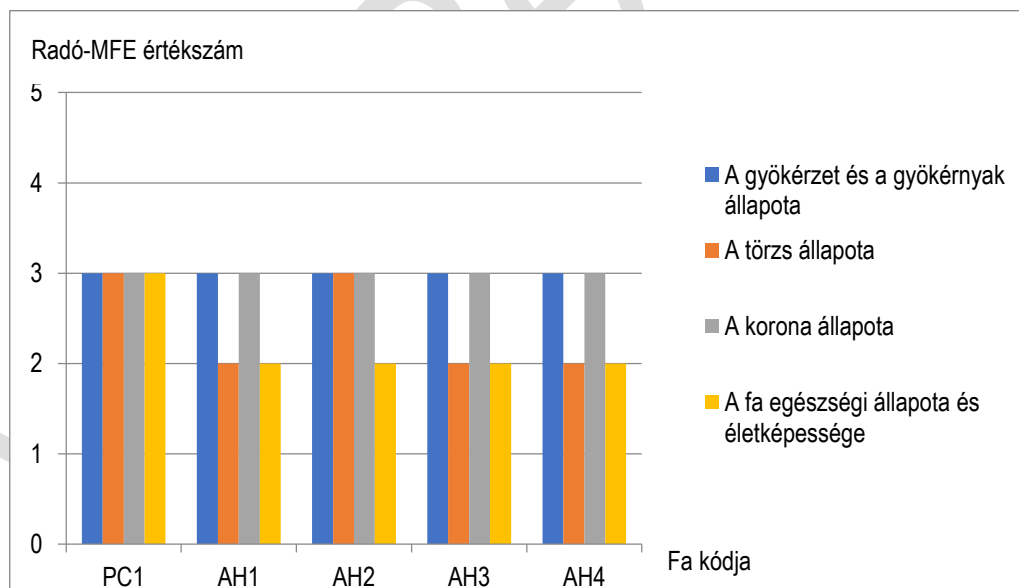
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A fejezetben a vizsgált 5 fa szemrevételezéses és műszeres favizsgálatából nyert információkat elemzem. Elsőként a szemrevételezéses favizsgálatok eredményeként előállított fadiagnosztikai adatlapjaim alapján értékelem a vizsgált fákat, majd az akusztikus tomográfus vizsgálatokból nyert adatokat elemzem, különös tekintettel a Ludwig-szögek alkalmazására.

4.1. A teljes körű vizuális favizsgálat eredményei

Az Anyag és módszer c. fejezetben ismertetett 5 vizsgált faegyed gyökér-, törzs- és koronaállapotának osztályozását és a fák egészségi állapotára és életképességére vonatkozó osztályzatokat az alábbi diagram foglalja össze (25. ábra). A fákra adott 0 és 5 közötti osztályzatok a Radó-MFE faállapot értékelési módszer szerinti értékszámokat jelölik. A PC1, AH1, AH2, AH3, AH4 rövidítések a vizsgált kanadai nyár és a 4 vadgesztenye fakódjait jelentik.

A fejezetben a szemrevételezéses favizsgálatok főbb megfigyeléseit, eredményeit ismertetem, a fafelvételi adatlapjaim és fotódokumentációm (3. melléklet) alapján készített fadiagnosztikai adatlapok (2. melléklet) elemzésével. A Radó-MFE-féle értékelés alapján összességében megállapítható, hogy a vizsgált fák közepes vagy rossz állapotúak (egészségi állapot és életképesség). A vadgesztenyék egy évtizeden belül lecserélendők (AH kódok), a kanadai nyár (PC1) folyamatos megfigyelés és rendszeres kezelés mellett még 10-15 évig megtartható.



25. ábra: A vizsgált fák Radó-MFE-féle állapotértékelése

(forrás: saját készítésű ábra)

4.1.1. A PC1 kódú *Populus × canadensis* favizsgálatának eredményei

A vizsgált kanadai nyár (*Populus × canadensis*, PC1) egészségi állapota (3) a legjobb a vizsgált fák között, és ez egyben a legidősebb vizsgált fa (~65 év). Ugyanakkor fennáll két jelentős tényező, amely nem teszi lehetővé, hogy a faegyed akár megközelítse a termőhely által meghatározott maximális életkort.

Az egyik jelentős tényező, hogy a fa egy rézsű koronavonalában helyezkedik el, melynek következményeként a fa gyökerei a rézsű keleti oldalán a felszínre kerültek, így jobban ki vannak téve a sérüléseknek. A gyökérzetben kisebb sérülések figyelhetőek meg. A gyökérnyak északi oldalán kéregleválás és korhadás nyomai találhatók.

A második tényező, hogy a fát 2019-ben erősen visszacsonkolták, szívóágak meghagyása nélkül lefejezték, így a korona jelentős mértékben károsodott, és a 30-40 cm átmérőjű ágak eltávolításával, ágcsonkok maradtak vissza, melyek elkezdtek visszakorhadni.

A törzsön található, gyökérnyakból induló 150 cm hosszú bekorhadás, valamint a törzs által benőtt vezetékek következtében megállapítható a törzs egyértelmű károsodása.

4.1.2. Az AH1 kódú *Aesculus hippocastanum* favizsgálatának eredményei

A fa statikai védőzónájában található kerti szegély megépítése károsíthatta a fa gyökérzetét. A fa favédelmi zónáján belül (a többi vizsgált vadgesztenyéhez hasonlóan) szórt burkolattal fedett parkolóhelyek találhatóak. A folyamatos terhelésből adódó talajtömörödés és a törzs közvetlen környezetében található épített elemek (kerítésláb, burkolatszegély) miatt a gyökér osztályzata 3-nál nem lehet jobb. Az összes vizsgált vadgesztenyénel a gyökérnyakon injekciós nyomai figyelhetőek meg.

A törzs erős károsodása, leginkább a gyökérnyaktól induló és a sudárban folytatódó minimum 4 m-es magasságig terjedő csöves korhadásban mutatkozik meg legjobban. Az üreg meglétére az egy vonalban elhelyezkedő odvak utalnak. Továbbá a legnagyobb odúba dugott mérőszalaggal métereken keresztül, akadály nélkül lehet vizsgálni az üregben. Az összefüggő üregrendszer legnagyobb odva 160 cm magasságban kezdődik (40 cm hosszú 10 cm széles). Az üregrendszer meglétét a 3 rétegen (20 cm, 100 cm 160 cm) elvégzett akusztikus tomográfus vizsgálatok tomogramjai is alátámasztják (5. melléklet). Mindebből kifolyólag a törzs osztályzata 2-nél nem lehet jobb. A koronában folytatódik a csöves korhadás. A koronaalapon (2,2 m) levágott durva ágak nyílt sebei figyelhetőek meg. A száraz ágak aránya 10% alatt van.

A sérült gyökérzet, a csöves korhadás megléte és a korona károsodásának következtében megállapítom, hogy a fa állapota gyorsan romlik, megtartása rendszeres és szakszerű fenntartás mellett is túl kockázatos. Elhelyezkedéséből (frekvenciált városi környezet, beépítettség, parkoló) adódóan komoly veszélyt jelent a környezetében élők, átjáró gyalogosok és az alatta parkoló autókra nézve, ezért javaslom a fa egy évtizeden belüli cseréjét.

4.1.3. Az AH2 kódú *Aesculus hippocastanum* favizsgálatának eredményei

Az AH2 kódú vadgesztenye gyökérzetére szintúgy komoly terhelést jelent a parkoló autók súlya. Az AH3 és AH4 kódú vadgesztenyékhöz hasonlóan a fa statikai biztonsági védőzónáján belül egy 2 m magas súlytámfal helyezkedik el a fától északra. A gyökérnyakon kisebb sérülések figyelhetőek meg. A gyökér osztályzata 3.

A törzs ikersudaras, rajta 130 cm magasságban lehasított ágak, ágcsonkok figyelhetőek meg. A koronában a D-i irányban elhelyezkedő sudárban egy 30 cm hosszú odú figyelhető meg a koronaalaptól fél méterre. Az aszimmetrikus, torz koronában egy durva ág méteres ágcsonkja éktelenkedik.

A gyökérzet, a törzs és a korona állapotából kifolyólag, véleményem szerint a vadgesztenye egy évtizeden belül lecserélendő.

4.1.4. Az AH3 kódú *Aesculus hippocastanum* favizsgálatának eredményei

A parkoló autók okozta talajtömörödés és a fától északra húzódó támfal megléte mellett, a gyökérnyak nyugati oldalán elhelyezkedő horpadás is befolyásolja a gyökérzet állapotát (3). A törzsön dudorok, horpadás, odú és odvas ágcsonk is megfigyelhető. A horpadás felett 1 m magasan található szűk odúból korhadék hullik. Ezekből a jelekből csöves korhadásra lehet következtetni.

A villás koronaalap (ikersudaras) terhelt. Az aszimmetrikus koronában a száraz ágak aránya 5-10% közötti. A fa egészségi állapota és életképessége kettes osztályzatnál nem kaphat jobbat.

4.1.5. Az AH4 kódú *Aesculus hippocastanum* favizsgálatának eredményei

A gyökérzetére ugyanazok a tényezők vannak hatással, mint az AH2 és AH3 vadgesztenyékre. A törzs csavarodása a gyökérnyakból indul. A törzsön törzssarjak, korhadt odvak, bekorhadt ágcsonk (d=15 cm) figyelhetőek meg. A fa D-i sudarát eltávolították. Az eltávolított sudár metszlapjának közepén korhadt üreg figyelhető meg. Az eltávolított sudár miatt a korona jelentős veszteséget szenvedett el (aszimmetrikus), így a vizsgált gesztenyék között AH4 koronájának a tömege a legkisebb.

A koronaalapban található levágott, déli sudár metszlapjának közepén található üreg feltételezhetően a törzsben található csözüreg felső „kijárata”, mely a műszeres vizsgálatok alapján a gyökérnyakig lenyúlik. Az aszimmetrikus koronájú, üreges törzsű fa egyértelmű veszélyt jelent a környezetére, megtartása túl kockázatos, nem indokolt. Egy évtizeden belüli kivágását és cseréjét javaslom.

4.2. Az akusztikus tomográfus vizsgálatok eredményeinek leírása és elemzése, különös tekintettel a Ludwig-szögek alkalmazására

A 3.2.3. fejezben részletezett 5 vizsgált fán végzett, 60 db akusztikus vizsgálat eredményeit, vagyis a mérések kiértékelésével kapott korhadás (korhadt terület) és biztonsági tényező százalékos értékeket egy összesítő táblázatba gyűjtöttem össze (4. melléklet). Ebben a fejezetben, ezeknek a százalékos értékeknek és az egyéb, mérésekből kapott adatoknak az elemzését végzem el.

Elsőként az összesítő táblázat értékeinek elemzési módszerét mutatom be, majd kifejtem a módszer eredményeiből fakadó következtetéseket a korhadásra és a biztonsági tényezőre vonatkozóan.

A korhadt terület és biztonsági tényező értékek elemzése mellett egy másik összehasonlítást is bemutatok, mely a Ludwig-szögekkel és a nélkülük végzett mérések közötti kontrasztot mutatja be a sebesség értékeken és a vizsgálatokból nyert tomogram képeken keresztül.

4.2.1. Korhadás és biztonsági tényező értékek elemzése

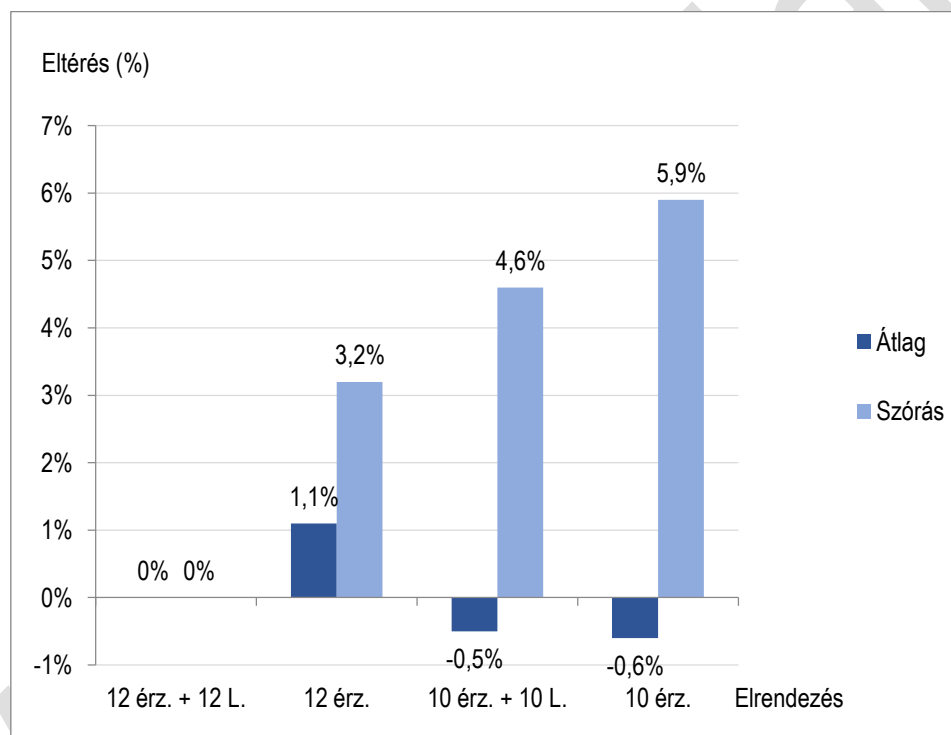
Referenciának a 12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérést választottam (4. melléklet), mert ez a mérés kezeli a legtöbb bemenő adatot: 24 pontos geometria leírást és a legnagyobb idő mátrixot: 24 x 24-es. Az eltéréseket vizsgáltam %-ban, vagyis azt, hogy a 12 db Piezo érzékelővel és 12 db Ludwig-szöggel (12 é. + 12 Ludwig) mért adatok és a többi mérés adatai között mekkora a százalékos

különbség. A referencia érték miatt a 12 é. + 12 Ludwig oszlop mindig 0 (nulla) a táblázatban, mind a korhad terület arányánál és mind a biztonsági tényezőnél.

Sajnos adatokat kellett kivenni az értékelésből, mert az AH2 kódú vadgesztenye felső (180 cm) és középső (100 cm) mérésénél a referencia adatok (12 é. + 12 Ludwig) nagyon magas, 100 mikroszekundumot meghaladó szimmetrikus különbségekkel lettek mérve.

Korhadás

A korhad terület arány esetében az átlagos eltérés 1,1%, -0,5 és -0,6% a 12 db Piezo érzékelővel, a 10 db Piezo érzékelővel + 10 Ludwig-szöggel és a 10 db Piezo érzékelővel végzett mérések esetében (26. ábra). Az eltérés minimális. A kimutatott eltérés nem szignifikáns, a szórás az említett értékek 3 – 10-szerese. E tekintetben nem lehet különbséget tenni a 4 vizsgált elrendezés között. A korhad terület százalékos aránya nem mutat jelentős változást annak függvényében, hogy használunk Ludwig-szögeket a vizsgálatoknál vagy sem.

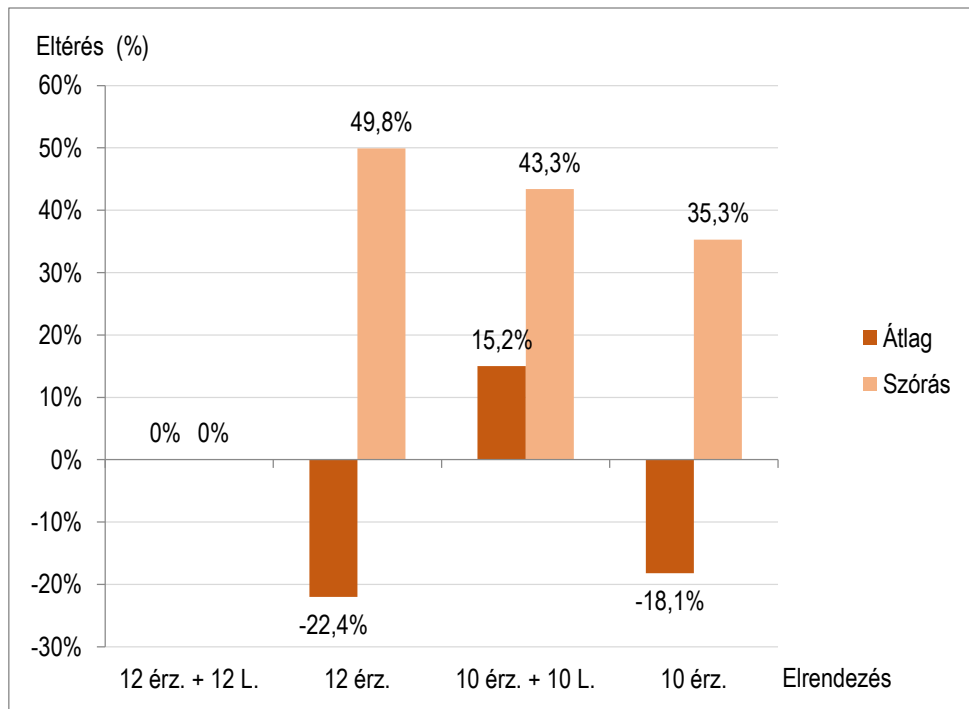


26. ábra: A korhad terület arányának elemzése az eredmények tükrében

(forrás: Vida Bertalan, saját készítésű ábra)

Biztonsági tényező

A biztonsági tényező vonatkozásában kicsit más a helyzet. A kétféle Ludwig-szöges mérés szinte azonos biztonsági tényezőt eredményezett, az átlagos eltérés viszonylatában. A 12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett méréshez viszonyítva a 12 db és 10 db Piezo érzékelővel végzett mérésekkel átlagosan 22,4-18,1%-al alacsonyabb biztonsági tényezőt kaptunk (27. ábra). A hozzájuk tartozó szórás ezen értékek kétszerese. A 12 db Piezo érzékelő + 12 db Ludwig-szöges méréshez viszonyítva ezek az eltérések ugyan nem tekinthetők szignifikáns eltéréseknek, de jó okunk van feltételezni, hogy a törzs geometriájának pontosabb leírása okozza.



27. ábra: A biztonsági tényező elemzése az eredmények tükrében

(forrás: Vida Bertalan, saját készítésű ábra)

4.2.2. Ludwig-szögekkel és nélkülük végzett mérések közötti kontraszt

A különböző számú érzékelőkkel végzett mérések korhadt terület és biztonsági tényező eredményeinek összevetése mellett a Ludwig-szögekkel és a nélkülük végzett mérések közötti kontraszt is jelentős fejleményekkel szolgált. Ez egy kisebb mértékű korhadás esetén érzékeltethető legjobban. Az AH2 kódú vadgesztenye 20 cm magasan végzett mérései, egy kisebb korhadást mutattak a törzs nyugati felében. A 2D-s tomogram képeken jól kivehető, hogy a Ludwig-szögekkel végzett mérések jóval kontrasztosabban mutatják be a korhadt területet (5.5. melléklet). Az előbbi állítást alátámasztják a sebesség adatok is. Ha a 4 féle mérés tomogram képén megnézzük a korhadás legalacsonyabb (korhadás közepén) sebességét és a referencia sebességek különbségét, akkor láthatóvá válik, hogy a 12 db Piezo érzékelővel és 12 db Ludwig-szöggel végzett mérésnél a legnagyobb a sebesség eltérés (3. táblázat). Tehát a szemmel látható különbség (tomogram képek) mellett adatokkal is alá tudom támasztani azt az állítást, hogy minél nagyobb a sebesség eltérés, vagyis minél több jeladót – jelen esetben Ludwig-szöget – használunk, annál nagyobb a tomogramon a kontraszt, és így jobban kirajzolódik a korhadt terület. Röviden összefoglalva a fenti megállapítást, több ponttal dolgozva kontrasztosabb képet kapunk.

3. táblázat: A Ludwig-szögekkel és nélkülük végzett mérések közötti különbség, kisebb mértékű korhadás esetén, a hangterjedési sebesség adatok fényében, az AH2 kódú vadgesztenye 20 cm rétegmagasságban végzett mérései alapján (forrás: saját készítésű táblázat)

Elrendezések (AH2, 20 cm)	Korhadás közepén a legalacsonyabb sebesség (m/s)	Referencia sebesség (m/s)	Eltérés (m/s)
12 db Piezo érzékelő + 12 db Ludwig-szög	1084	1463	379
12 db Piezo érzékelő	1179	1444	265
10 db Piezo érzékelő + 10 db Ludwig-szög	1155	1447	292
10 db Piezo érzékelő	1213	1434	221

Azokat a már ismert állításokat, hogy a Ludwig-szögek alkalmazásával részletesebb, kontrasztosabb és pontosabb geometriájú méréseket lehet elvégezni, a Ludwig-szögekkel és nélkülük végzett akusztikus tomográfus méréseimből származó tomogram képekkel tudom legszemléletesebben alátámasztani. Az összesen 60 db mérést és a hozzájuk tartozó többrétegű nézeteket az 5. melléklet tartalmazza. Az 5-ször 12 db mérést vizsgált fánként, külön-külön mutatom be, a PC1 kódú fával kezdve és utána sorban az AH1-, AH2-, AH3-, AH4 kódú fákkal folytatva.

A PC1 kódú *Populus × canadensis* 20 cm rétegmagasságában jól kivehető a törzs északi oldalán található korhadás kontrasztosabb kirajzolódása és a pontosabb törzsgeometria a jeladók számának növelésével (5.1. melléklet). A kisebb korhadások Ludwig-szögekkel történő pontosabb leírása, szintén jól kivehető a 100 és 180 cm rétegmagasságban végzett méréseknél a 10 db Piezo érzékelővel végzett mérésektől a 24 pontos (12 db Piezo érzékelő + 12 db Ludwig-szög) geometriát mutató tomogramok felé haladva. A többrétegű nézet nem mutat nagyobb összefüggő korhadást a 3 különböző magasságú réteg (20 cm, 100 cm, 180 cm) között (5.2. melléklet).

Az AH1 kódú *Aesculus hippocastanum* tomogram képeiből is érzékelhető a pontosabb törzsgeometria és a korhadás valóságosabb, részletesebb bemutatása a Ludwig-szögek alkalmazásával (5.3. melléklet). A gyökérmnyaktól induló összefüggő csöves korhadás jól kivehető a vizsgált rétegmagasságokat követve. A vizsgált rétegeken átívelő korhadást jól szemléltetik a 3D többrétegű nézetek (5.4. melléklet).

A fejezetben már elemzett AH2 kódú *Aesculus hippocastanum* 20 cm rétegmagasságban detektált kisebb korhadása a 24 pontos geometria leírással a legszembevetőbb (5.5. melléklet). A 4.2.1. fejezetben ismertetett oknál fogva (hibás idő adatok) a 100 és a 180 cm rétegeken 6 db torz tomogram kép született. A három alkalommal történt javító mérések sem tudták ezt a problémát kiküszöbölni, viszont a teljesség érdekében ezeket a méréseket is benne hagytam ebben a vizsgálatban. Ugyanakkor a 20 cm rétegmagasságban végzett mérések tökéletesen alkalmasak voltak a korábban részletezett sebesség adatokkal kapcsolatos megállapításomhoz. A 6 db reális képet mutató tomogram és a szemrevételezés vizsgálat eredményei alapján gyanítható, hogy ebben a fában is található csöves korhadás (5.6. melléklet).

Az AH3 kódú *Aesculus hippocastanum* tomogram képein figyelhetőek meg leginkább a Ludwig-szögek alkalmazásának előnyei (pontosabb törzsgeometria leírás, korhadt terület jobb felbontású megjelenítése), továbbá a fában a gyökérynaktól 180 cm magasságig igazolhatóan előforduló csöves korhadás (5.7. és 5.8. mellékletek). A szemrevételezéses favizsgálat észrevételeit jól kiegészítik a műszeres favizsgálat eredményei.

Az AH4 kódú *Aesculus hippocastanum* esetében is megfigyelhetőek a tomogram képeken a Ludwig-szögek alkalmazásának előnyei (5.9. melléklet). A tomogram képek egy jól definiálható csöves korhadásról árulkodnak (5.10. melléklet), mely 20 cm rétegmagasságban már megfigyelhető és nagy valószínűséggel a fa korábban levágott, déli sudarának a metszlapjában végződik.

Vida Bertalan

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A következőkben elsősorban az Eredmények és értékelésük c. fejezetben részletezett műszeres favizsgálatok értékeléséből, a Ludwig-szögek alkalmazására vonatkozó következtetéseket fogalmazok meg. Továbbá javaslatot teszek a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf felhasználóinak, hogy a Ludwig-szögeket milyen esetben érdemes használni. Lezárásképp röviden, kezelési javaslatot teszek az 5 vizsgált fára vonatkozóan, azzal a szándékkal, hogy minél tovább biztosítva legyen a megtartásuk és, hogy a környezetükre se jelentsenek veszélyt.

5.1. Következtetések és gyakorlati tanácsok a Fakopp 3D műszer felhasználóinak a Ludwig-szögek alkalmazásával kapcsolatban

A Fakopp 3D Akusztikus Tomográfal elvégzett műszeres favizsgálataimból (5 db vizsgált fán, 60 db mérés) kiderült, hogy a Ludwig-szögek használatával részletesebb, kontrasztosabb, jobb felbontású és a valóságot pontosabban leíró törzsgometriát mutató képet kaphatunk a fa vizsgált rétegéről, mintha nélkülük, pusztán csak Piezo érzékelőket használnánk. A tomogramok elemzése és a sebesség adatok is ezt támasztották alá.

Az értékelésből kiderült, hogy a korhadt terület százalékos arányának megállapításánál nem szignifikáns, hogy használunk-e Ludwig-szögeket vagy sem. A biztonsági tényező meghatározásánál, azonban már érzékelhető a Ludwig-szögek használata. Az összesítő táblázat (4. melléklet) megmutatta, hogy a 12 db Piezo érzékelővel végzett mérések és a 12 db Piezo érzékelő és 12 db Ludwig-szöggel végzett mérések között az átlagos eltérés a biztonsági tényezőben 22,4% (-22,4%), tehát Ludwig-szögek alkalmazásával kerekítve maximum 20% javulást lehet elérni a biztonsági tényezőre vonatkozóan. A megállapításom 5 db koros és korhadt fán elvégzett 60 db mérés adataira támaszkodik.

Kis törzsátmérőjű ($d < 30$ cm) fán, illetve olyan fán, ahol a szemrevételezés favizsgálat alapján egyértelműen meghatározható a korhadás és annak jelentősége, nem javaslom a Ludwig-szögek alkalmazását, mert felszerelésük körülményesebb, mint egyszerűen felhelyezni a fa vizsgált rétegére 8, 10 vagy 12 db Piezo érzékelőt.

A fenti javaslatomat, azonban érdemes megfontolni, olyan esetekben, amikor a vizsgált fa adott rétegén a biztonsági tényező 100 vagy 150% határértékek körül mozog. Az ilyen helyzetekben mérvadó a Ludwig-szögek használata, hiszen a fenti következtetésnél maradván nem mindegy, hogy 20%-al több vagy kevesebb a biztonsági tényező, vagyis, hogy magas- mérsékelt vagy alacsony kockázata van (lásd 2.3. Biztonsági tényező c. fejezet) a fatörzs törésének adott rétegen. A gyakorlati tanácsom, tehát az a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf felhasználóinak, hogyha adott mérés kiértékelésénél nem határérték körül mozog a biztonsági tényező, akkor megbízhatunk a sima, Ludwig-szögek nélküli vizsgálatunk eredményében. Amennyiben viszont határérték körül mozog a biztonsági tényező (150%) ott Ludwig-szögek alkalmazását javaslom. Kevésbé gyakorlott favizsgálóknak is tanácsolom a Ludwig-szögek alkalmazását, hisz biztosabb mérések végezhetőek velük.

Összességében megállapítható, hogy a Ludwig-szög egy hasznos, tartalék biztonsági rendszer a Fakopp 3D műszeren belül, mellyel pontosabb és biztosabb eredményeket lehet elérni az akusztikus tomográfus műszeres favizsgálatok során.

5.2. Kezelési javaslatok a vizsgált fákra vonatkozóan

A fadiagnosztikai adatlapokon feltüntetett kezelési javaslatokat a Magyar Faápolók Egyesülete által javasolt faápolási javaslatok (SZALLER, 2017) alapján határoztam meg.

Kezelési javaslat PC1 kódú *Populus x canadensis*-re

A 2019-ben visszacsonkolt koronájú, a törzsön kisebb korhadat felületekkel rendelkező kanadai nyárra vonatkozóan a következő állapot megóvó intézkedéseket javaslom: hajtásválogatás, sarjak (törzssarjak eltávolítása), seb-, odú- és üregkezelés, gyökérkezelés, ápoló metszés. Ezen faápolási munkák rendszeres elvégzésével a fa még legalább 10 évig megtartható. A következő favizsgálat javasolt ideje: 2023. augusztus.

Kezelési javaslat AH1 kódú *Aesculus hippocastanum*-ra

Az odvakkal és ágcsontokkal rendelkező, üreges törzsű vadgesztenyére vonatkozóan a következő kezeléseket javaslom: korona kurtítása, ápoló metszés, sarjak eltávolítása (törzs), seb-, odú- és üregkezelés, 3D favizsgálat (akusztikus tomográfal történő favizsgálat) készítés. A következő favizsgálat javasolt ideje: 2023. augusztus. Az előírt, rendszeresen elvégzett faápolási munkák és jövőbeni favizsgálatok elvégzése mellett javaslom a fa egy évtizeden belüli lecserélését.

Kezelési javaslat AH2 kódú *Aesculus hippocastanum*-ra

A bekorhadó ágcsontokkal rendelkező vadgesztenyére a következő kezeléseket javaslom: korona kurtítása, ápoló metszés, seb-, odú- és üregkezelés, 3D favizsgálat (akusztikus tomográfal történő favizsgálat) készítés. A következő favizsgálat javasolt ideje: 2023. szeptember. Az előírt, rendszeresen elvégzett faápolási munkák és jövőbeni favizsgálatok elvégzése mellett javaslom a fa egy évtizeden belüli lecserélését.

Kezelési javaslat AH3 kódú *Aesculus hippocastanum*-ra

A csövesen bekorhadt törzsű vadgesztenyére a következő kezeléseket javaslom: korona kurtítása, ápoló metszés, sarjak eltávolítása, seb-, odú-, és üregkezelés, 3D favizsgálat (akusztikus tomográfal történő favizsgálat) készítés. A következő favizsgálat javasolt ideje: 2023. augusztus. Az előírt, rendszeresen elvégzett faápolási munkák és jövőbeni favizsgálatok elvégzése mellett javaslom a fa egy évtizeden belüli lecserélését.

Kezelési javaslat AH4 kódú *Aesculus hippocastanum*-ra

A csövesen korhadt, csavarodott törzsű, aszimmetrikus koronájú vadgesztenyére a következő kezeléseket javaslom: korona kurtítása, ápoló metszés, sarjak eltávolítása, seb-, odú-, és üregkezelés, nedves odú kezelése, pangó víz kivezetése, 3D favizsgálat (akusztikus tomográfal történő favizsgálat) készítés. A következő favizsgálat javasolt ideje: 2023. augusztus. Az előírt, rendszeresen elvégzett faápolási munkák és jövőbeni favizsgálatok elvégzése mellett javaslom a fa egy évtizeden belüli lecserélését.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom célja az volt, hogy a magyarországi favizsgálati gyakorlatban használt, elterjedt és hatékony, Fakopp 3D Akusztikus Tomográf részét képező Ludwig-szögek favizsgálatokban történő alkalmazhatóságának előnyeit és korlátjait feltárjam, a technikáról ismert, eddig összegyűjtött tudás és a szakdolgozatomhoz tartozó vizsgálati fejlemények fényében és, hogy a munkám lezárásaképp, gyakorlati tanácsokat fogalmazzak meg a műszer felhasználóinak.

Az Irodalmi áttekintés c. fejezetben felkutattam és tárgyaltam a választott témámhoz szervesen kapcsolódó szakirodalmat valamint kifejtettem azokat a kulcsfogalmakat, melyek a szakdolgozatom további fejezeteinek értelmezését segíthetik, akár egy laikus olvasó számára. A fejezeten belül részletezett legfontosabb érintett témák voltak: a favizsgálat, a favizsgálati módszerek, a vizuális favizsgálat, a magyar favizsgálati gyakorlatban a korhadások detektálására alkalmazott műszeres favizsgálatok, valamint a Ludwig-szög és a biztonsági tényező fogalmak.

Az Anyag és módszer c. fejezetben bemutattam a vizsgálatomat, mellyel a célkitűzésben megfogalmazott Ludwig-szöges technika előnyeinek és korlátainak felkutatása volt a cél. Ehhez 5 db koros és korhadt fán végeztem teljes körű vizuális és műszeres favizsgálatot. A vizsgálatom alanyainak 1 db *Populus × canadensis*-t 4 db *Aesculus hippocastanum*-ot választottam. A favizsgálatokat 2022 szeptemberében és augusztusában Budapest 1. és 3. kerületében végeztem. A fejezetben bemutattam a vizsgált fák településen belüli jelentőségét és a fafajok tulajdonságait, majd részleteztem a favizsgálatok menetét. Elsőként szemrevételezéssel majd akusztikus tomográffal (Fakopp 3D) is megvizsgáltam a fákat. A Fakopp 3D Akusztikus Tomográffal az 5 fán, 3 különböző magasságú rétegen (20 cm, 100 cm, 180 cm) összesen 60 db (5x3x4 mérés) 2D-s mérést végeztem. Egy adott rétegmagasságban 4 db mérést végeztem: 10 db Piezo érzékelővel, 10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel, 12 db Piezo érzékelővel és 12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel. Mind a 60 mérés esetében meghatároztam a biztonsági tényezőt és a korhadt terület százalékos arányát. A biztonsági tényező és korhadás százalékos adatok elemzésével össze tudtam hasonlítani a Ludwig-szögekkel végzett méréseimet a nélkülük végzett méréseimmel.

A favizsgálatok eredményeit fadiagnosztikai adatlapokon, egy a 60 db mérés biztonsági tényező és korhadás százalékos adatait összesítő táblázatban, fotódokumentációban és tomogram képekben összesítettem. A fák aktuális állapotának leírása mellett, a műszeres favizsgálatok során nyert adatok elemzésével kiderült, hogy a korhadt terület százalékos arányának megállapításánál nem szignifikáns, hogy használunk-e Ludwig-szögeket, ugyanakkor a biztonsági tényező esetében, akár 20% körüli javulást lehet elérni velük. A szakdolgozat eredményei alátámasztják azokat a megállapításokat, hogy a Ludwig-szögek használatával részletesebb, kontrasztosabb, a valóságot pontosabban leíró képet kaphatunk, a fa vizsgált rétegéről.

A szakdolgozat következtetései révén a legfőbb javaslatom a Fakopp 3D Akusztikus Tomográf használatának, hogy amennyiben egy vizsgált fa adott rétegen kockázati határérték körül mozog a biztonsági tényező (150%) használjanak Ludwig-szögeket a pontosabb eredmény érdekében.

7. IRODALOMJEGYZÉK

Szakirodalmi források:

- LUKÁCS Z. 2020. Faápolás, Garden Kft., Budapest
- Dr. RADÓ D. 1999. Bel- és külterületi fasorok EU-módszer szerinti értékelése. A Lélegzet c. lap 1999/7-8. számának melléklete, Budapest
- RETKES J., TÓTH I. 1997. Lombos fák, cserjék, Botanika Kft., Budapest
- SCHMIDT G. 2003. Növények a kertépítészetben, Mezőgazda Kiadó, Budapest
- SCHMIDT G., TÓTH I. 2006. Kertészeti dendrológia, Mezőgazda Kiadó, Budapest
- SZALLER V. 2013. Útmutató a fák nyilvántartásához és egyedi értékük kiszámításához, Magyar Faápolók Egyesületének kiadványa
- SZALLER V. 2017. Útmutató a vizuális és műszeres favizsgálatok elvégzéséhez és dokumentálásához, Magyar Faápolók Egyesületének kiadványa

Egyéb források:

- ARBORSONIC 3D 2020. Használati útmutató az ArborSonic3D akusztikus tomográfhoz, felhasználói kézikönyv, Fakopp Enterprise Bt.
- BUDAPEST I. KÉSZ: Budavári Építési Szabályzat (KÉSZ) – A Budavári Önkormányzat Képviselőtestületének 16/200 (VIII.15.) Kt. számú önkormányzati rendelete a Bp. I. kerületi Építési Szabályzatról
- BUZA Á. K. 2021. „TREE ASSESSOR”/Favizsgáló – Haladó faápolás és favizsgálat – kézikönyv szakemberek számára, Dobre Kadry. Research and Training Centre Ltd., Wrocław
- Dr. DIVÓS F. 2013. Instrument supported tree evaluation in Hungary, Nyugat-magyarországi Egyetem, egyetemi előadás
- Dr. DIVÓS F. 2022. Szóbeli közlés
- Dr. DIVÓS F. 2023. Szóbeli közlés
- OBESZ 2018: Budapest Főváros III. kerület, Óbuda-Békásmegyer Önkormányzat képviselőtestületének 20/2018. (VI.26.) önkormányzati rendelete Óbuda-Békásmegyer Építési Szabályzatról
- OBESZ 2018 1. SZ. MELLÉKLET: Budapest főváros III. kerület, Óbuda-Békásmegyer képviselőtestületének 20/2018. (VI.26.) sz. ök. rendelete Óbuda-Békásmegyer építési szabályzatról, 1. sz. melléklet – Szabályozási Terv, 1. sz. szelvény
- Dr. PUSKÁS L. 2022. Teljeskörű favizsgálat, egyetemi előadás
- I. KER. SZAB: A Budavári Önkormányzat Képviselőtestületének 16/2000. (VIII.15.) Kt. rendeletével jóváhagyott, többszörösen módosított Budapest I. kerületi Építési Szabályzat (KÉSZ) – Szabályozási Terv, 74. szelvény

Internetes források:

- URL1: <https://www.boehler.hu/hu/products/k720/>
- URL2: <https://kertlap.hu/vadgesztenye-aknazomoly/>

8. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Favizsgálati eljárások rendszere (forrás: SZALLER, 2017)	6
2. ábra: Pressler-fúró (forrás: https://www.iguiecologia.com/idade-das-arvores-e-possivel-saber/).....	8
3. ábra: Az ellenállásfúrás elve (forrás: BUZA, 2021)	8
4. ábra: Példa egy 1D-s, vonalmenti akusztikus mérésre (forrás: BUZA, 2021).....	9
5. ábra: Több érzékelő használatával, megbízhatóbb tomogram képet, megbízhatóbb eredményt kapunk a több „mérési vonalnak” köszönhetően	10
(forrás: BUZA, 2021).....	10
6. ábra: A Fakopp 3D Akusztikus Tomográfhoz tartozó 6 cm-es és 12 cm-es („normál”- és „hosszútüske”) Piezo érzékelők.....	10
(forrás: BUZA, 2021).....	10
7. ábra: Elektromos ellenállás térképek, tomogramok.....	11
A bal oldali kép egészséges állapotot, a jobb oldali kép elváltozást jelez (forrás: SZALLER, 2017)	11
8. ábra: Csupán Piezo érzékelős és Ludwig-szöges mérés ugyanazon a fán, azonos rétegmagasságban	14
(forrás: Vida Bertalan saját mérés, 2022).....	14
9. ábra: A Wessolly-féle „statikai háromszög”	15
(forrás: BUZA, 2021).....	15
10. ábra: Vadgesztenye (AH3) tomogramja 12 érzékelővel, 20 cm rétegmagasságon.....	16
(forrás: Vida Bertalan, saját mérés, 2022).....	16
11. ábra: Vadgesztenye (AH3) vizsgálati rétegéhez (20 cm rétegmagasságon 12 érzékelővel végzett mérés) számított biztonsági tényező.....	16
(forrás: Vida Bertalan, saját mérés, 2022).....	16
12. ábra: A vizsgált kanadai nyár megőrzendő értékes faként jelölve a 3. kerület szabályozási tervén.....	19
(forrás: OBESZ 2018 1. SZ. MELLÉKLET).....	19
13. ábra: A vizsgált kanadai nyár elhelyezkedése.....	19
(forrás: saját készítésű ábra, Google Earth 2016.07.10).....	19
14. ábra: A vizsgált vadgesztenyék befogadó 5187 hrsz.-ú telek az 1. kerület szabályozási tervén.....	19
(forrás: I. KER. SZAB).....	19
15. ábra: A vizsgált vadgesztenyék elhelyezkedése	19
(forrás: saját készítésű ábra, Google Earth 2016.07.10).....	19
16. ábra: <i>Populus × canadensis</i> levelei.....	20
(forrás: https://hu.pinterest.com/pin/36-populus-x-canadensis-serotina-aurea-golden-poplar--566820303071202011/).....	20
17. ábra: <i>Populus × canadensis</i> 'Robusta'	20
(fotó: Vida Bertalan, 2022. szeptember, Budapest).....	20

18. ábra: <i>Aesculus hippocastanum</i>	21
(forrás: https://www.researchgate.net/figure/Aesculus-hippocastanum-L_fig1_318394642).....	21
19. ábra: <i>Aesculus hippocastanum</i>	21
(fotó: Vida Bertalan, 2022. szeptember, Budapest).....	21
20. ábra: A műszeres favizsgálathoz használt eszközök	23
(fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 3. kerület)	23
21. ábra: Érzékelőfejek kiosztása.....	25
(fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 3. kerület)	25
22. ábra: Érzékelőfejek bemérése Bluetooth átlalóval (fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 3. kerület)	25
23. ábra: 12 db Ludwig-szög kiosztása 12 db Piezo érzékelő közé	26
(fotó: Vida Bertalan, 2022. augusztus, Budapest, 1. kerület)	26
24. ábra: Rajzolt koronamodell a ArborSonic 3D szoftver kiértékelésénél	26
(forrás: Vida Bertalan, saját készítésű ábra, 2022. szeptember).....	26
25. ábra: A vizsgált fák Radó-MFE-féle állapotértékelése.....	27
(forrás: saját készítésű ábra).....	27
26. ábra: A korhadt terület arányának elemzése az eredmények tükrében	30
(forrás: Vida Bertalan, saját készítésű ábra)	30
27. ábra: A biztonsági tényező elemzése az eredmények tükrében	31
(forrás: Vida Bertalan, saját készítésű ábra)	31

9. MELLÉKLETEK

1. melléklet: Fafelvételi minta-adatlap

2. melléklet: Fadiagnosztikai adatlapok

3. melléklet: Fotódokumentáció a vizsgált fákról és a rendellenességeikről

4. melléklet: Biztonsági tényező és korhadt terület (korhadás) arányának meghatározása és elemzése az elvégzett 60 db akusztikus tomográfus mérés alapján

5. melléklet: Fakopp 3D Akusztikus Tomográf ArborSonic 3D szoftverével készített tomogram képek az 5 vizsgált fáról

Vida Bertalan

1. melléklet: Fafelvételi minta-adatlap (forrás: Ócsvári Gábor, 2022)

alapadatok	sorszám								
	dátum								
	helyszín								
	térképi (kataszteri) sorszám								
	tudományos név								
	magyar név								
	törzs átmérő								
	fa magasság								
	korona átmérő								
	törzs magasság								
	korona alsó magassága								
	fa elhelyezkedése								
	környezeti elhelyezkedés								
környezet	élőhely minősége								
	veszélyeztetés								
	favédelmi zóna burkolata								
	közmű								
	légvezeték								
	épület								
	talajrepedést okozott								
gyökér	Felszínre került gyökérzet								
	Felszínre hozott gyökérzet								
	talajfelszint megemelte								
	Feltöltött gyökérzet								
	Feltöltődött gyökérze								
	Gyökérsérülés								
	Sekély gyökérzet								
	Gyökértorlódás								
	Építménybe nőtt gyökér								
	Fojtógyökér								
	Elhalt gyökér								
	Gyökérsarjak								
	kimozdult a helyéről								
	Gombatermőtestek								
Egyéb									
gyökérnyak	palack törzs								
	léces vastagodás								
	kéregsérülés								
	fatest sérülés								
	korhadás								
	odvasodás								
	belenőtt tárgy								
	tősarj								
	tapló termőtest								
Egyéb									
	Gyökér osztályzat								
törzs	Több törzs								
	ferde								
	felegyenesedett								
	csavartodott								
	dudor								
	sejtburjánzás								
	horpadás								
	mézga folyás								
	gyanta folyás								
nedv folyás									

törzs	baktériumos nedv folyás								
	héjaszás								
	kéreg és hancssérülés								
	kéreggyűrődés								
	záródott seb								
	fatest sérülés								
	kéreg repedés								
	fagyrepedés								
	hasadás								
	léces vastagodás								
	lehasított ág								
	korhadás								
	odvasodás								
	ágcsonk								
	törzssarj								
	törzsbe nőtt idegen tárgy								
	tapló termőtest								
	kúszónövény								
	röpnylás								
lakott odú									
Egyéb									
koronaalap	oltott								
	villás								
	terhelt								
	hasadt								
	sérült								
	korhadt								
	odvas								
	Vízszak								
Egyéb									
Törzs osztályzat									
korona	elvesztett sudárú								
	külpontos								
	felegyenesedett								
	féloldalas								
	torz								
	lefejezett								
	korábban lefejezett								
	visszavágott								
	csúcscsáradás								
	száraz ág								
	rossz állású ág								
	gerendaszerű ág								
	lehasadt ág								
	sérült ág								
	repedt ág								
	dörzsölt ág								
	odvas ág								
	ágcsonk								
	fagyöngy								
	kúszónövény								
tapló termőtest									
Egyéb									
korona osztályzat									

2. melléklet: Fadiagnosztikai adatlapok (forrás: saját készítésű adatlapok, SZALLER, 2017 alapján)

Vizuális és Fakopp 3D műszeres fadiagnosztikai adatlap és kezelési javaslat

Alapadatok	
Helység:	Budapest, 3. kerület
Terület:	64666 hrsz., Árok utca-Rézüst u. sarka
Fa kódja	PC1
Fafaj (latin)	<i>Populus × canadensis</i>
Fafaj (magyar)	kanadai nyár
Fa magasság:	22 m
Törzs magasság:	3 m
Törzs átmérő 1-m-en:	130 cm
Törzs kerület 1 m-en:	430 cm
Korona átmérő:	12 m
Vizsgálat ideje:	2022.08.16

DIAGNÓZIS:

Gyökérzet és gyökérnyak állapota	
Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
A gyökérzetten és/vagy a gyökérnyakon látható kisebb károsodások (sebek és korhadások), csekély hibákkal rendelkező termőhelyen	

Gyökér állapotjelzők: A rézsűs koronavonalában álló fa, felszínre került (lehordódás K-en) gyökérzetén kisebb sérülések

Gyökérnyak állapotjelzők: Gyökérnyak É-i oldalán kisebb sérülések (kéregleválás, korhadás)

Törzs állapota	
Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
Törzs egyértelmű károsodása (néhány felszíni seb és korhadási helyek)	

Horpadás a törzs északi részén. A horpadt részen a gyökérnyaktól kb. 150 cm magasságig korhadás (max 30 cm széles), itt a kéreg is levált. Törzssarjak (max 4 cm vastagok). Törzsbe nőtt vezetékek (200 cm magasságban)

Koronaalap és korona állapota	
Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
Jelentős lombvesztés (26-50%)	

Koronaalap állapotjelzők: Kalluszosodó ágcsont a koronaalapban.

Korona állapotjelzők: A koronaszerkezet torz (koronakurtítás - 2019). Csonkolások nyomok, ágcsontok (d=30 cm) a koronában. Száraz ágak jelenleg 5% alatt. Visszavágtott, sérült, repedt erős és durva ágak

A fa egészségi állapota és életképessége (MFE ajánlás 2012)	
Értékszám:	3
A fa a termőhely által meghatározott életkor előtt lecsereplendő.	

A fa általános állapot mutatója: 55,00%

A fa statikai állapota	
Kitérés a függőlegestől	
Kitérés iránya: -	Mértéke: -
Súlypont eltolódás	Mértéke: -

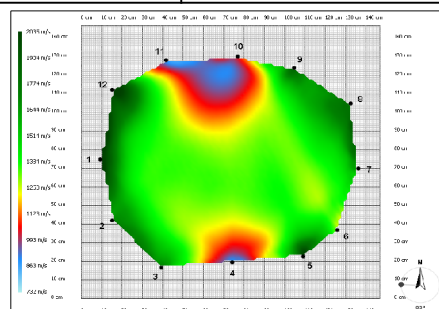
A fa kockázatelemzését befolyásoló tényezők:	
A fa elhelyezkedése:	Szoliter
A fa környezete	Értékszám: 3
A fa környezetében (1-2) épített elem van	
A fa élőhelyének minősége	Értékszám: 4
A fa élőhelyi adottságai jók.	
Környezeti veszélyeztetettség	Értékszám: 4
A fa a környezetre esetenként veszélyt jelenthet.	
Kockázat arányos megtarthatósági mutató:	77,16%

Megjegyzés: 2019-ben visszacsönkolták a koronáját, néhol 30-40 cm átmérőjű ágak eltávolításával és ágcsontok visszahagyásával. 2020 telén szennyvíz csatornát fektettek a fa törzsétől 8-m re, 2 m mély munkaárkokkal.

Felvételező: Vida Bertalan



Műszeres vizsgálat	
Réteg magassága:	20 cm
Érzékelők száma:	12 érzékelő
Pozíció séma:	irreguláris
Átmérő 1:	Átmérő 2:
Törzskerület:	460 cm



A réteg műszeres vizsgálatának értékelése	
A vizsgált magasságban a tomogram kis kiterjedésű, a keresztmetszet 20%-nál kisebb. É-i oldalon elhelyezkedő belső szerkezeti elváltozást, kisebb korhadat területet jelez.	

Kezelési javaslat:	
Hajtásválogatás, sarjak eltávolítása (törzssarj), seb, odú- és üregkezelés, gyökérkezelés, ápoló metszés.	

Következő favizsgálat javasolt ideje: 1 év

Vizuális és Fakopp 3D műszeres fadiagnosztikai adatlap és kezelési javaslat

Alapadatok

Helység:	Budapest, 1. kerület
Terület:	5187 hrsz., Hegyalja út 16.
Fa kódja	AH1
Fafaj (latin)	<i>Aesculus hippocastanum</i>
Fafaj (magyar)	közönséges vadgesztenye
Fa magasság:	13 m
Törzs magasság:	2,2 m
Törzs átmérő 1-m-en:	56 cm
Törzs kerület 1 m-en:	192 cm
Korona átmérő:	10 m
Vizsgálat ideje:	2022.08.26

DIAGNÓZIS:

Gyökérzet és gyökérnyak állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
A gyökérzetten és/vagy a gyökérnyakon látható kisebb károsodások (sebek és korhadások), csekély hibákkal rendelkező termőhelyen.	
Gyökér állapotjelzők: épített műtárgyak a fa statikai védőzónájában (kerti szegély, támfal/kerítésláb)	
Gyökérnyak állapotjelzők: tősarjak, a favédelmi zónán belül szórt burkolattal fedett parkolóhelyek, kisebb sebek/ korhadások	

Törzs állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	2
A törzs erős károsodása (több nagy felületű seb, mély bekorhadások)	
Törzssarjak, be nem gyógyult sebek, ágcsontk 2,2 m magasan (d=20 cm), begyógyult seb, talajtól számítva 160 cm-től 200 cm-ig nyílt korhadt odú, a csöves korhadás a fában gyökérnyaktól számítva körülbelül 4 m hosszú.	

Koronaalap és korona állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
Jelentős a lombvesztés (26-50%).	
Koronaalap állapotjelzők: gyökérnyakból induló csöves korhadás folytatódik a koronában, koronaalapon eltávolított durva ágak nyílt sebei	
Korona állapotjelzők: 6,5 m magasan korona elágazódás (3 vázág), száraz ágak (10% alatt), légvezeték fölé hajló ág, odvas vázág, ágcsontkok	

A fa egészségi állapota és életképessége

Értékszám:	2
Egy évtizeden belül lecsereplendő.	
A fa általános állapot mutatója:	45,00%

A fa statikai állapota

Kitérés a függőlegestől		
Kitérés iránya: -	Mértéke:	-
Súlypont eltolódás	Mértéke:	-

A fa kockázatelemzését befolyásoló tényezők:

A fa elhelyezkedése:	Fasor	
A fa környezete	Értékszám:	1
A fa környezetében sok (5-nél több) épített elem található.		
A fa élőhelyének minősége	Értékszám:	2
A fa élőhelyi adottságai rosszak.		
Környezeti veszélyeztetettség	Értékszám:	2
A fa a környezetét gyakran veszélyezteti.		
Kockázat arányos megtarthatósági mutató:	52,02%	

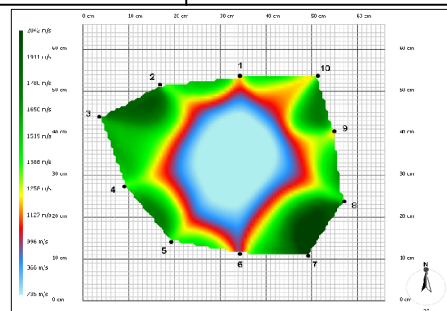
Megjegyzés: 2 m-re a fa tengelyétől, 6 m magasan légvezeték a fa koronája mellett a Berényi utcában. A fa törzsétől 40 cm-re beton kerti szegély épült beton alappal. A favédelmi zóna burkolata folyami szórt kavics (5-20 mm). A fa törzsétől 5 m-re 3 szintes épület, 1 m-re támfal található.

Felvételező: Vida Bertalan



Műszeres vizsgálat

Réteg magassága:	160 cm
Érzékelők száma:	10
Pozíció séma:	irreguláris
Átmérő 1:	Átmérő 2:
Törzskerület:	194 cm



A réteg műszeres vizsgálatának értékelése

A vizsgált magasságban a tomogram nagy kiterjedésű, a keresztmetszet 50 %-át meghaladó nagyságú, középpontosan elhelyezkedő belső szerkezeti elváltozást, nagyméretű korhadt üreget jelez.

Kezelési javaslat:

Korona kurtítása, ápoló metszés, sarjak eltávolítása, seb, odú- és üregkezelés, 3D favizsgálat készítése

Következő favizsgálat javasolt ideje:

1 év

Vizuális és Fakopp 3D műszeres fadiagnosztikai adatlap és kezelési javaslat

Alapadatok

Helység:	Budapest, 1. kerület
Terület:	5187 hrsz., Hegyalja út 16.
Fa kódja	AH2
Fafaj (latin)	<i>Aesculus hippocastanum</i>
Fafaj (magyar)	közönséges vadgesztenye
Fa magasság:	13 m
Törzs magasság:	3 m
Törzs átmérő 1-m-en:	48 cm
Törzs kerület 1 m-en:	156 cm
Korona átmérő:	10 m
Vizsgálat ideje:	2022.09.02

DIAGNÓZIS:

Gyökérzet és gyökérnyak állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
A gyökérzetten és/vagy a gyökérnyakon látható kisebb károsodások (sebek és korhadások), csekély hibákkal rendelkező termőhelyen.	
Gyökér állapotjelzők: A fa statikai biztonsági védőzónáján belül egy 2 m magas súlytámfal található (Hegyalja út), talajtömörödés (parkoló autók)	
Gyökérnyak állapotjelzők: a favédelmi zónán belül szórt burkolattal fedett parkolóhelyek, kisebb sérülések	

Törzs állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
A törzs egyértelmű károsodása (néhány felszíni seb és korhadási helyek)	
Ikersudaras, lehasított ág, ágcsomok a törzsen 130 cm magasságban, bekorhadott csomok, D-i sudárban 30 cm- hosszú odú a koronaalap után	

Koronaalap és korona állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
Jelentős a lombvesztés (26-50%).	
Koronaalap állapotjelzők: korhadott odú a koronaalapban	
Korona állapotjelzők: Torz/asszimmetrikus korona, száraz ágak 5 % alatt, durva ág méteres ágcsomja a koronában	

A fa egészségi állapota és életképessége

Értékszám:	2
Egy évtizeden belül lecsereplendő.	

A fa általános állapot mutatója: 50,00%

A fa statikai állapota

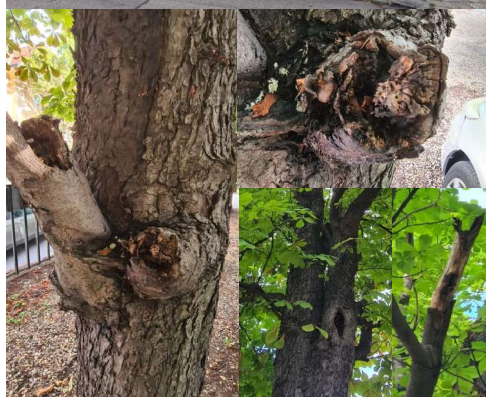
Kitérés a függőlegestől	
Kitérés iránya: -	Mértéke: -
Súlypont eltolódás	
Mértéke: -	

A fa kockázatelemzését befolyásoló tényezők:

A fa elhelyezkedése:	Fasor
A fa környezete	Értékszám: 1
A fa környezetében sok (5-nél több) épített elem található.	
A fa élőhelyének minősége	Értékszám: 2
A fa élőhelyi adottságai rosszak.	
Környezeti veszélyeztetettség	Értékszám: 1
A fa a környezetére egyértelmű veszélyt jelent.	
Kockázat arányos megtarthatósági mutató:	48,96%

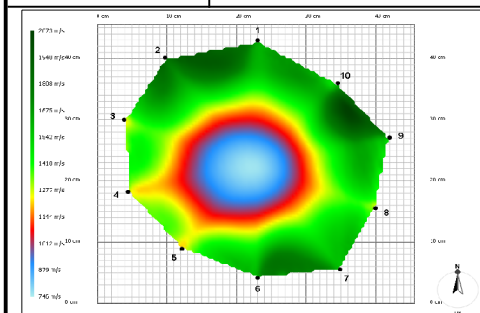
Megjegyzés: 4 m-re a fa tengelyétől villanyoszlop a Berényi utcában. A favédelmi zóna burkolata folyami szórt kavics (5-20 mm). A fa törzsétől 6 m-re 3 szintes épület, 1,5 m-re 2 m magas támfal található.

Felvételező: Vida Bertalan



Műszeres vizsgálat

Réteg magassága:	180 cm
Érzékelők száma:	10
Pozíció séma:	Irreguláris
Átmérő 1:	Átmérő 2:
Törzskerület:	154 cm



A réteg műszeres vizsgálatának értékelése

A vizsgált magasságban a tomogram nagy kiterjedésű, a keresztmetszet 40 %-át lefedő, középpontosan elhelyezkedő belső szerkezeti elváltozást, nagyméretű korhadott üreget jelez.

Kezelési javaslat:

Korona kurtítása, ápoló metszés, seb, odú- és üregkezelés, 3D favizsgálat készítés

Következő favizsgálat javasolt ideje:

1 év

Vizuális és Fakopp 3D műszeres fadiagnosztikai adatlap és kezelési javaslat

Alapadatok

Helység:	Budapest, 1. kerület
Terület:	5187 hrsz., Hegyalja út 16.
Fa kódja	AH3
Fafaj (latin)	<i>Aesculus hippocastanum</i>
Fafaj (magyar)	közönséges vadgesztenye
Fa magasság:	13 m
Törzs magasság:	4 m
Törzs átmérő 1-m-en:	46 cm
Törzs kerület 1 m-en:	152 cm
Korona átmérő:	8 m
Vizsgálat ideje:	2022.08.27

DIAGNÓZIS:

Gyökérzet és gyökérnyak állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
A gyökérzetten és/vagy a gyökérnyakon látható kisebb károsodások (sebek és korhadások), csekély hibákkal rendelkező termőhelyen.	
Gyökér állapotjelzők: A fa statikai biztonsági védőzónáján belül egy 2 m magas súlytámfal található (Hegyalja út), talajtömörödés (parkoló autók)	
Gyökérnyak állapotjelzők: a favédelmi zónán belül szórt burkolattal fedett parkolóhelyek, kisebb sérülések, horpadt gyökérnyak	

Törzs állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	2
A törzs erős károsodása (több nagyfelületű seb, mély bekorhadások).	
Ikersudaras, dudorok, korhadt, odvas ágcsont (2 m magasan), több ágcsont, törzssarjak, repedés a törzsön a gyökérnyak horpadás felett 1 m-rel, repedésből korhadék hullik	

Koronaalap és korona állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
Jelentős a lombveszteség (26-50%).	
Koronaalap állapotjelzők: villás koronaalap (ikersudár), terhelt	
Korona állapotjelzők: Aszimmetrikus korona, száraz ágak 5-10%, durva ág csonkjai a koronában	

A fa egészségi állapota és életképessége

Értékszám:	2
Egy évtizeden belül lecsereplendő.	
A fa általános állapot mutatója:	45,00%

A fa statikai állapota

Kitérés a függőlegestől	
Kitérés iránya: -	Mértéke: -
Súlypont eltolódás	Mértéke: -

A fa kockázatelemzését befolyásoló tényezők:

A fa elhelyezkedése:	Fasor
A fa környezete	Értékszám: 1
A fa környezetében sok (5-nél több) épített elem található.	
A fa élőhelyének minősége	Értékszám: 2
A fa élőhelyi adottságai rosszak.	
Környezeti veszélyeztetettség	Értékszám: 1
A fa a környezetére egyértelmű veszélyt jelent.	
Kockázat arányos megtarthatósági mutató:	48,96%

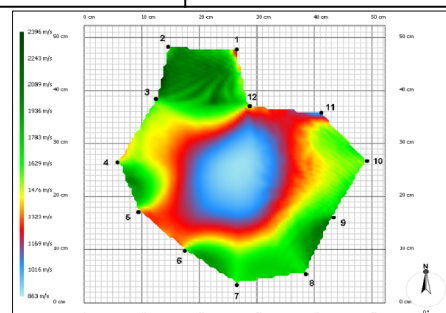
Megjegyzés: A favédelmi zóna burkolata folyami szórt kavics (5-20 mm). A fa törzsétől 6 m-re 3 szintes épület, 2 m-re 2 m magas támfal található.

Felvételező: Vida Bertalan



Műszeres vizsgálat

Réteg magassága:	20 cm
Érzékelők száma:	12
Pozíció séma:	Irreguláris
Átmérő 1:	Átmérő 2:
Törzskerület:	168 cm



A réteg műszeres vizsgálatának értékelése

A vizsgált magasságban a tomogram nagy kiterjedésű, a keresztmetszet 50 %-át meghaladó nagyságú, középpontosan elhelyezkedő belső szerkezeti elváltozást, nagyméretű korhadat üreget jelez.

Kezelési javaslat:

Korona kurtítása, ápoló metszés, sarjak eltávolítása, seb, odú- és üregkezelés, 3D favizsgálat készítése

Következő favizsgálat javasolt ideje:

1 év

Vizuális és Fakopp 3D műszeres fadiagnosztikai adatlap és kezelési javaslat

Alapadatok

Helység:	Budapest, 1. kerület
Terület:	5187 hrsz., Hegyalja út 16.
Fa kódja	AH4
Fafaj (latin)	<i>Aesculus hippocastanum</i>
Fafaj (magyar)	közönséges vadgesztenye
Fa magasság:	12 m
Törzs magasság:	3,5 m
Törzs átmérő 1-m-en:	52 cm
Törzs kerület 1 m-en:	171 cm
Korona átmérő:	7 m
Vizsgálat ideje:	2022.08.26

DIAGNÓZIS:

Gyökérzet és gyökérnyak állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
A gyökérzetten és/vagy a gyökérnyakon látható kisebb károsodások (sebek és korhadások), csekély hibákkal rendelkező termőhelyen.	
Gyökér állapotjelzők: A fa statikai biztonsági védőzónáján belül egy 2 m magas súlytámfal található (Hegyalja út), talajtömörödés (parkoló autók)	
Gyökérnyak állapotjelzők: a favédelmi zónán belül szórt burkolattal fedett parkolóhelyek, kisebb sérülések, gyökérnyakból induló törzscsavarodás	

Törzs állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	2
A törzs erős károsodása (több nagyfelületű seb, mély bekorhadások).	
Sok begyógyult seb, csavarodott törzs, levágott, bekorhadt sudár a koronaalapon, törzssarjak, korhadt odvak, bekorhadt ágcsontok (d=15 cm), 160 cm-nél mély odú (min. 1m hosszú beső üreg kijárata)	

Koronaalap és korona állapota

Radó EU-s favizsgálati értékszám:	3
Jelentős a lombvesztés (26-50%).	
Koronaalap állapotjelzők: A déli sudár visszamaradt ágcsontja bekorhadt (d=30 cm), valószínűleg a belső csőüreg felső kijárata	
Korona állapotjelzők: elveszett ikersudár, száraz ágak aránya 5% alatt	

A fa egészségi állapota és életképessége

Értékszám:	2
Egy évtizeden belül lecsereplendő.	
A fa általános állapot mutatója:	45,00%

A fa statikai állapota

Kitérés a függőlegestől		
Kitérés iránya: -	Mértéke:	-
Súlypont eltolódás	Mértéke:	-

A fa kockázatelemzését befolyásoló tényezők:

A fa elhelyezkedése:	Fasor	
A fa környezete	Értékszám:	1
A fa környezetében sok (5-nél több) épített elem található.		
A fa élőhelyének minősége	Értékszám:	2
A fa élőhelyi adottságai rosszak.		
Környezeti veszélyeztetettség	Értékszám:	1
A fa a környezetére egyértelmű veszélyt jelent.		
Kockázat arányos megtarthatósági mutató:	48,96%	

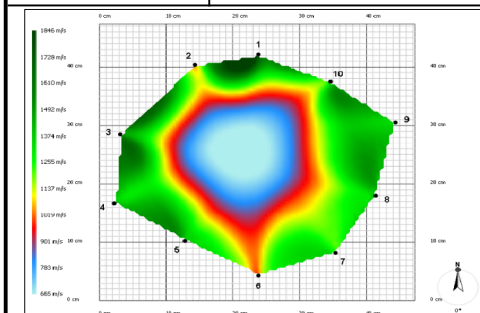
Megjegyzés: A favédelmi zóna burkolata folyami szórt kavics (5-20 mm). A fa törzstől 4 m-re 3 szintes épület, 2 m-re 2 m magas támfal található. A levágott ikersudár szintjében, a koronaalagnál egy vezeték van hozzáerősítve a fához.

Felvételező: Vida Bertalan



Műszeres vizsgálat

Réteg magassága:	180 cm
Érzékelők száma:	10
Pozíció séma:	Irregularis
Átmérő 1:	Átmérő 2:
Törzskerület:	160 cm



A réteg műszeres vizsgálatának értékelése

A vizsgált magasságban a tomogram nagy kiterjedésű, a keresztmetszet 50 %-át meghaladó nagyságú, középpontosan elhelyezkedő belső szerkezeti elváltozást, nagyméretű korhadat üreget jelez.

Kezelési javaslat:

Korona kurtítása, ápoló metszés, sarjak eltávolítása, seb, odú- és üregkezelés, nedves odú kezelése, pangó víz kivezetése, 3D favizsgálat készítése

Következő favizsgálat javasolt ideje: 1 év

3. melléklet: Fotódokumentáció a vizsgált fákról és a rendellenességeikről (fotók: Vida Bertalan, 2022. augusztus és szeptember, Budapest 1. és 3. kerülete)

3.1. melléklet: PC1 – *Populus × canadensis* – kanadai nyár



Habituskép, nyugat



Habituskép, dél



Habituskép, kelet



Habituskép, észak



Felszínre került gyökérszet, kisebb sérülésekkel



Kéregleválás és korhadás a gyökérsnyak északi oldalán



Kéregleválás és korhadás nyomai a törzsön (kelet és észak)



Törzsbe nőtt vezeték



A 2019-ben visszacsönkolt korona szerkezete



Kéregleválás egy korhadásnak induló ágcsomkon

3.2. melléklet: AH1 – *Aesculus hippocastanum* – közösséges vadgesztenye



Habituskép, dél



Habituskép, kelet



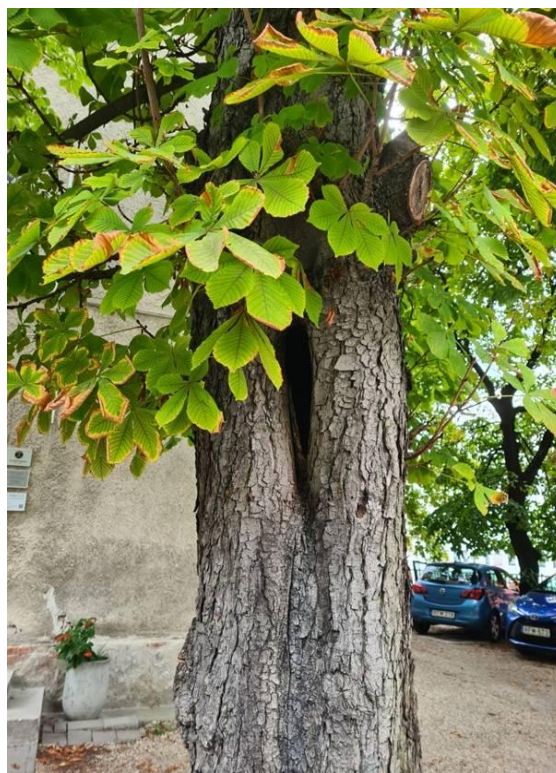
Szegély és támfal a gyökérnyak közvetlen közelében



Injektálás helye



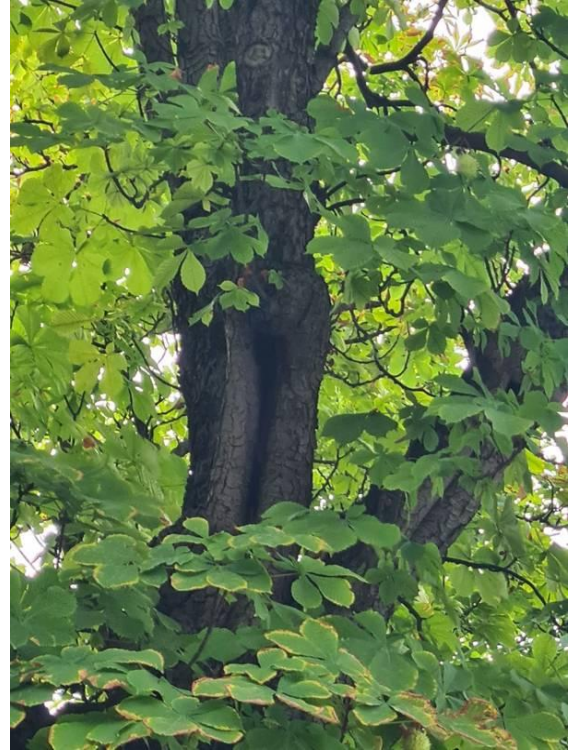
Parkoló helyek a favédelmi zónán belül



40 cm hosszú korhadt, hosszanti odú



Levágott durva ágak a koronaalapon

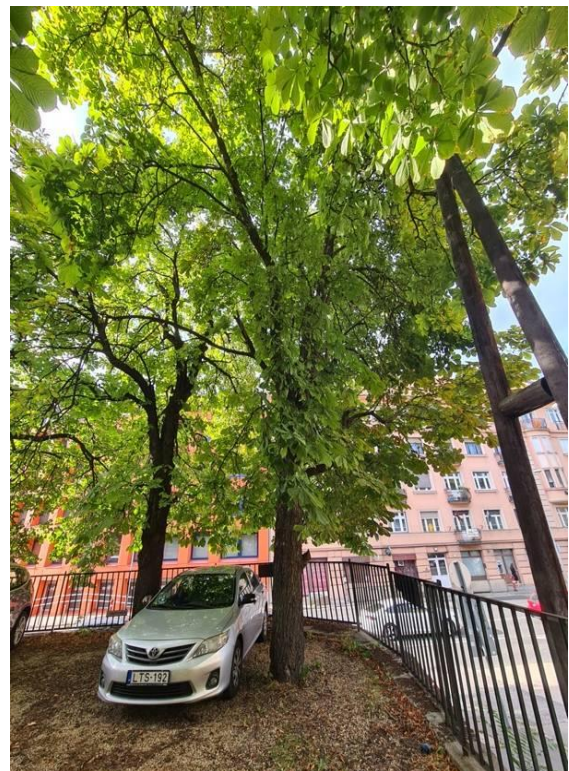


Hosszanti odú a vadgesztenye koronájában

3.3. melléklet: AH2 – *Aesculus hippocastanum* – közönséges vadgesztenye



Habituskép, kelet



Habituskép, dél



Habituskép, nyugat



Talajtömörödést okozó parkoló autó a fa statikai biztonsági védőzónáján belül



Lehasított ág és korhadó ágcsomok a törzsön, 130 cm magasságban



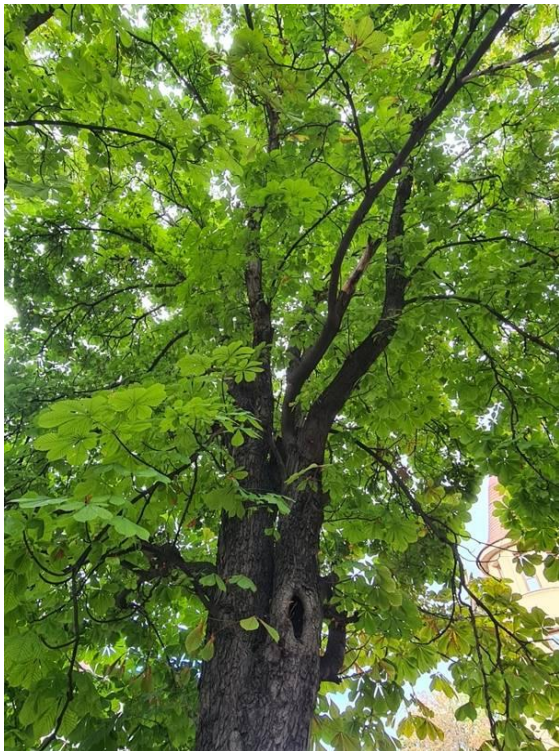
Korhadó ágmaradványok (infekciós kapuk a törzs belsejébe)



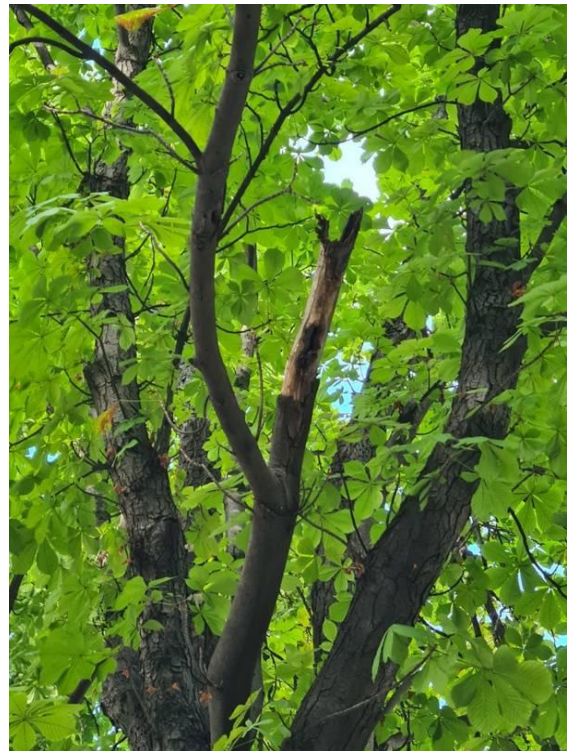
Korhadó ágmaradvány



Korhadó ágcsonk



Odú a koronában, a déli sudárban



Méteres, száraz ágcsonk a korona közepében

3.4. melléklet: AH3 – *Aesculus hippocastanum* – közönséges vadgesztenye



Habituskép, észak



Habituskép, dél



Habituskép, nyugat



Horpadás a gyökérszékénél



Repedés-szerű, mély odú, a törzs nyugati oldalán, a horpadás felett



Odúból hulló korhadék



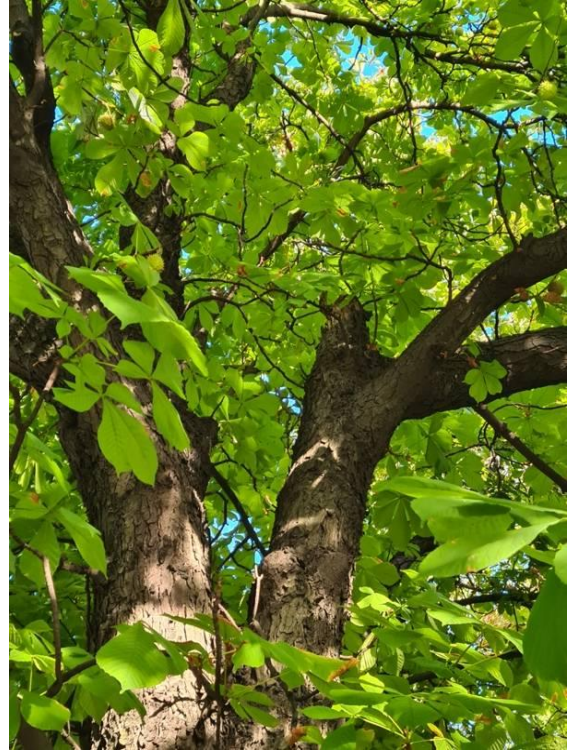
Korhadó ágcsonk, 2 m magasságban



A korhadó ágcsonk közelről



Aszimmetrikus korona



Villás koronaalap, felette ágcsont a déli sudárban

3.5. melléklet: AH4 – *Aesculus hippocastanum* – közönséges vadgesztenye



Habituskép, észak



Habituskép, nyugat



Csavarodott törzs



Odú és korhadó ágcsomk a törzs északi oldalán



Be nem gyógyult, korhadó ágcsomk



Odú, 160 cm magasan. Minimum 1 m hosszú belső üreg kijárata.



Levágott déli sudár üreges csonkja



Aszimmetrikus korona

4. melléklet: Biztonsági tényező és korhadt terület (korhadás) arányának meghatározása és elemzése az elvégzett 60 db akusztikus tomográfos mérés alapján (forrás: saját készítésű táblázat)

Biztonsági tényező és korhadt terület aránya a vizsgált fákon különböző magasságú rétegeken végzett mérések során					Eltérés a 12 db Piezo érzékelő + 12 db Ludwig-szöges méréshez viszonyítva %-ban							
AH1 - <i>Aesculus hippocastanum</i>					Korhadat terület aránya (Korhadás %)				Biztonsági tényező (SF %)			
	12 é.+12 Ludwig	12 é.	10 é.+10 Ludwig	10 é.	12 é.+12 Ludwig	12 é.	10 é.+10 Ludwig	10 é.	12 é.+12 Ludwig	12 é.	10 é.+10 Ludwig	10 é.
160cm												
Korhadás %	46	51	46	52	0,0	5,0	0,0	6,0				
SF %	207	193	210	170					0,0	-14,0	3,0	-37,0
100 cm												
Korhadás %	28	30	30	29	0,0	2,0	2,0	1,0				
SF %	244	225	240	217					0,0	-19,0	-4,0	-27,0
20 cm												
Korhadás %	4	1	1	0	0,0	-3,0	-3,0	-4,0				
SF %	322	301	360	315					0,0	-21,0	38,0	-7,0
AH2 - <i>Aesculus hippocastanum</i>												
180cm												
Korhadás %	44	43	29	34								
SF %	100	90	149	131								
100 cm												
Korhadás %	28	39	45	39								
SF %	113	88	86	87								
20 cm												
Korhadás %	5	5	4	3	0,0	0,0	-1,0	-2,0				
SF %	181	175	183	174					0,0	-6,0	2,0	-7,0
AH3 - <i>Aesculus hippocastanum</i>												
180cm												
Korhadás %	37	38	39	40	0,0	1,0	2,0	3,0				
SF %	167	152	170	162					0,0	-15,0	3,0	-5,0
100 cm												
Korhadás %	25	25	29	32	0,0	0,0	4,0	7,0				
SF %	174	180	156	130					0,0	6,0	-18,0	-44,0
20 cm												
Korhadás %	46	52	36	38	0,0	6,0	-10,0	-8,0				
SF %	135	112	172	142					0,0	-23,0	37,0	7,0
AH4 - <i>Aesculus hippocastanum</i>												
180cm												
Korhadás %	37	42	39	45	0,0	5,0	2,0	8,0				
SF %	192	181	185	171					0,0	-11,0	-7,0	-21,0
100 cm												
Korhadás %	27	28	28	31	0,0	1,0	1,0	4,0				
SF %	267	247	263	238					0,0	-20,0	-4,0	-29,0
20 cm												
Korhadás %	3	1	4	1	0,0	-2,0	1,0	-2,0				
SF %	256	238	261	240					0,0	-18,0	5,0	-16,0
PC1 - <i>Populus x canadensis</i>												
180cm												
Korhadás %	6	8	10	0	0,0	2,0	4,0	-6,0				
SF %	1100	927	1047	999					0,0	-173,0	-53,0	-101,0
100 cm												
Korhadás %	10	5	0	0	0,0	-5,0	-10,0	-10,0				
SF %	1035	1088	1123	1030					0,0	53,0	88,0	-5,0
20 cm												
Korhadás %	17	19	19	12	0,0	2,0	2,0	-5,0				
SF %	825	795	933	882					0,0	-30,0	108,0	57,0
Eltérések átlaga					0,0	1,1	-0,5	-0,6	0,0	-22,4	15,2	-18,1
Eltérések szórása					0,0	3,2	4,6	5,9	0,0	49,8	43,3	35,3

Magyarázat:

12 é.+12 Ludwig: 12 db Piezo érzékelővel és 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés

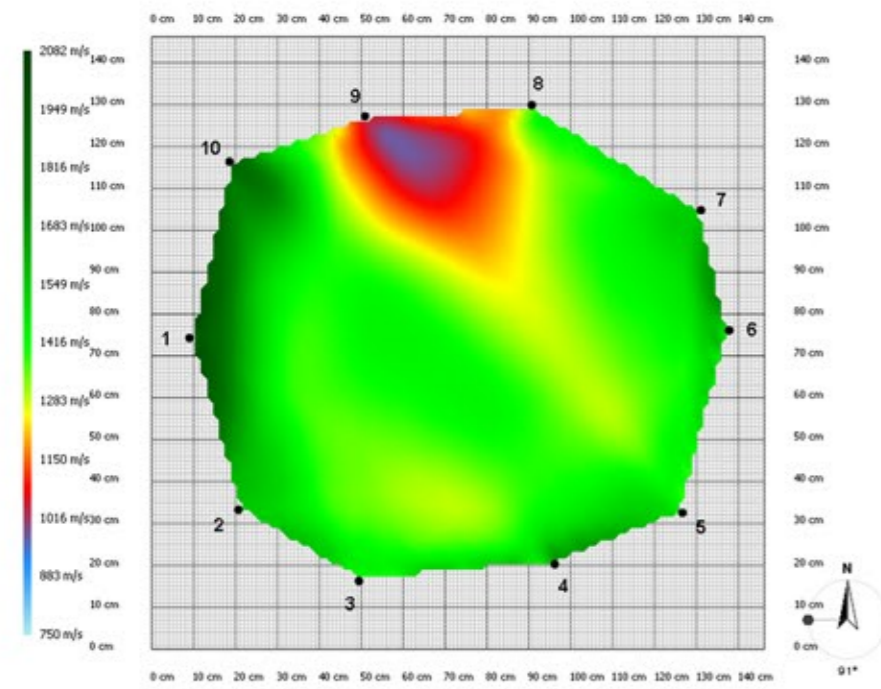
12 é.: 12 db Piezo érzékelővel végzett mérés

10 é.+10 Ludwig: 10 db Piezo érzékelővel és 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés

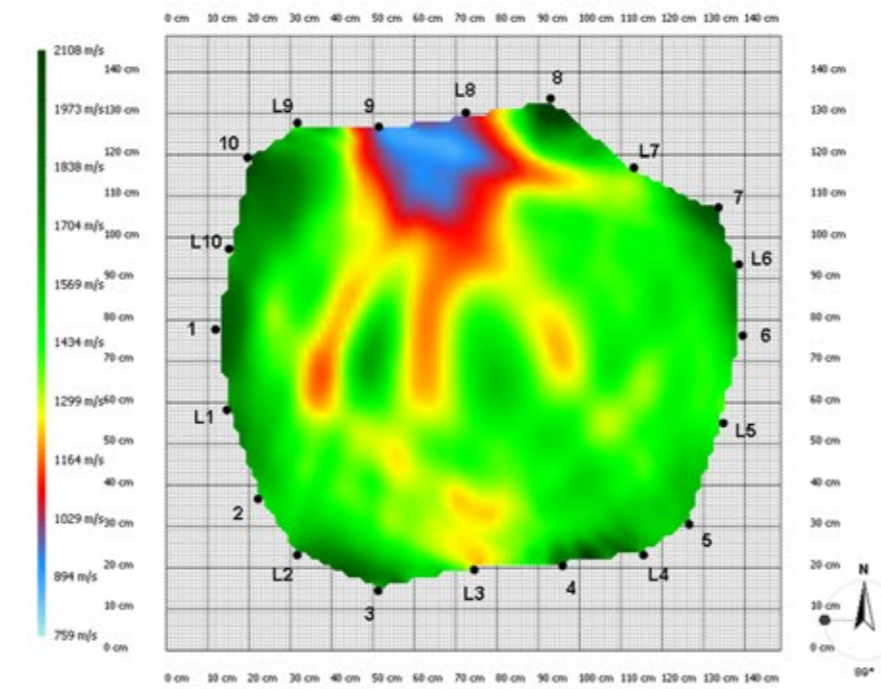
10 é.: 10 db Piezo érzékelővel végzett mérés

5. melléklet: Fakopp 3D Akusztikus Tomográf ArborSonic 3D szoftverével készített tomogram képek az 5 vizsgált fáról (forrás: saját készítésű ábrák)

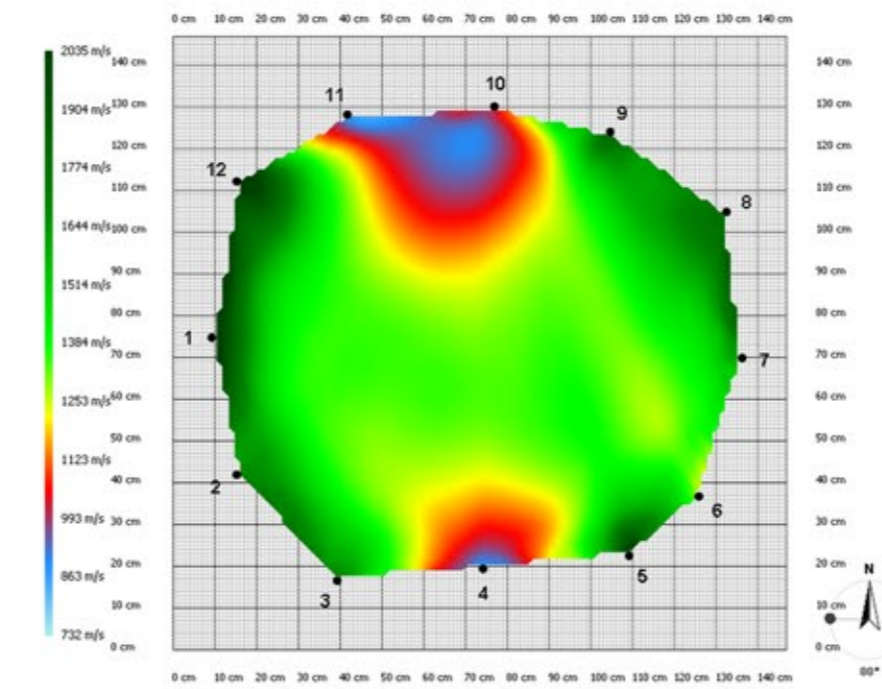
5.1. melléklet: A vizsgált PC1 kódú *Populus x canadensis* 12 db méréséhez tartozó tomogram képek



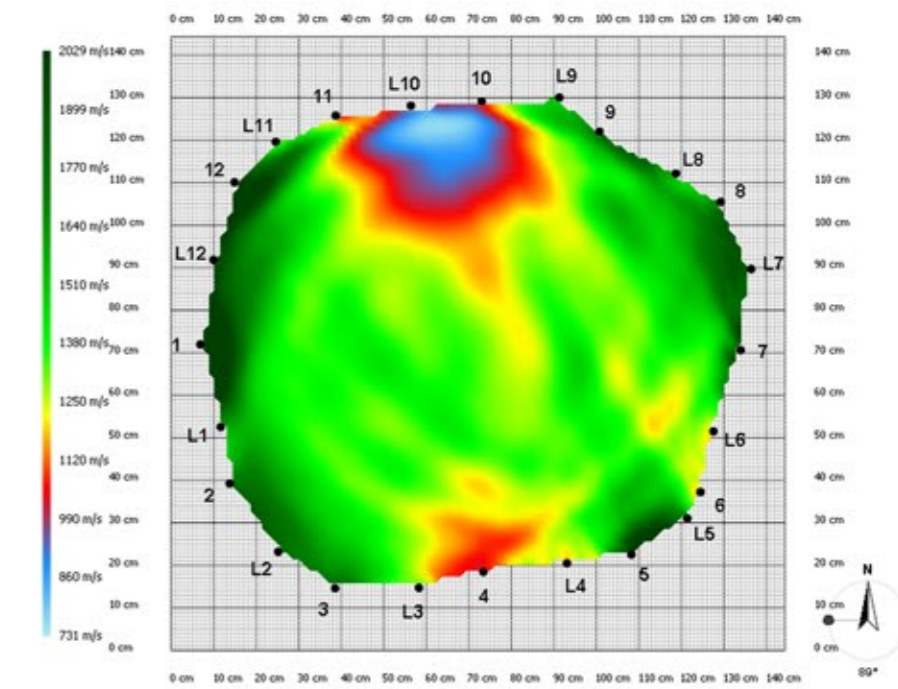
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



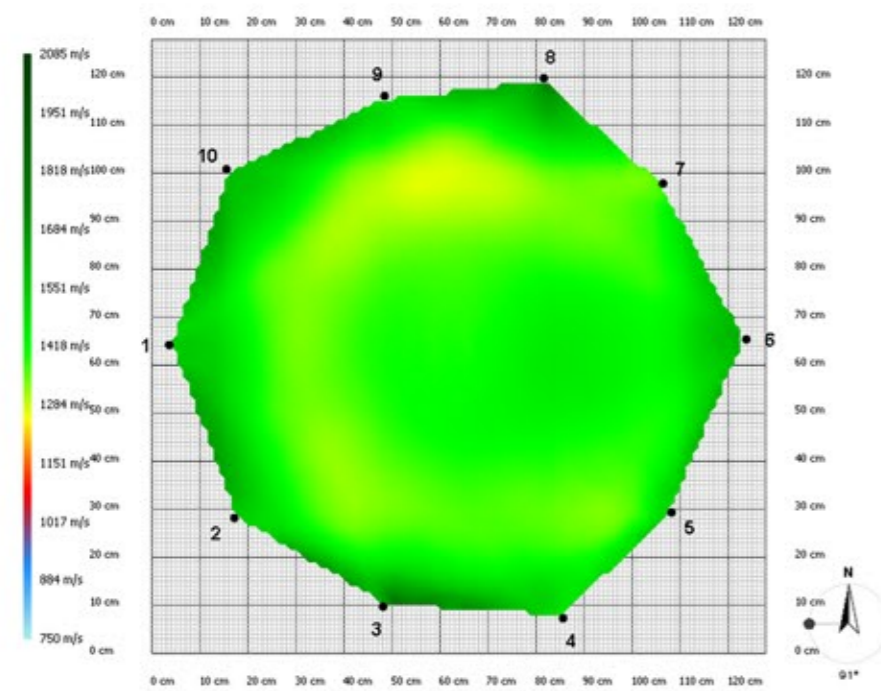
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



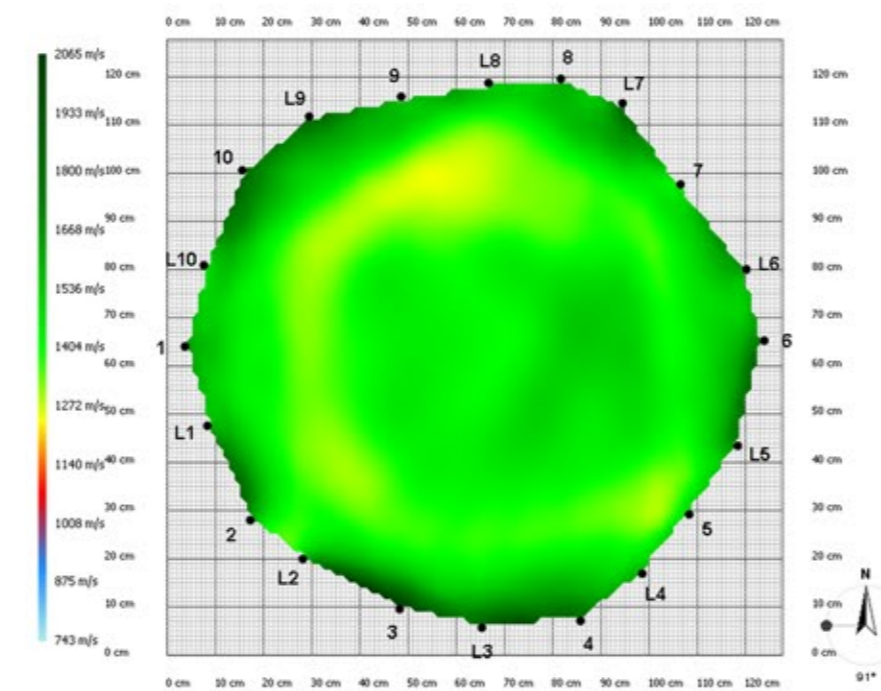
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



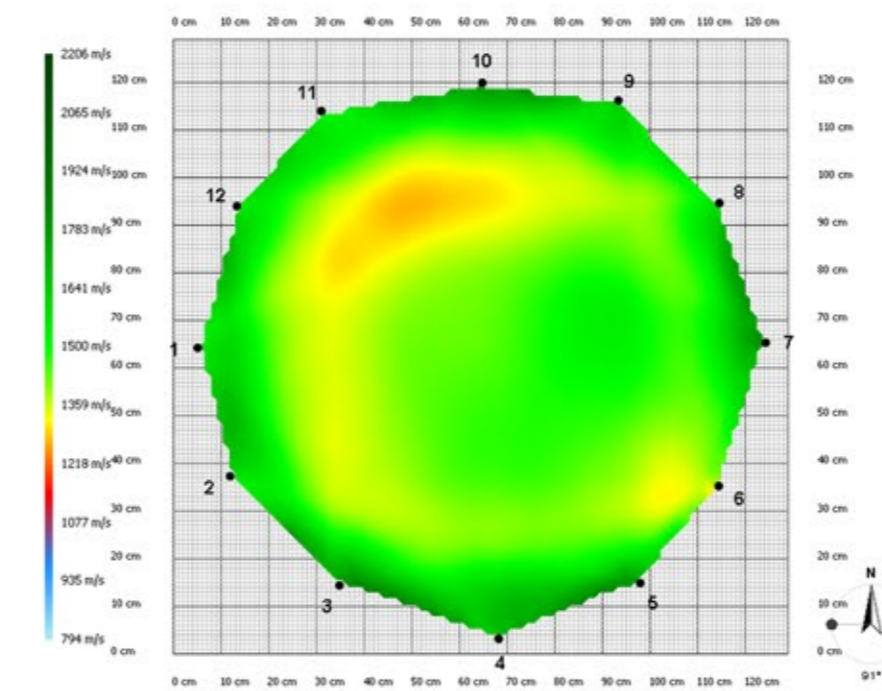
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



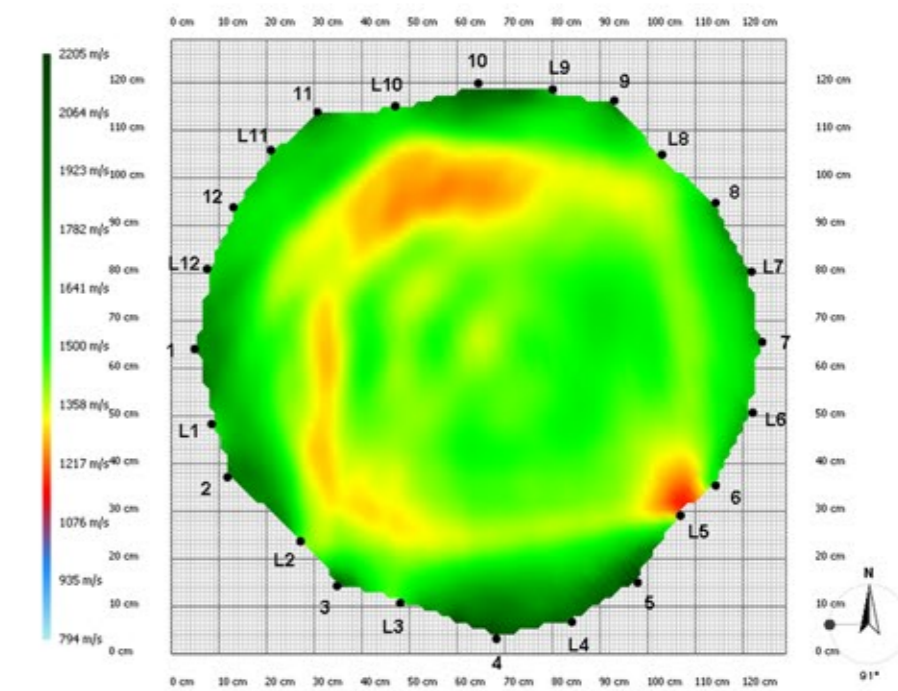
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



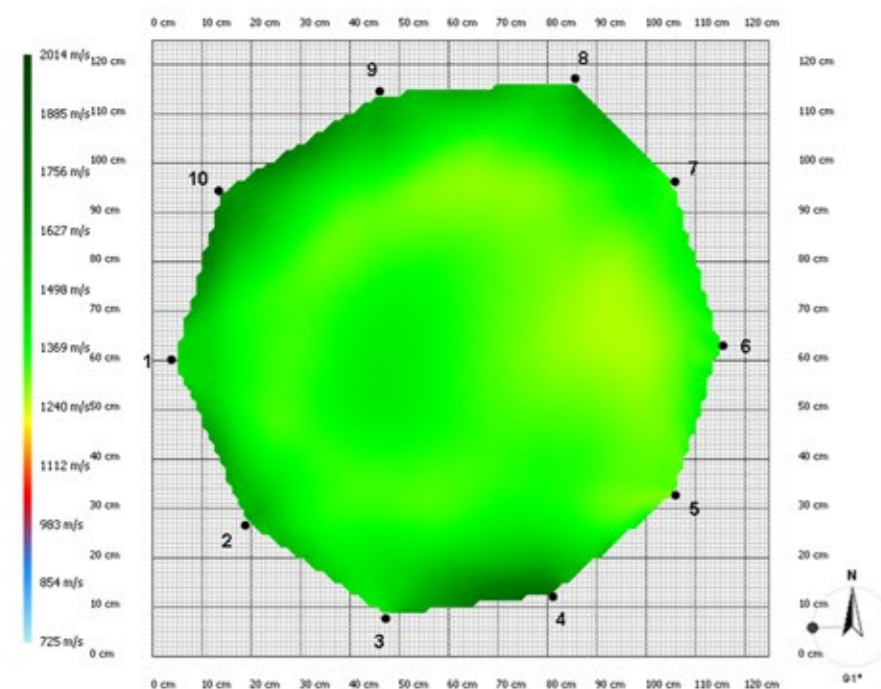
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



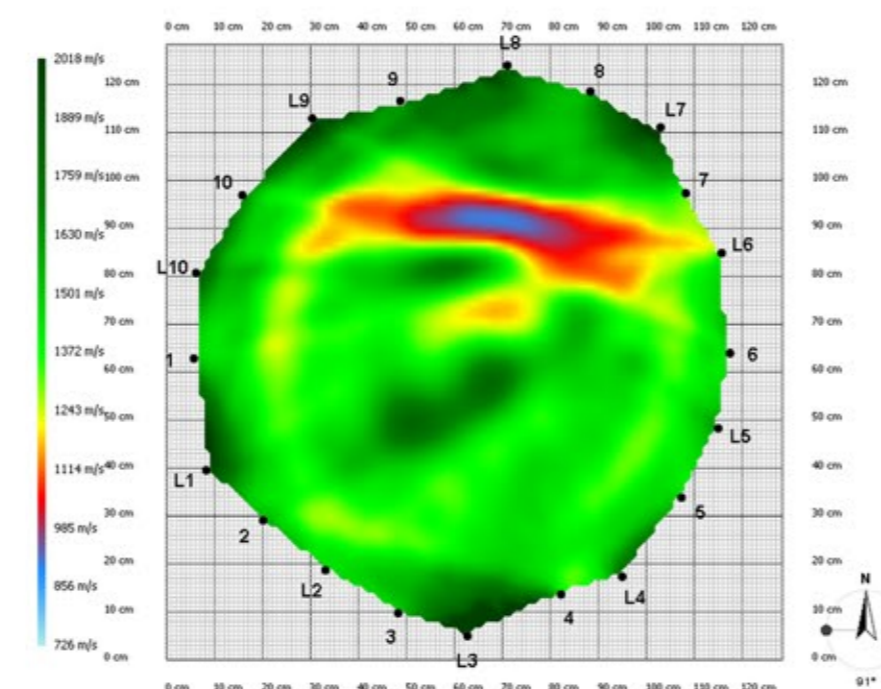
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



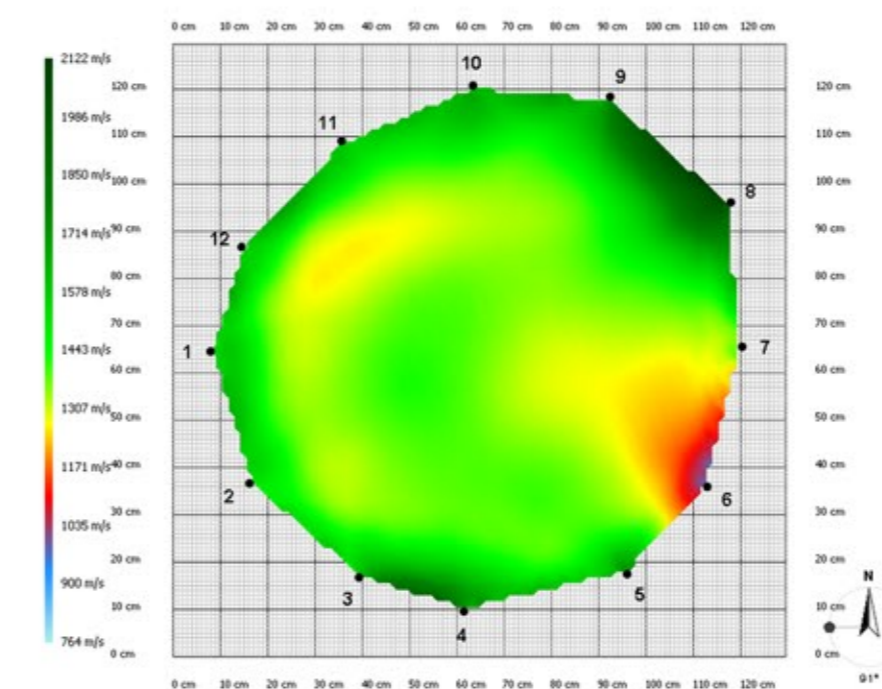
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



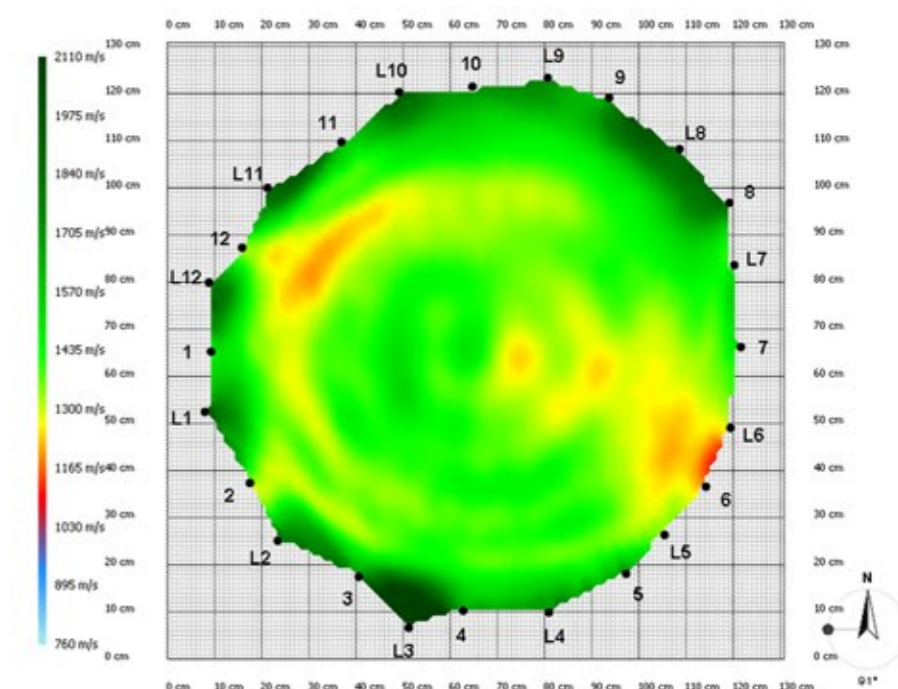
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon



10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

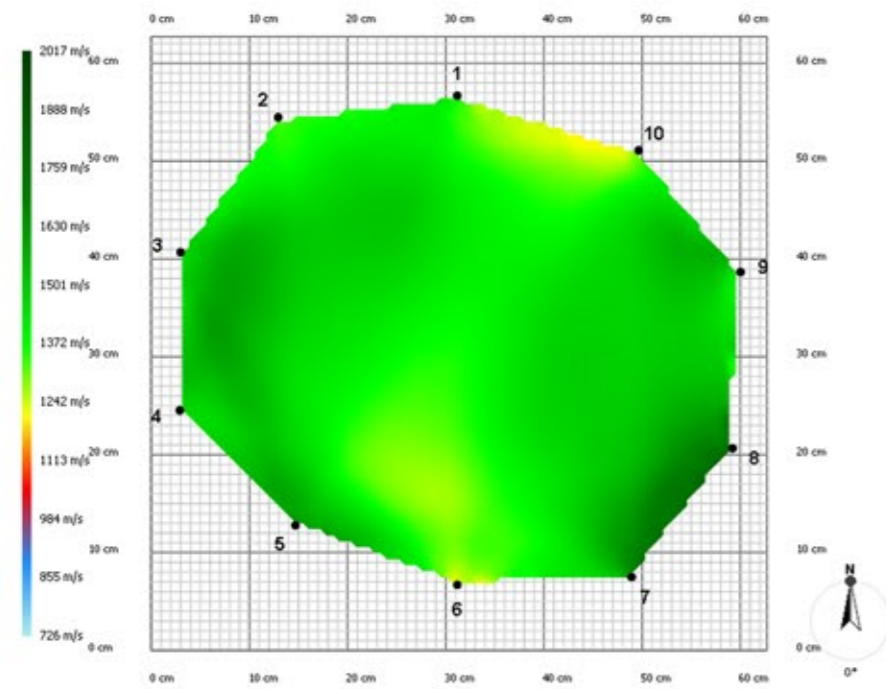


12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

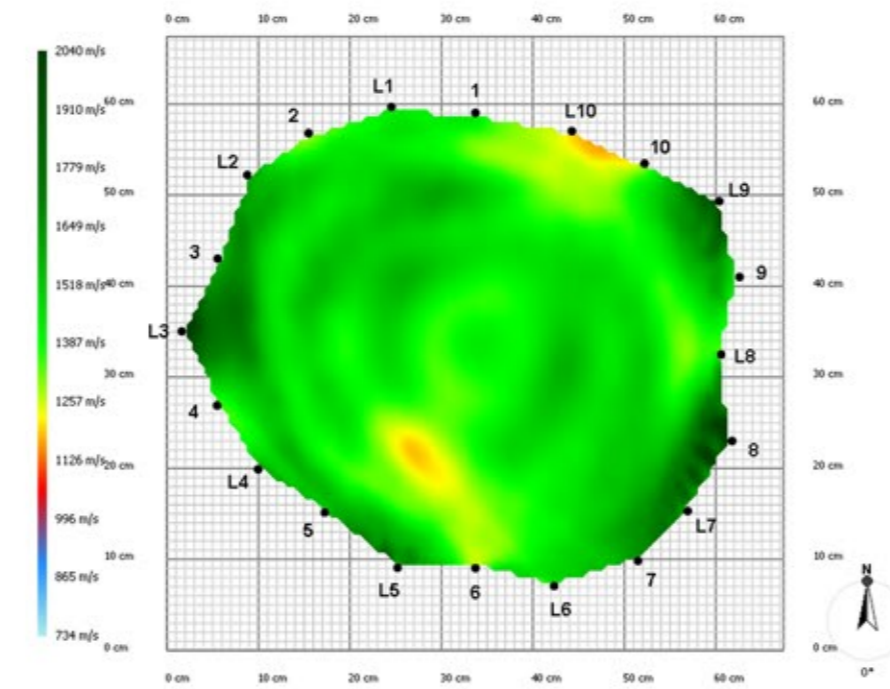


12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

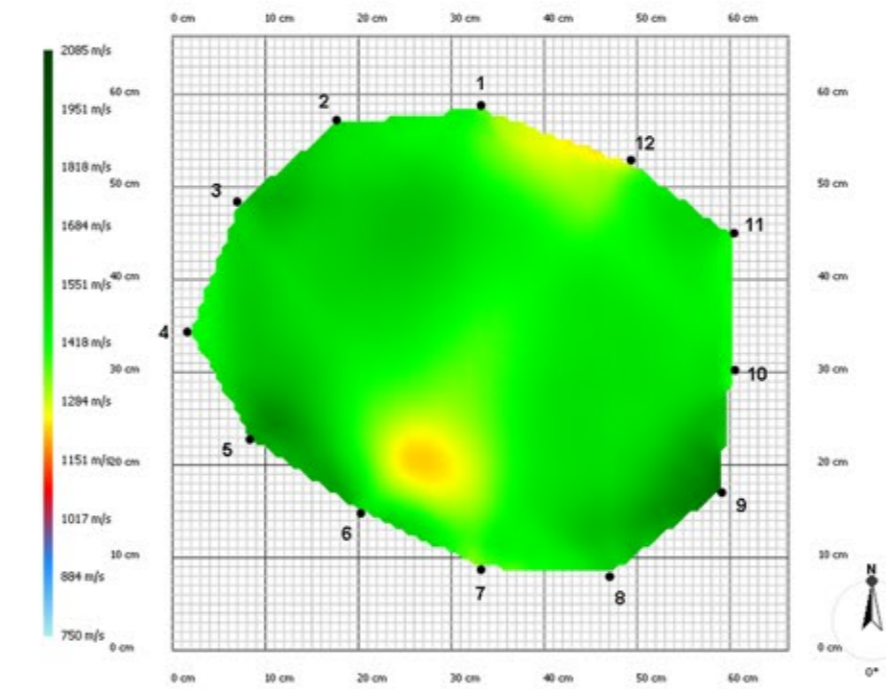
5.3. melléklet: A vizsgált AH1 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db méréséhez tartozó tomogram képek



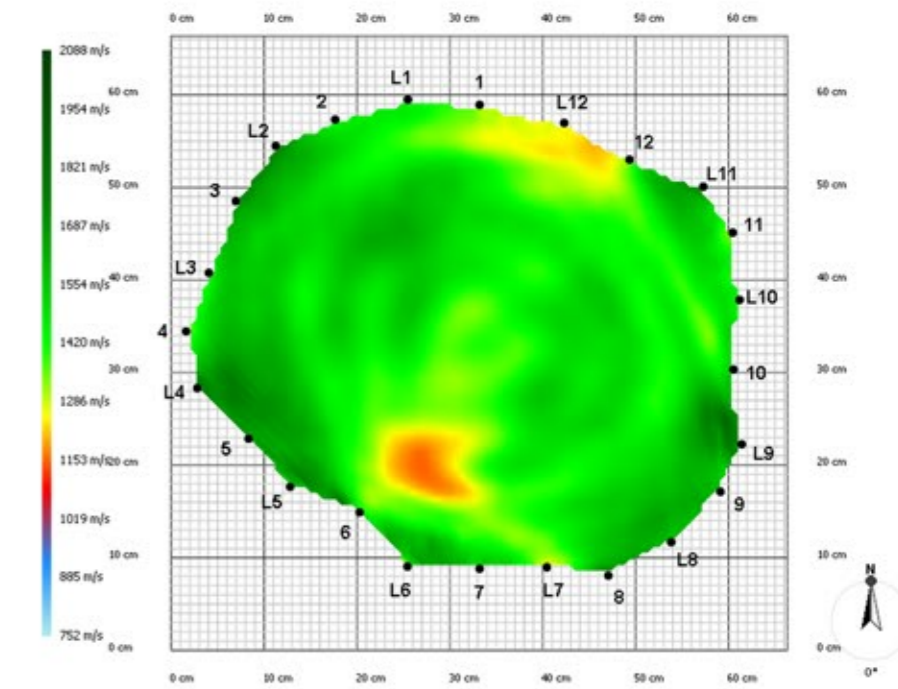
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



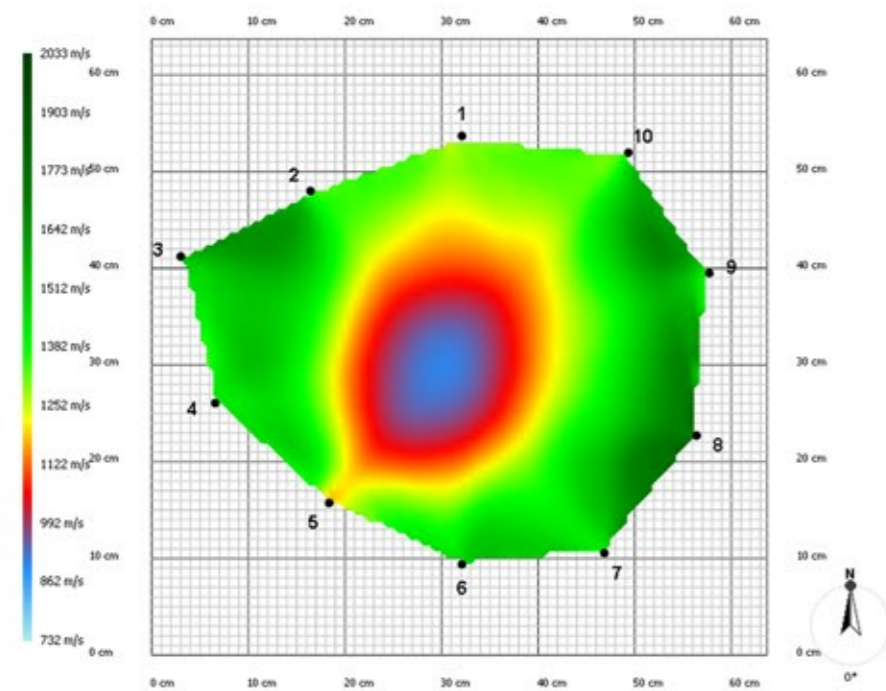
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



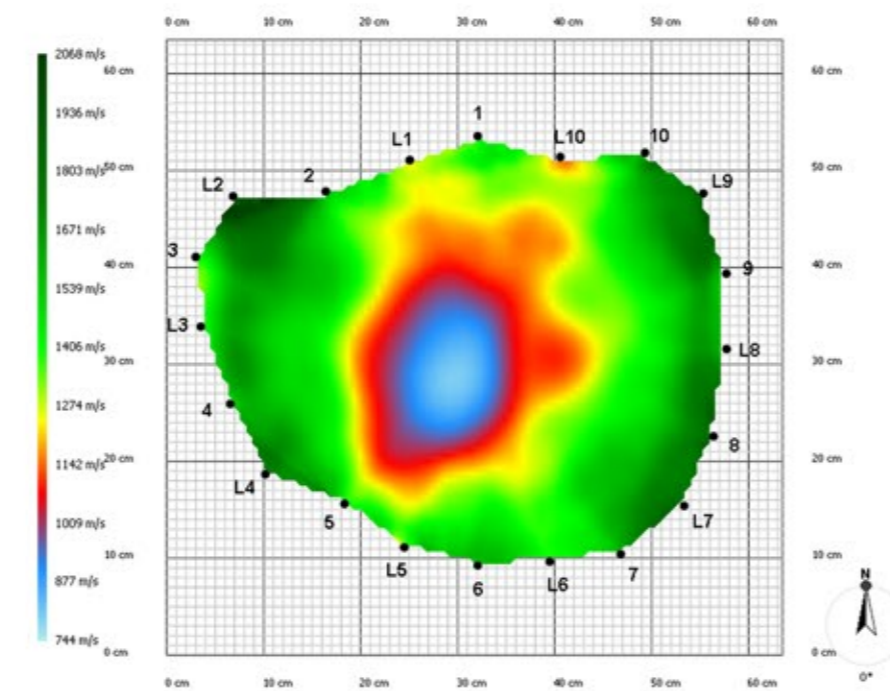
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



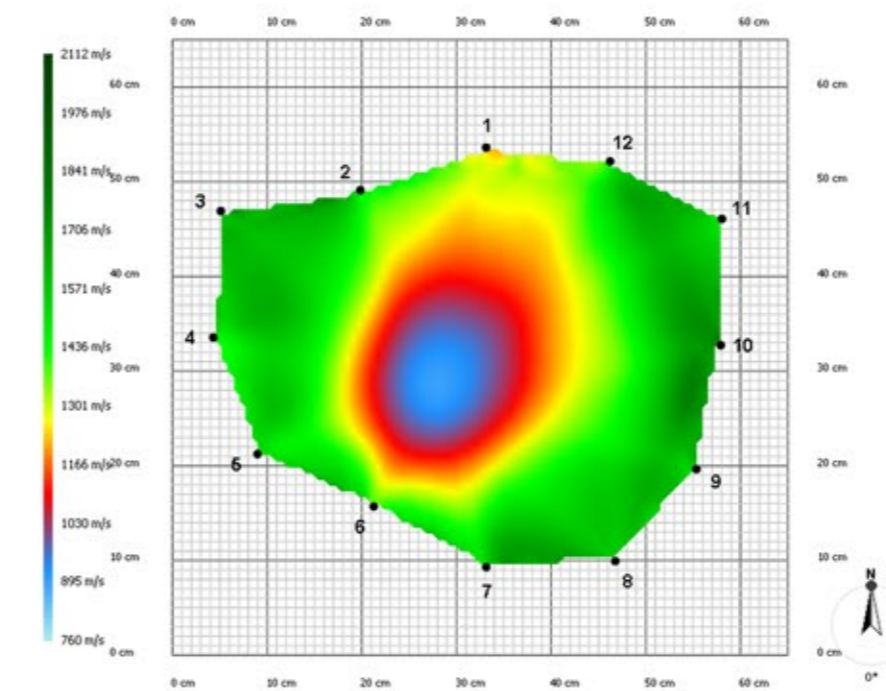
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



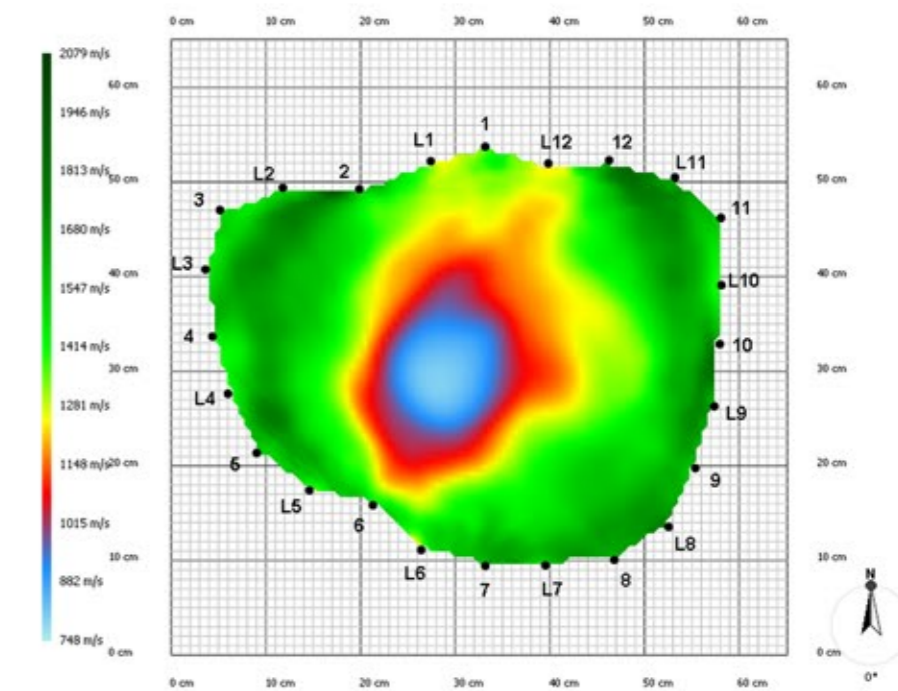
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



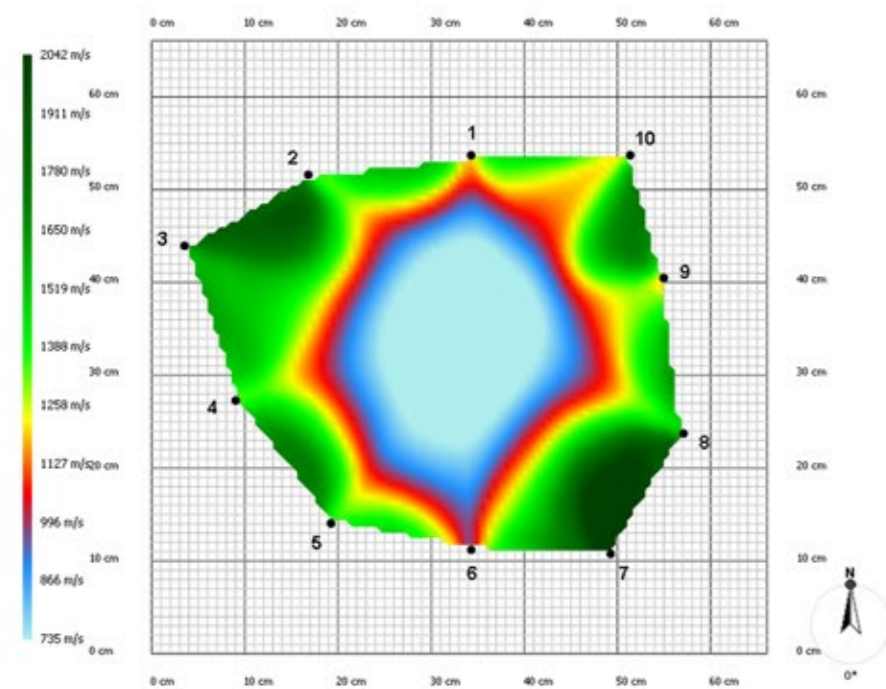
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



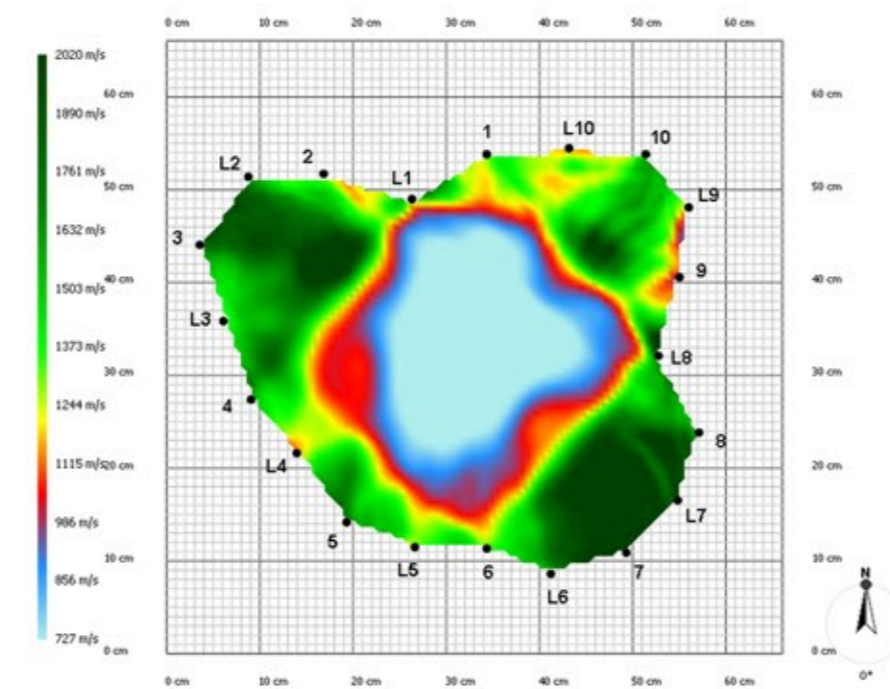
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



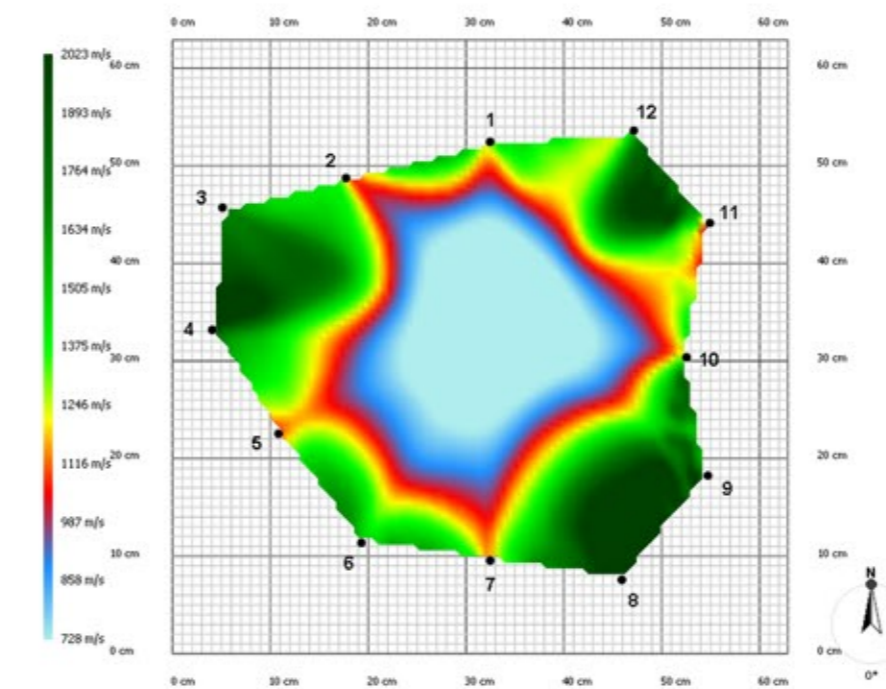
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



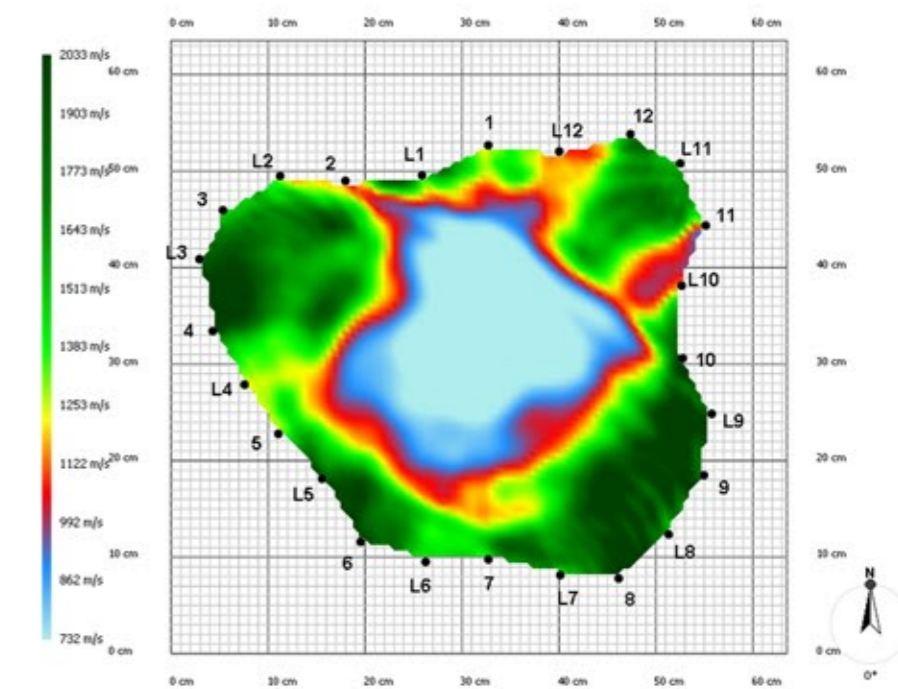
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
160 cm-es rétegmagasságon



10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
160 cm-es rétegmagasságon

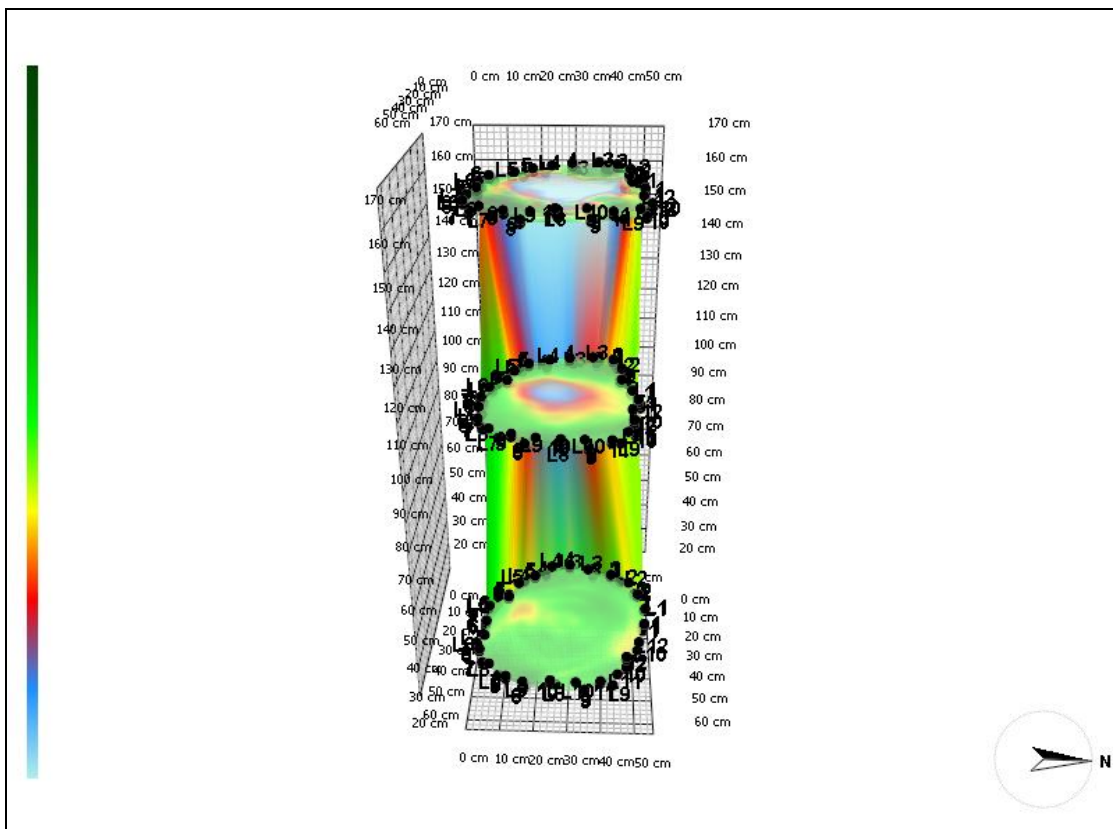
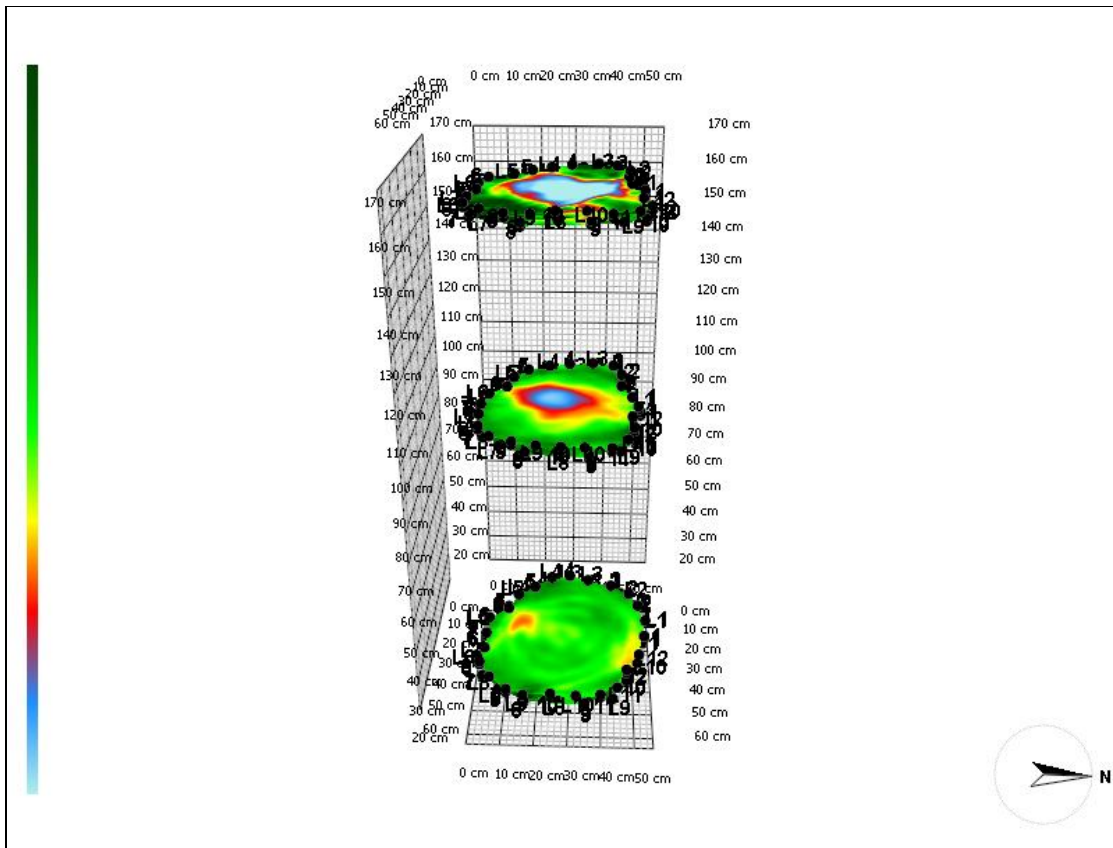


12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
160 cm-es rétegmagasságon

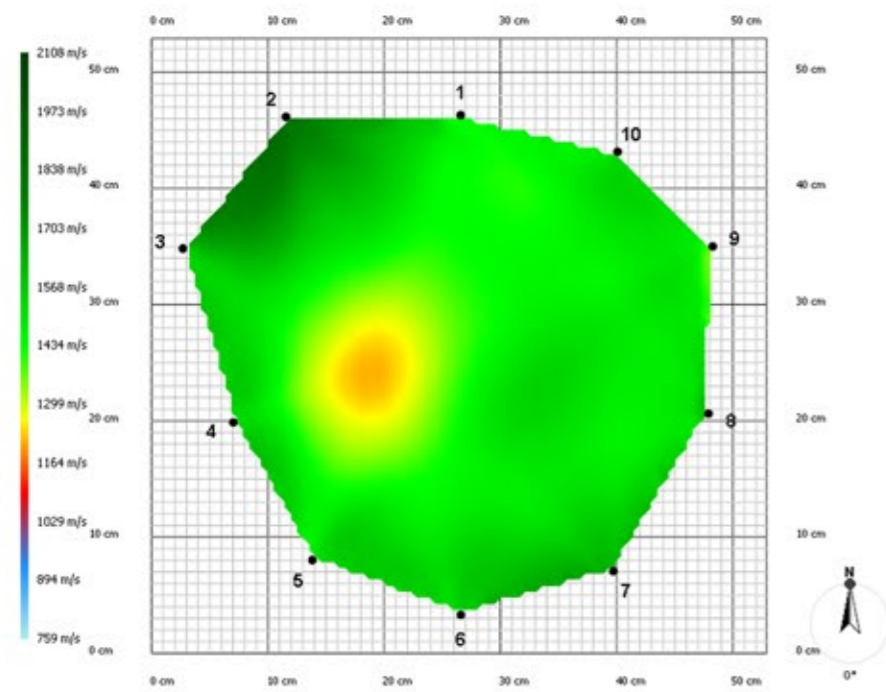


12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
160 cm-es rétegmagasságon

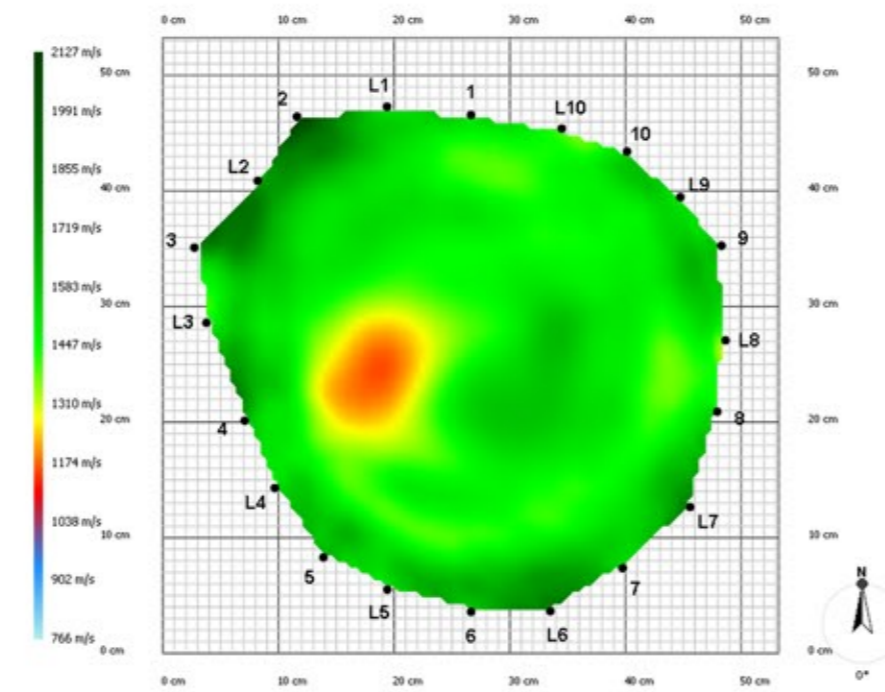
5.4. melléklet: A vizsgált AH1 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db mérésének tomogram képeiből összeállított többrétegű nézetek



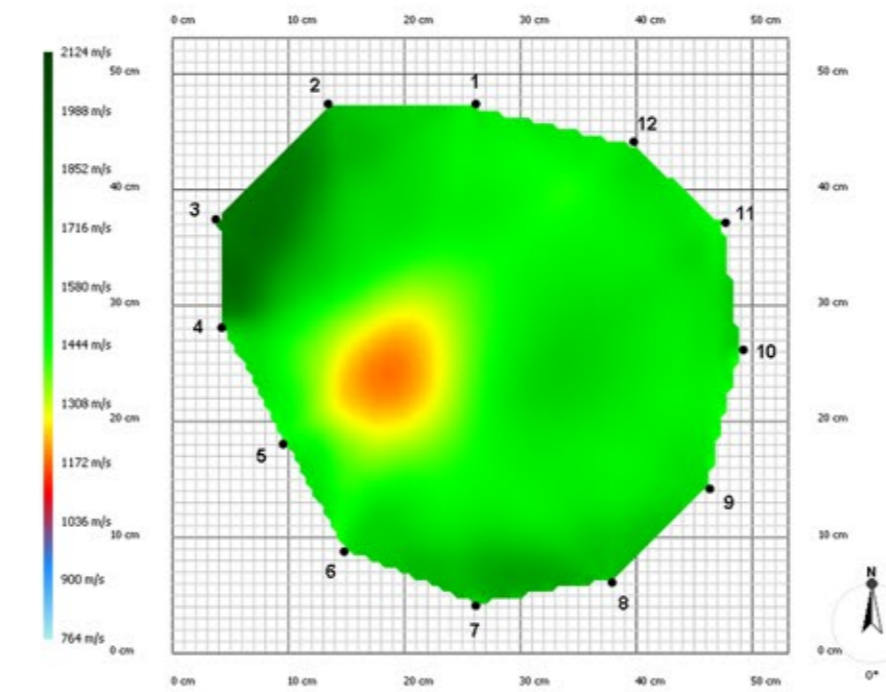
5.5. melléklet: A vizsgált AH2 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db méréséhez tartozó tomogram képek



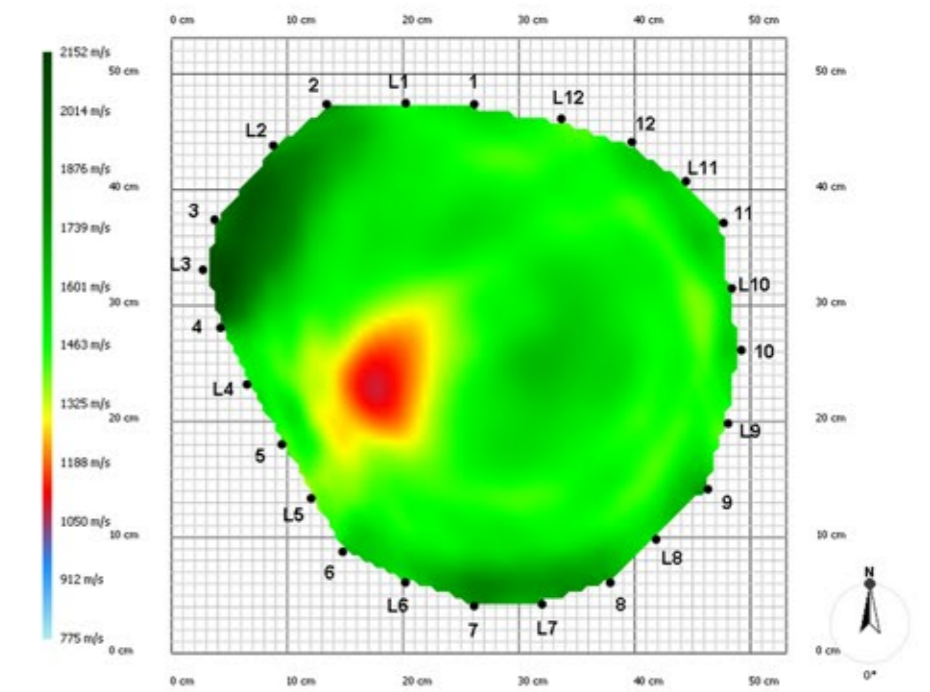
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



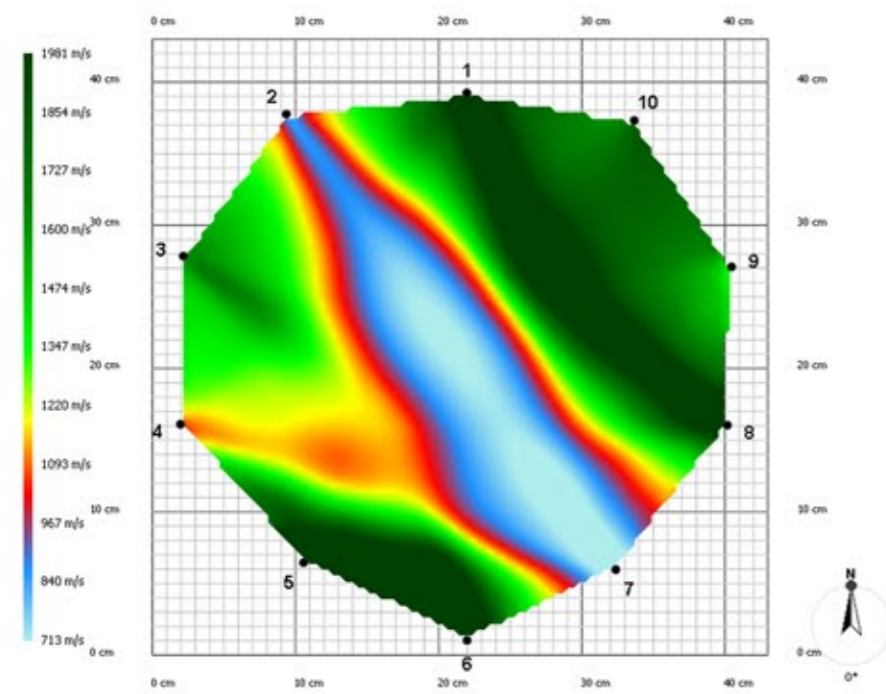
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



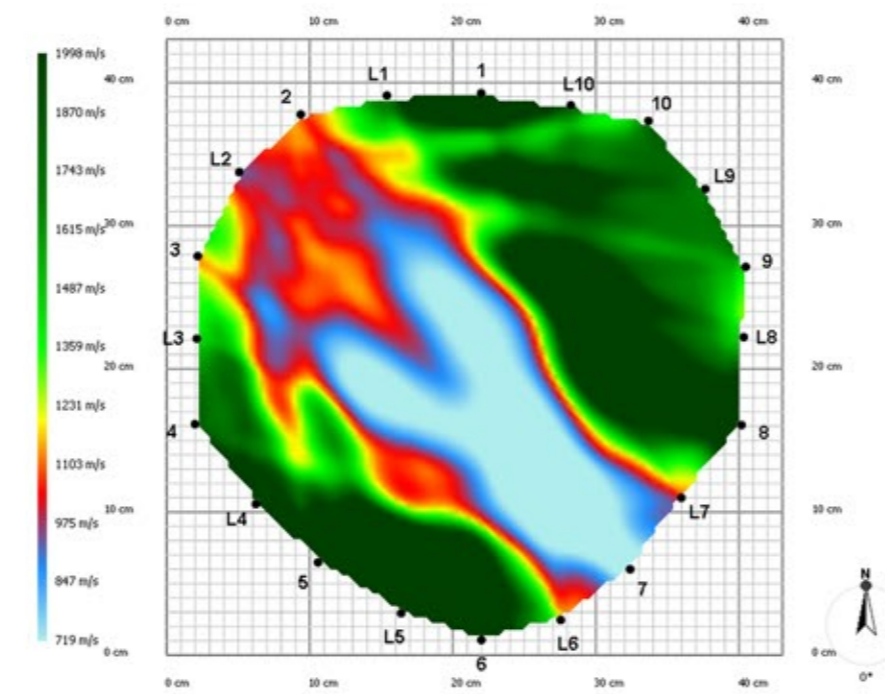
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



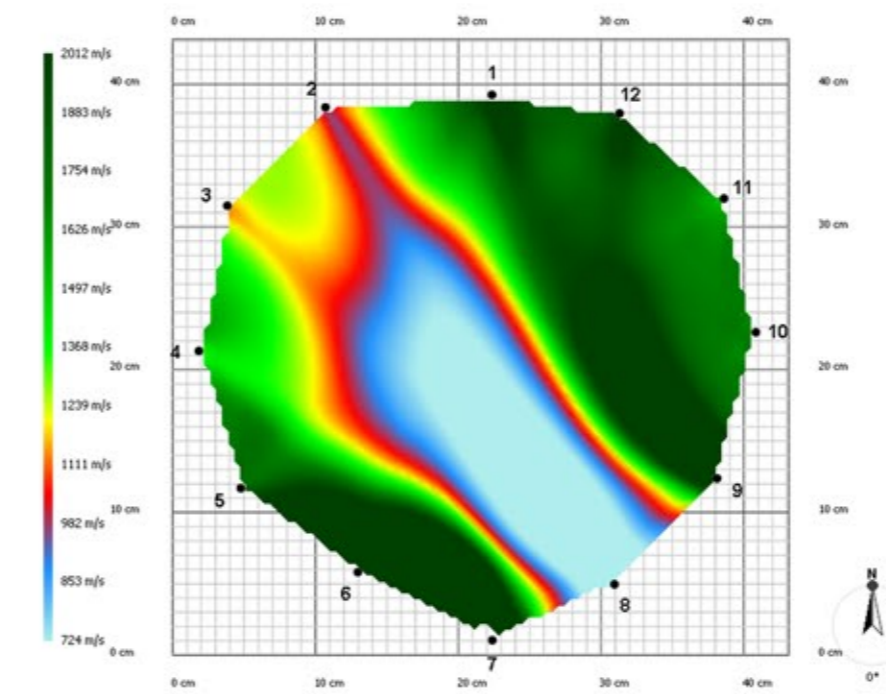
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



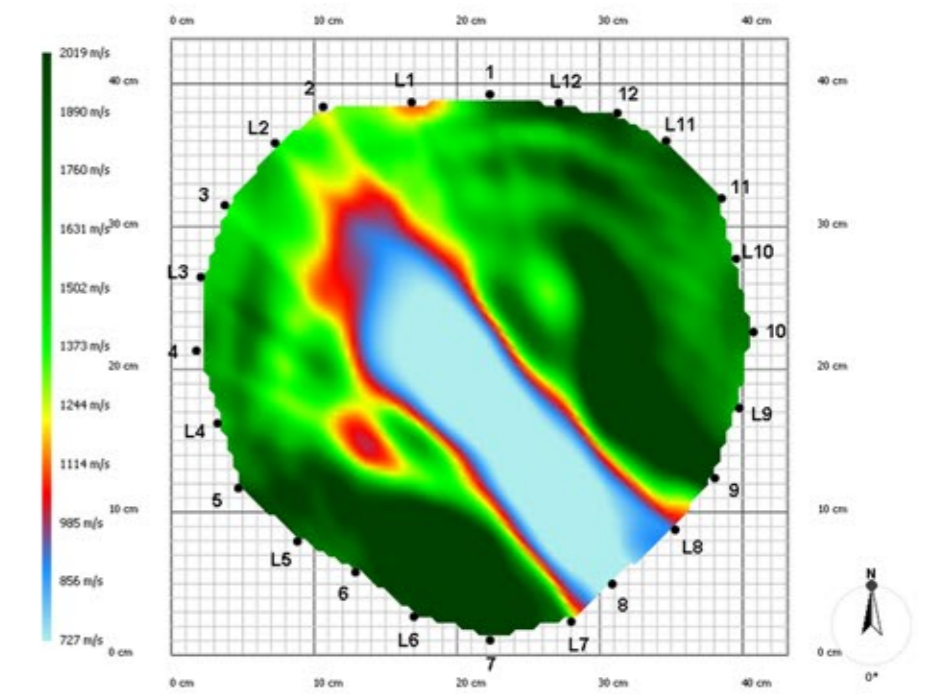
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



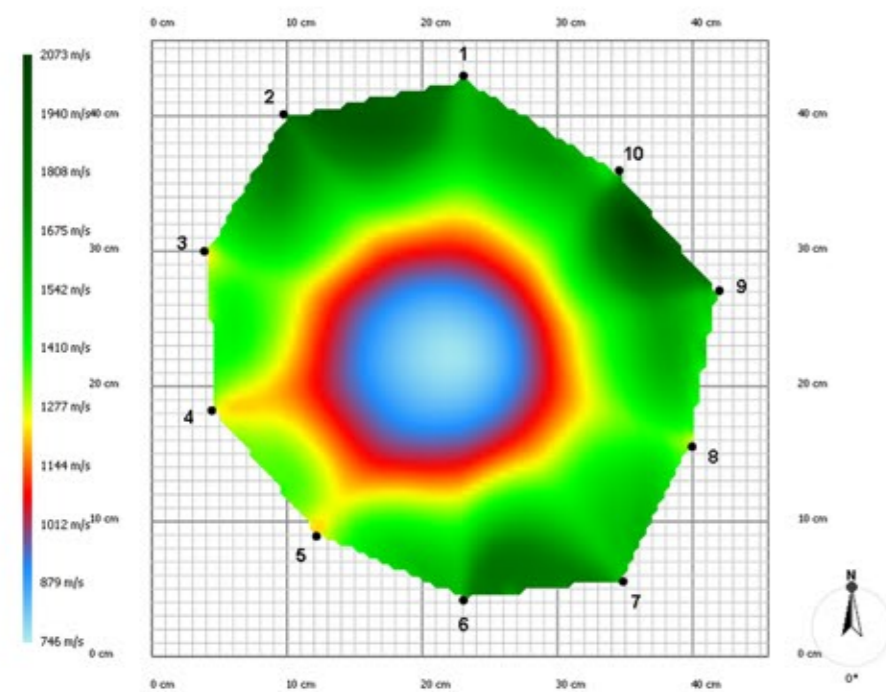
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



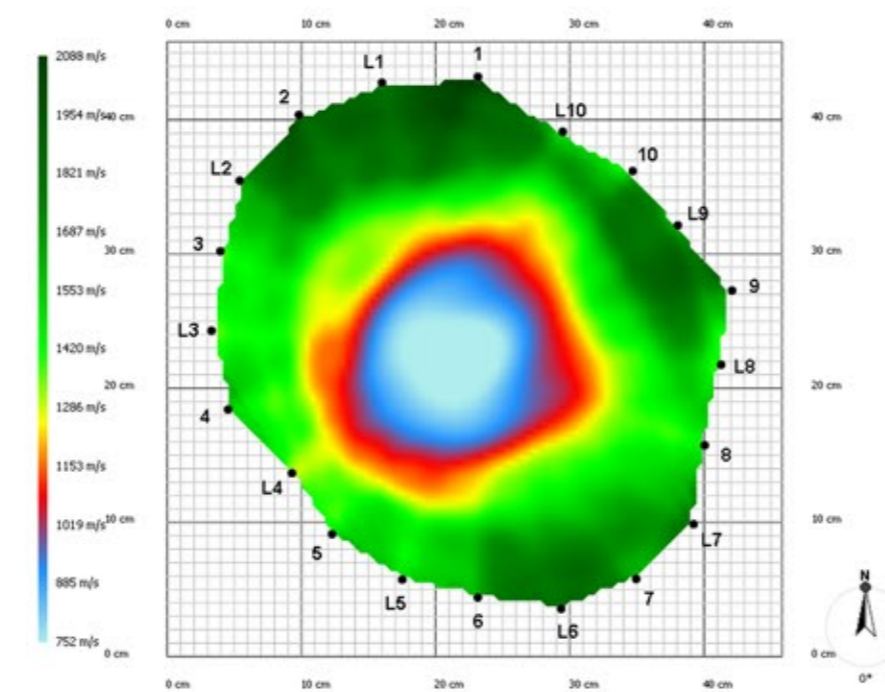
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



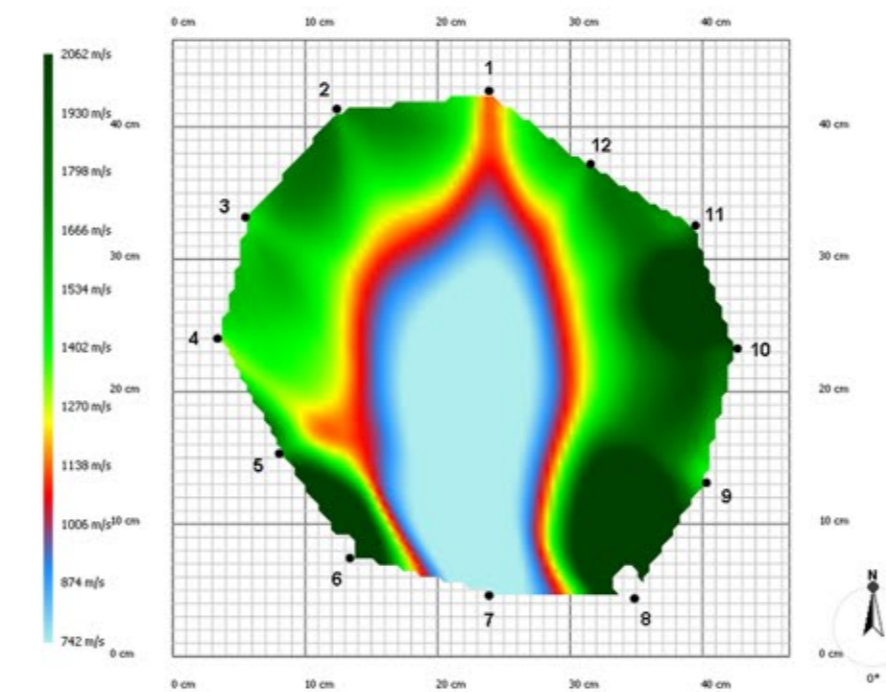
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



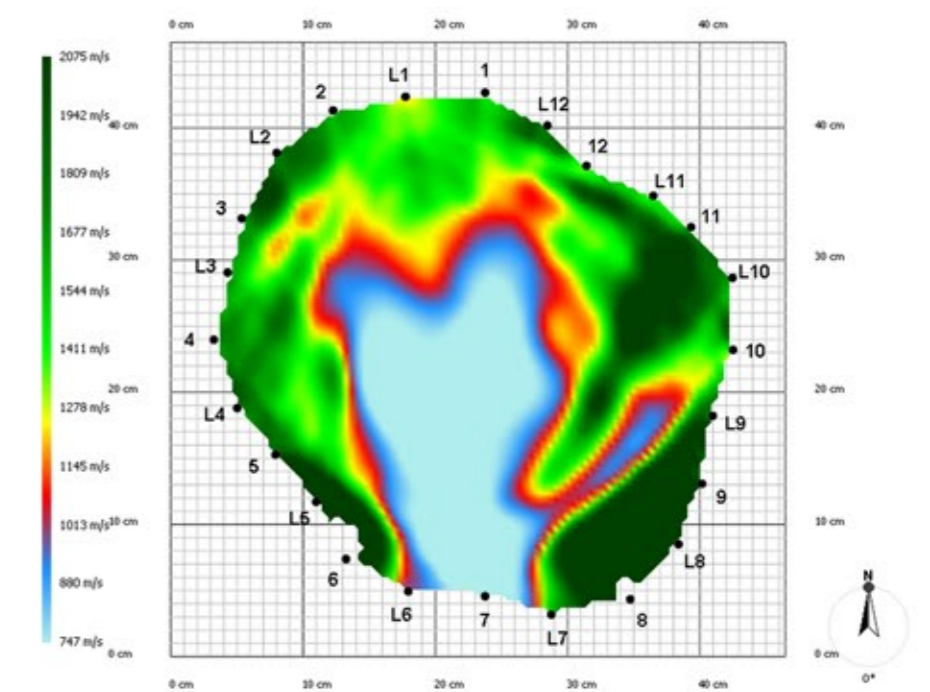
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon



10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

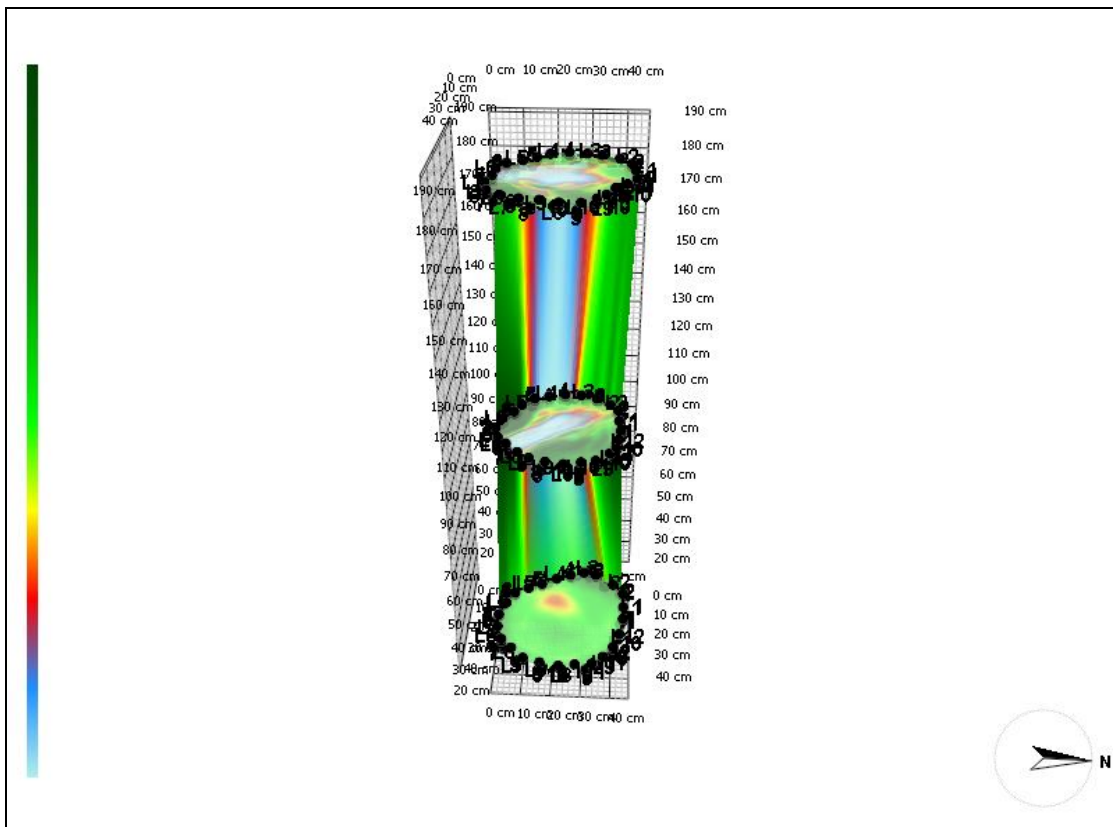
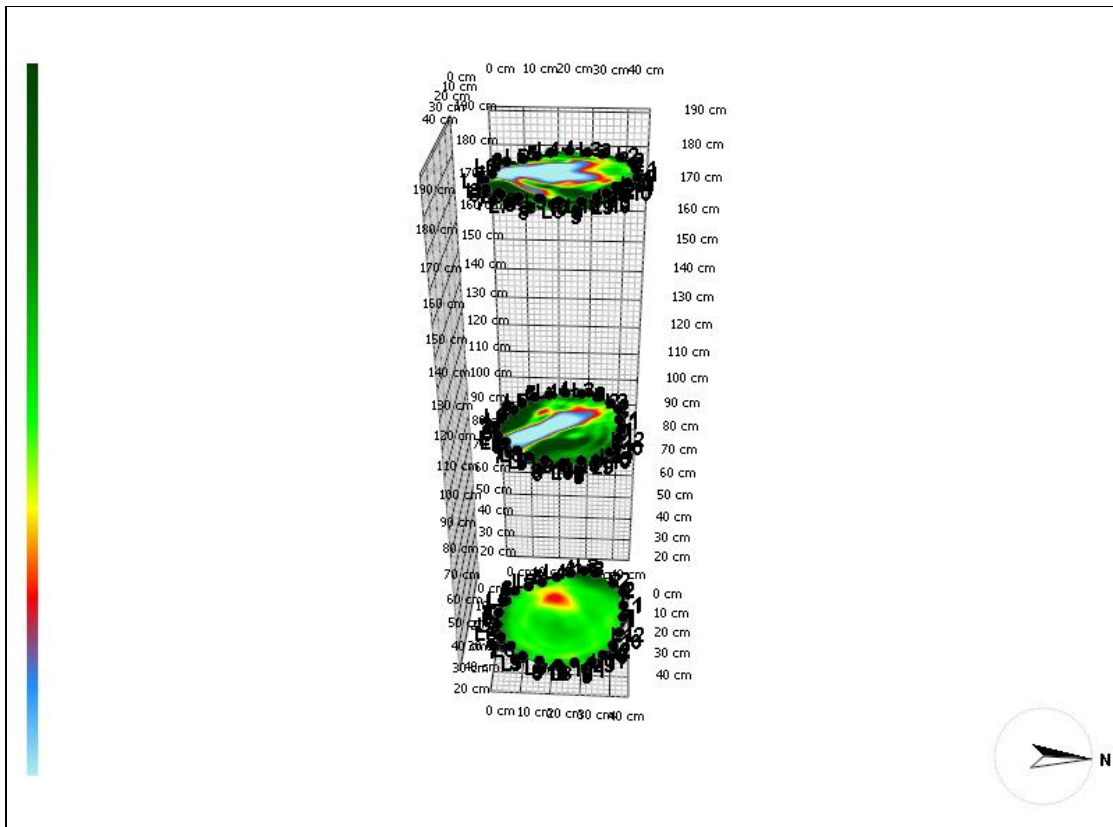


12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

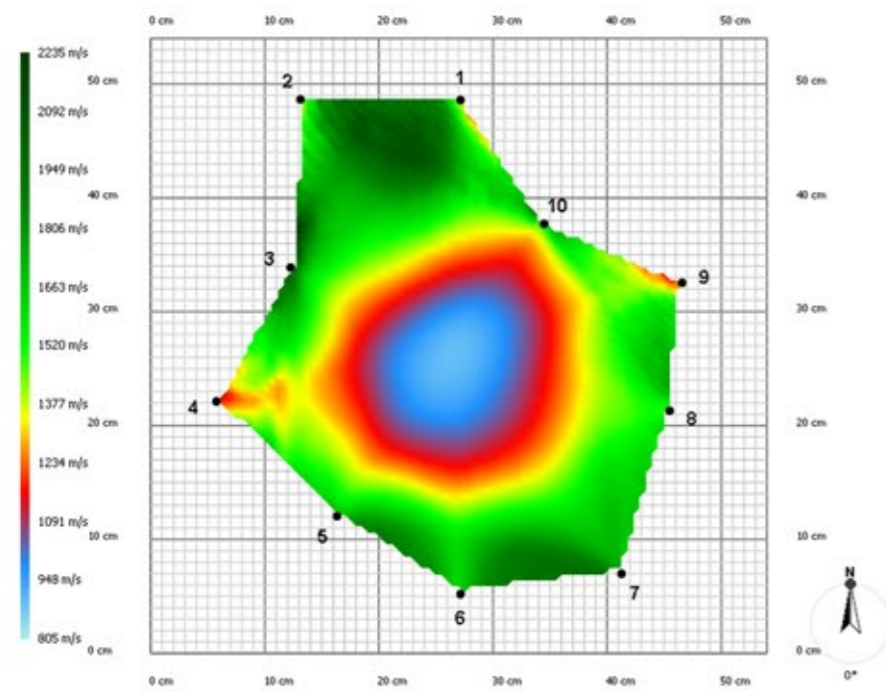


12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

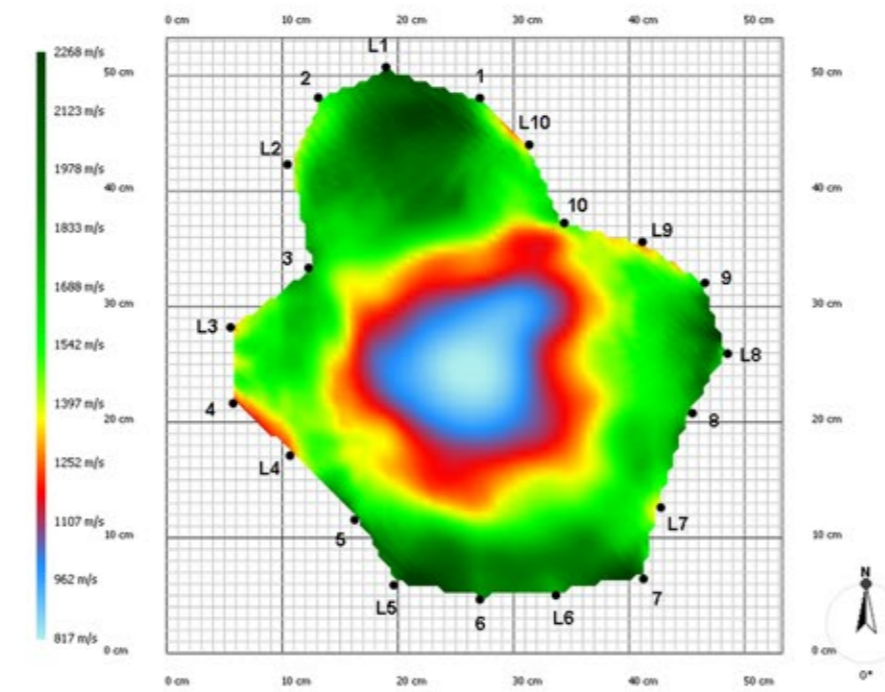
5.6. melléklet: A vizsgált AH2 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db mérésének tomogram képeiből összeállított többrétegű nézetek



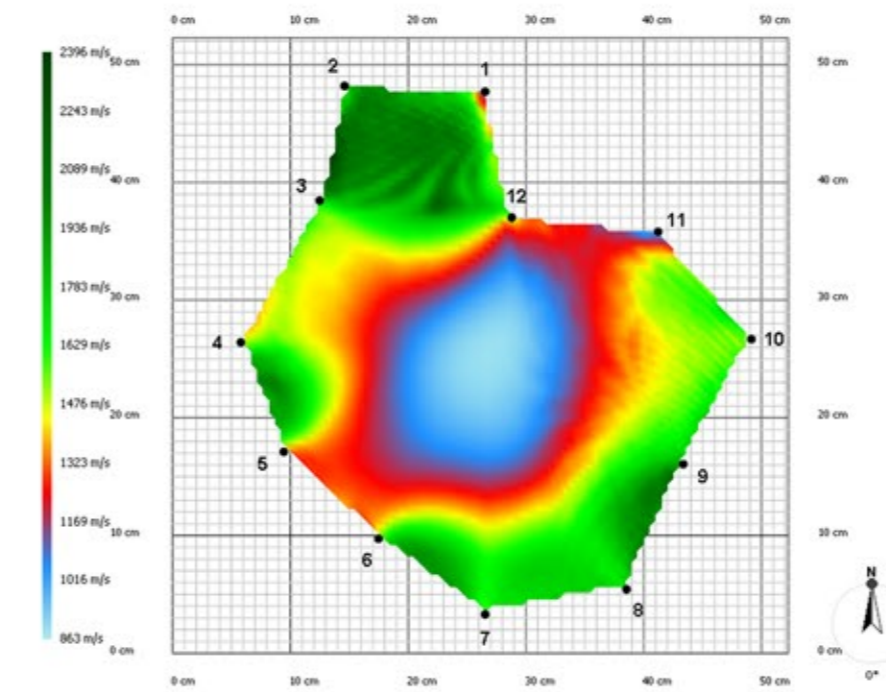
5.7. melléklet: A vizsgált AH3 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db méréséhez tartozó tomogram képek



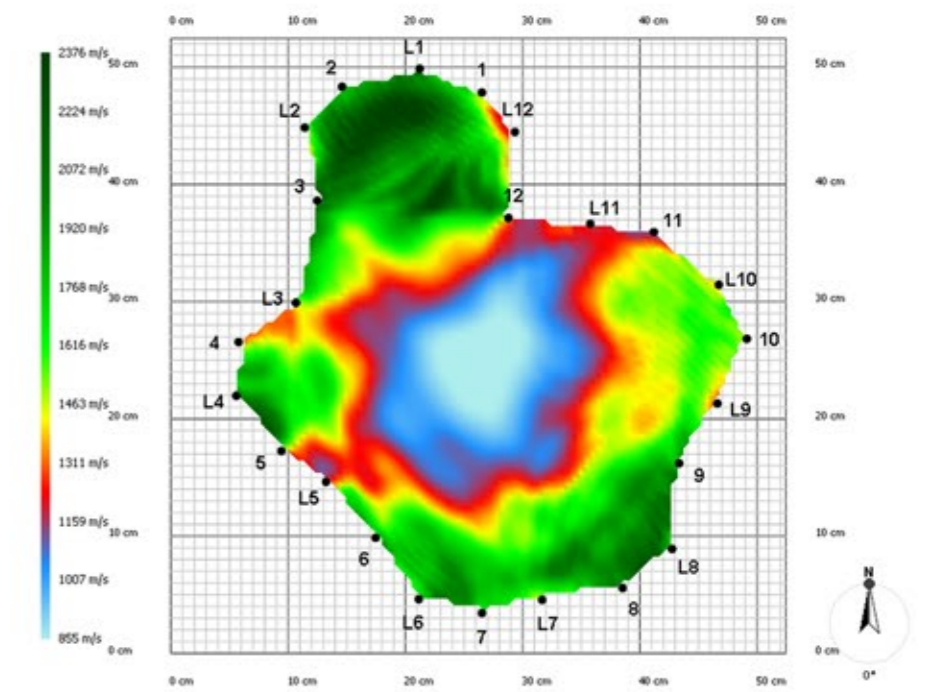
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



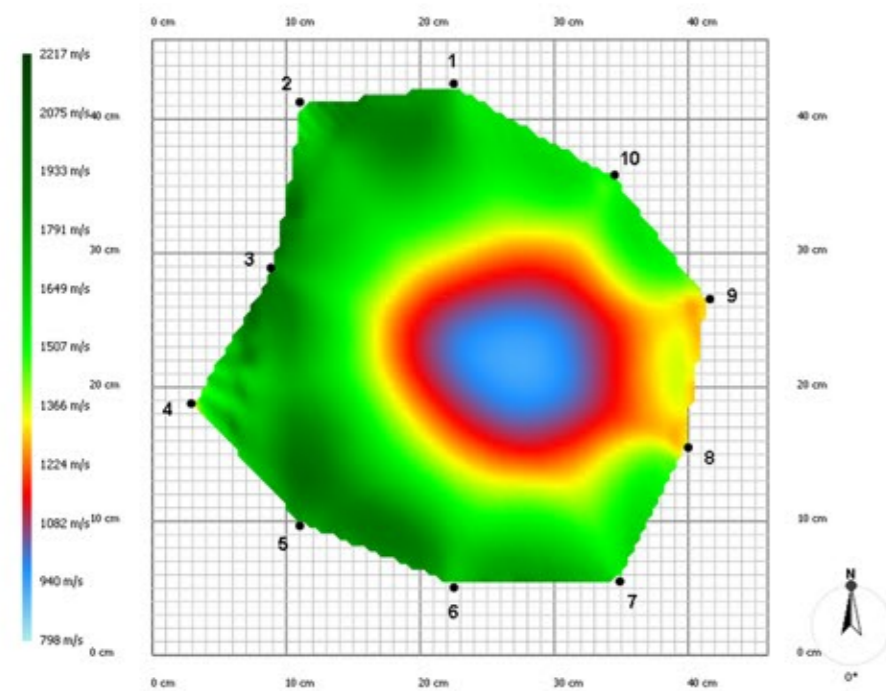
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



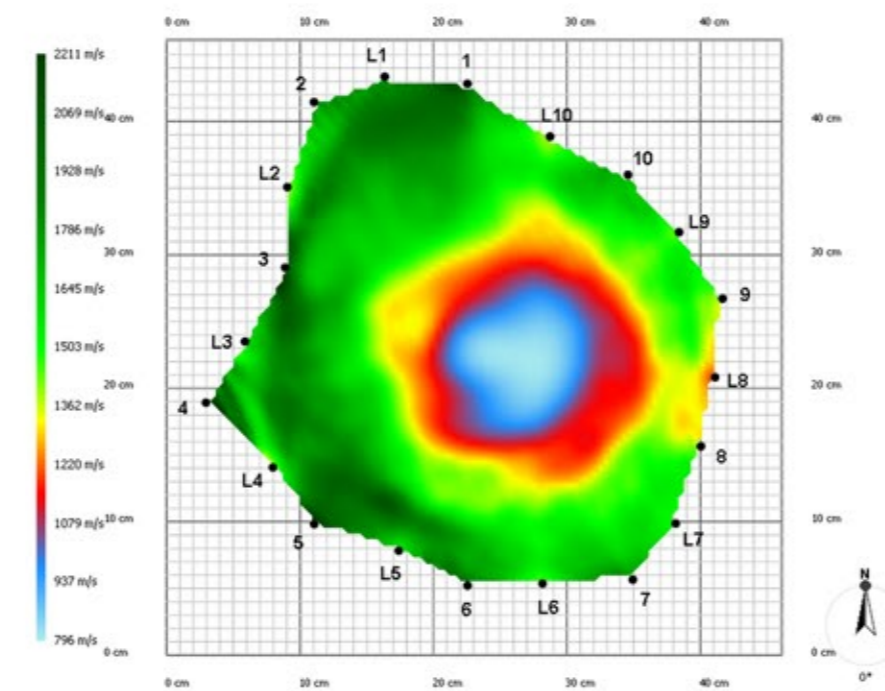
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



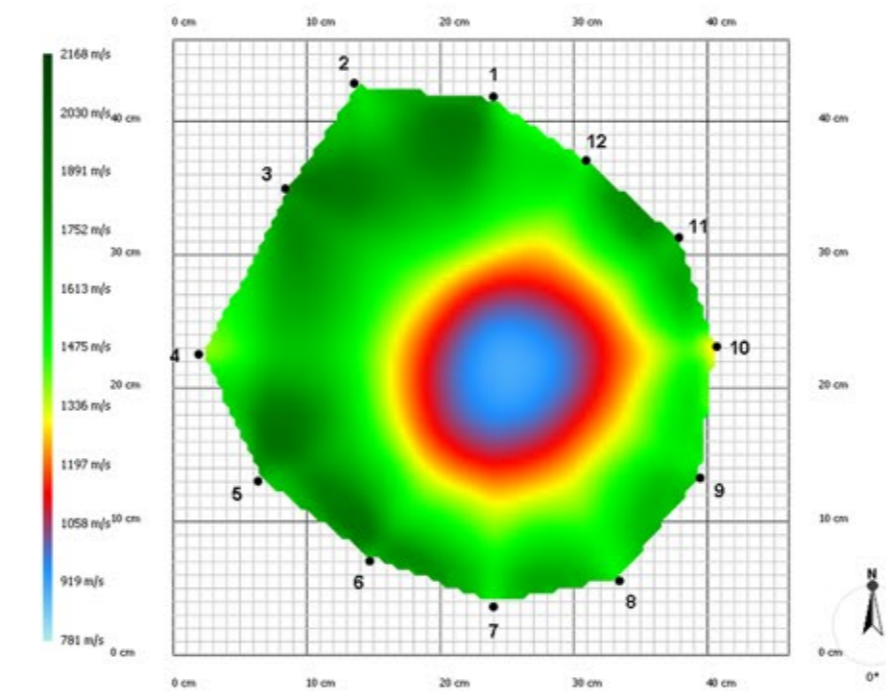
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



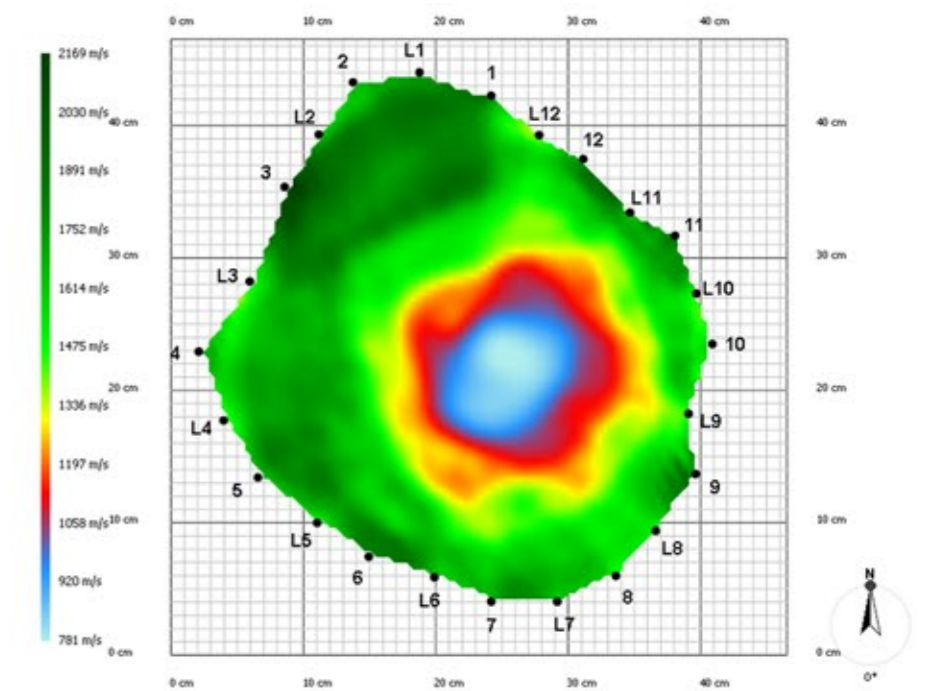
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



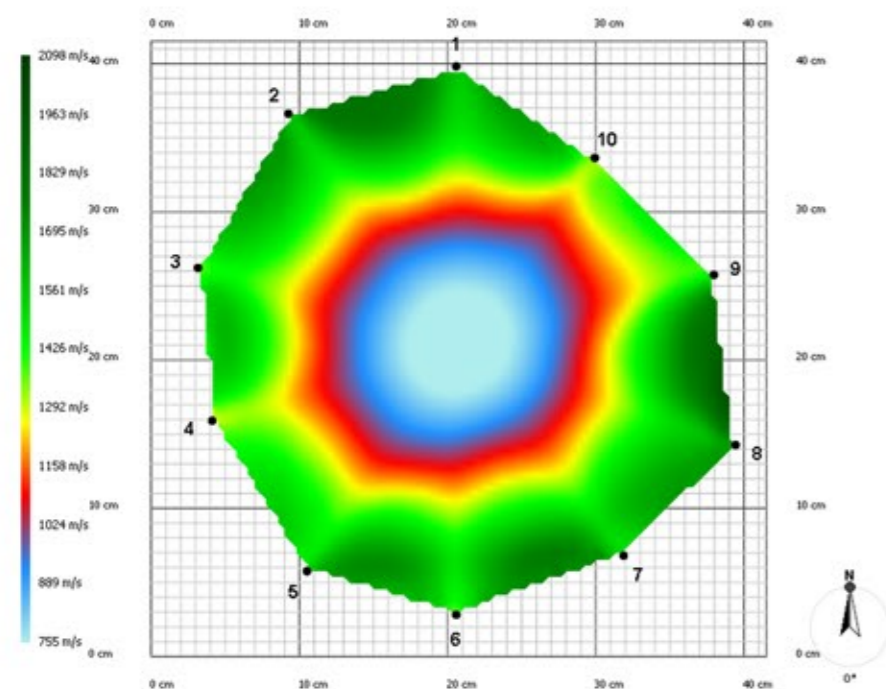
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



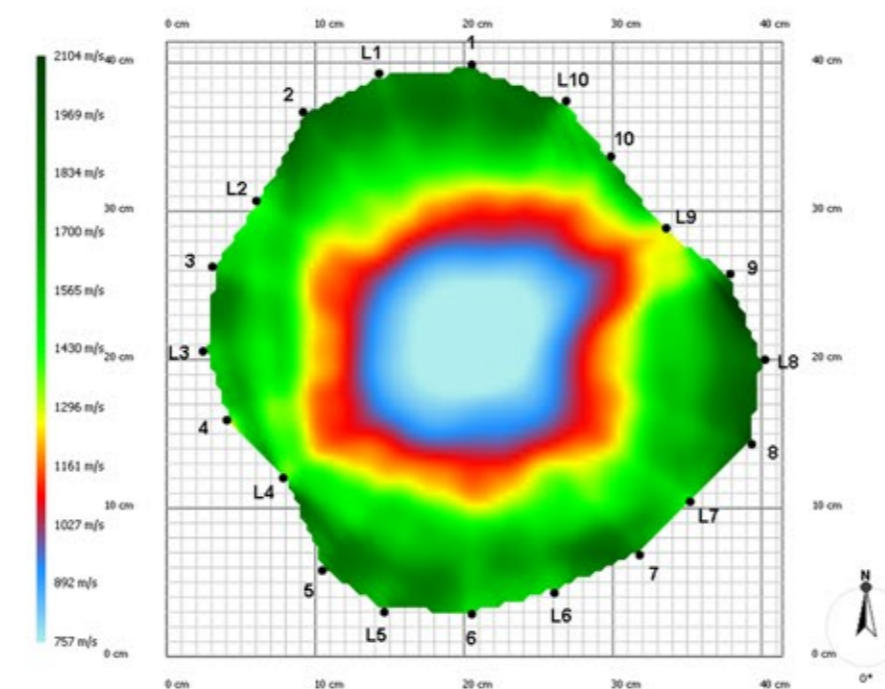
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



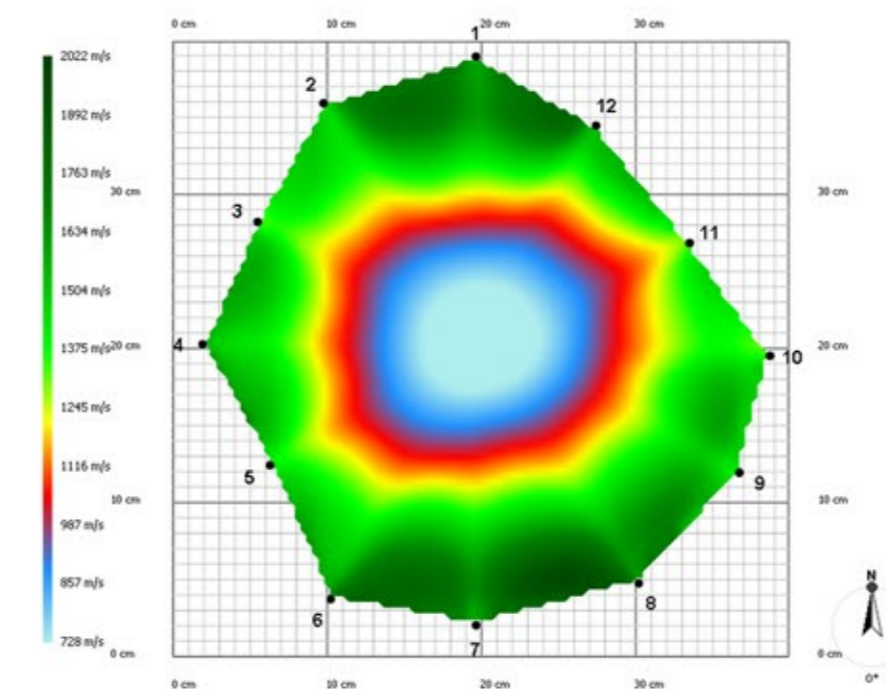
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



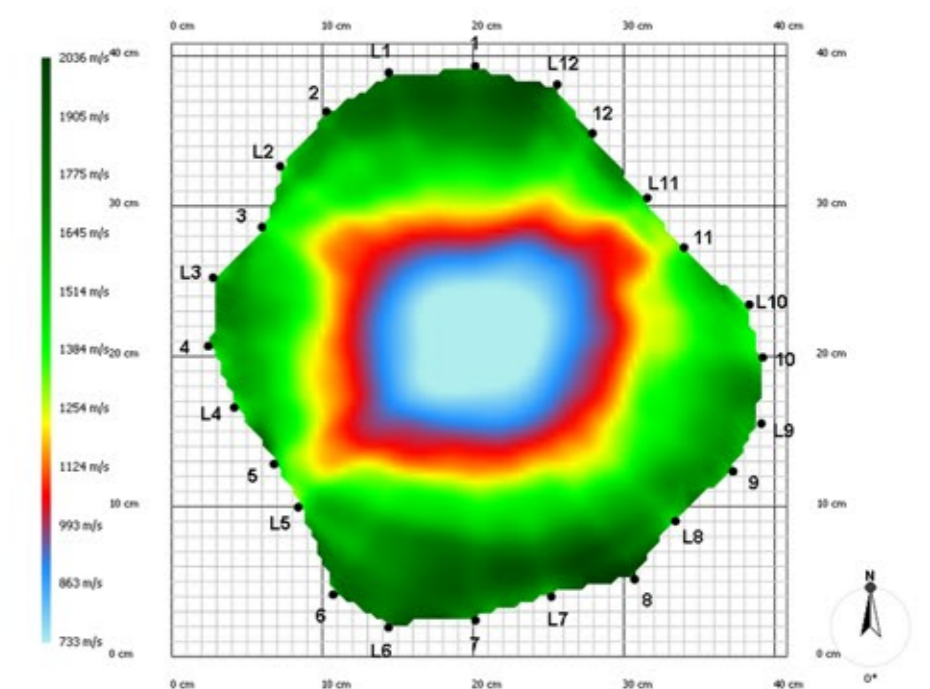
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon



10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

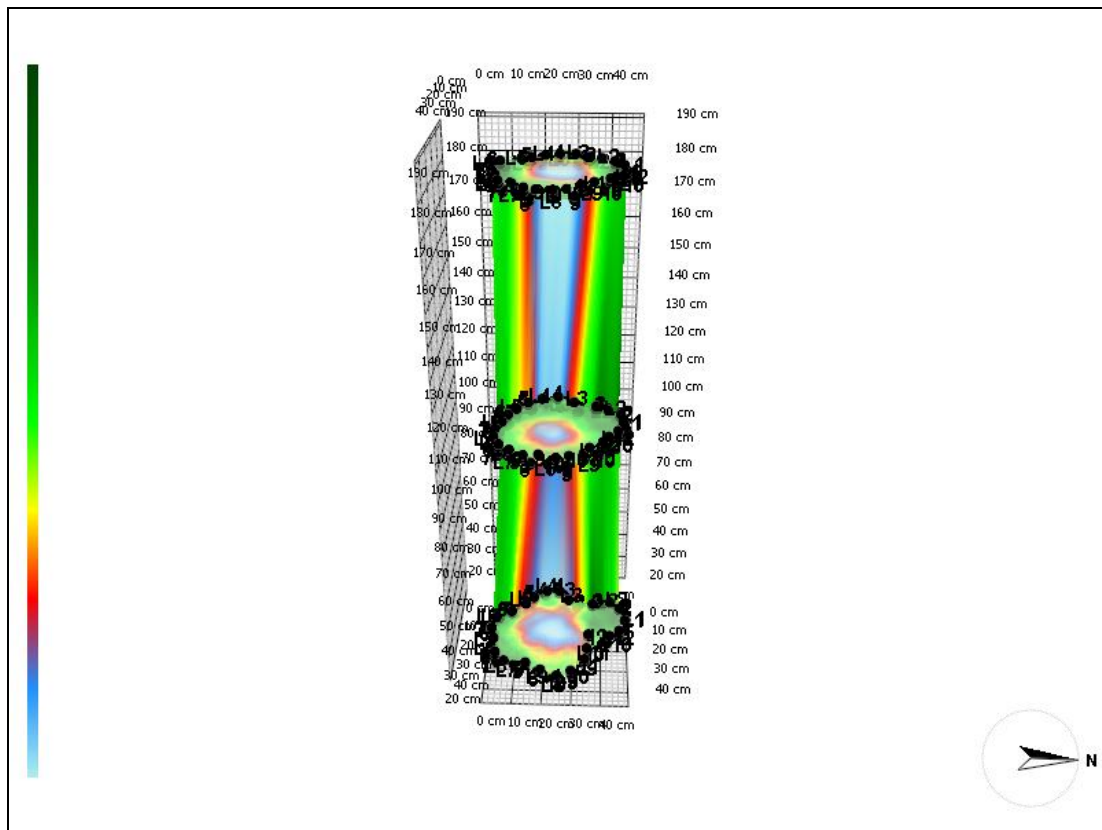
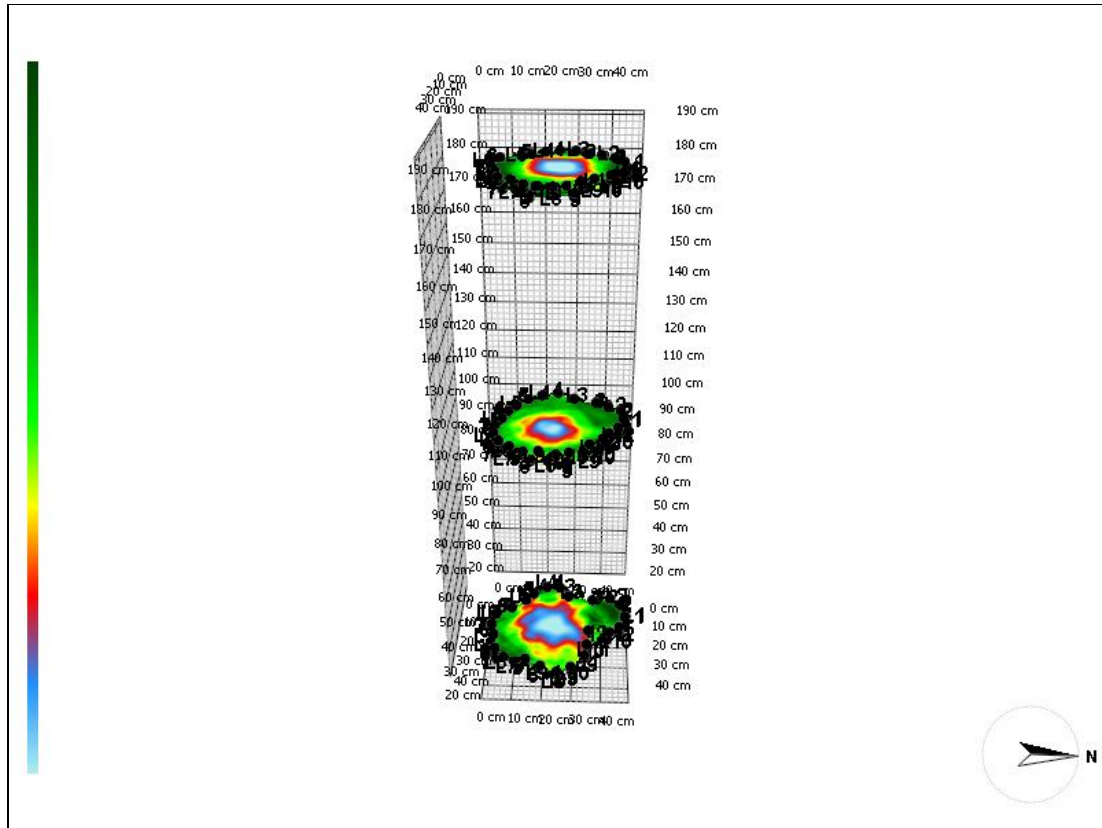


12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

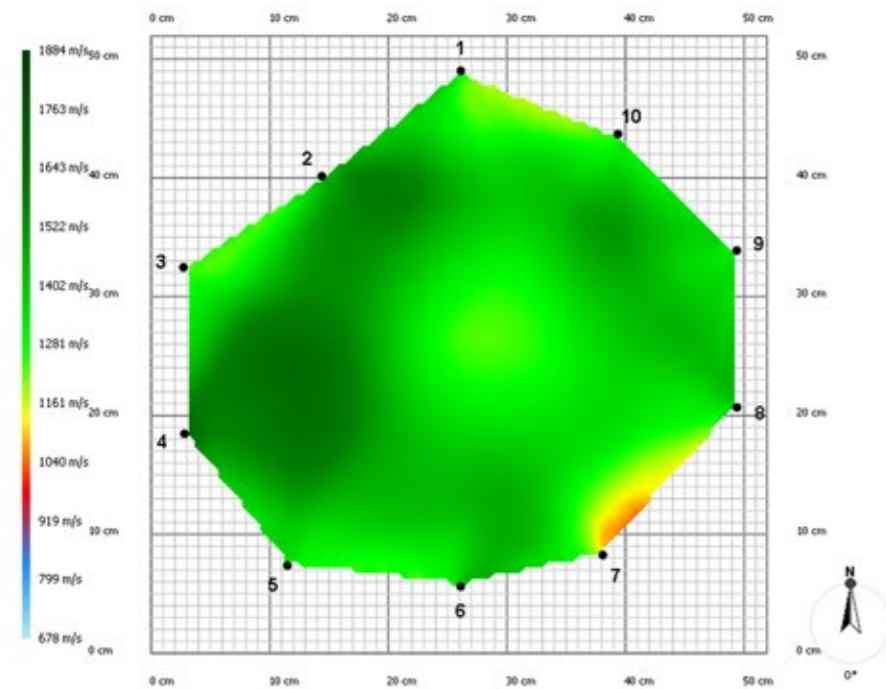


12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

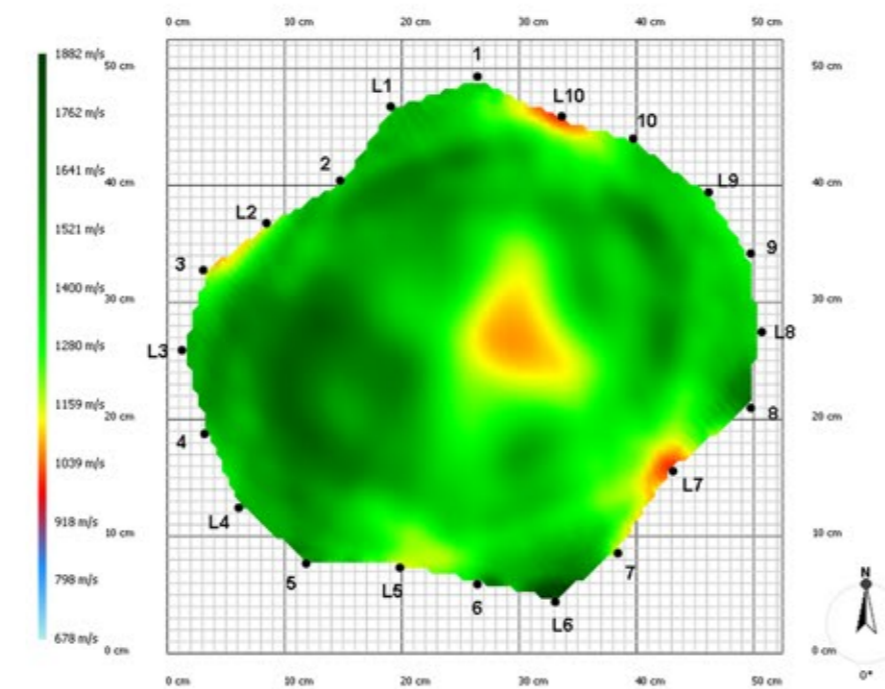
5.8. melléklet: A vizsgált AH3 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db mérésének tomogram képeiből összeállított többrétegű nézetek



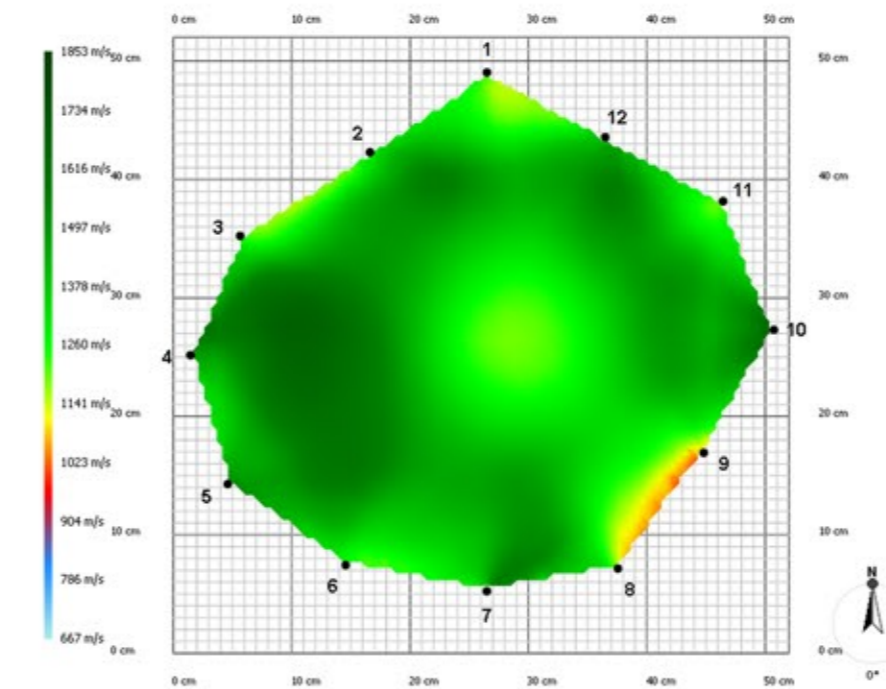
5.9. melléklet: A vizsgált AH4 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db méréséhez tartozó tomogram képek



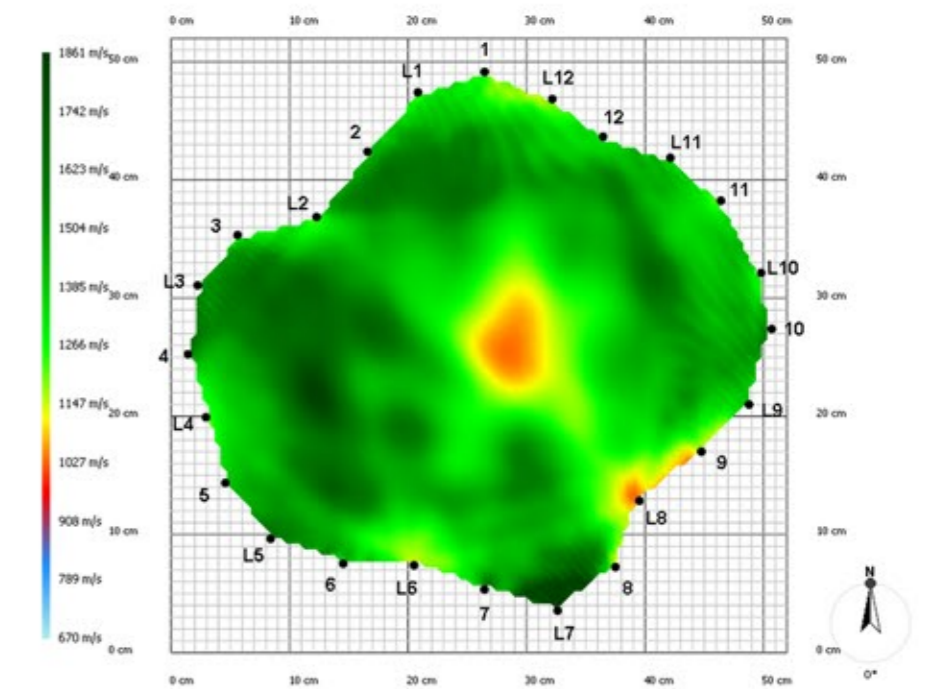
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



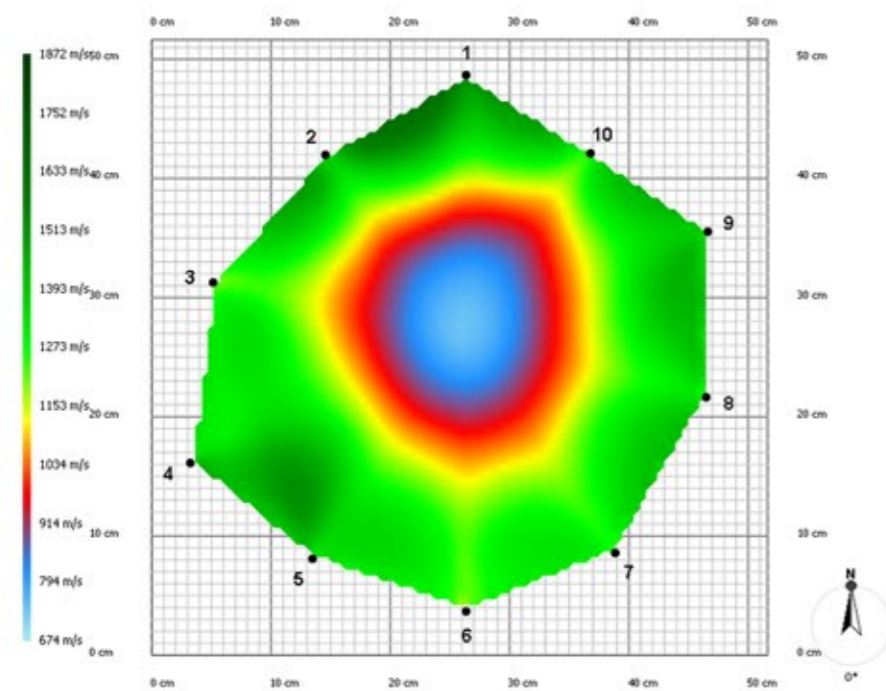
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



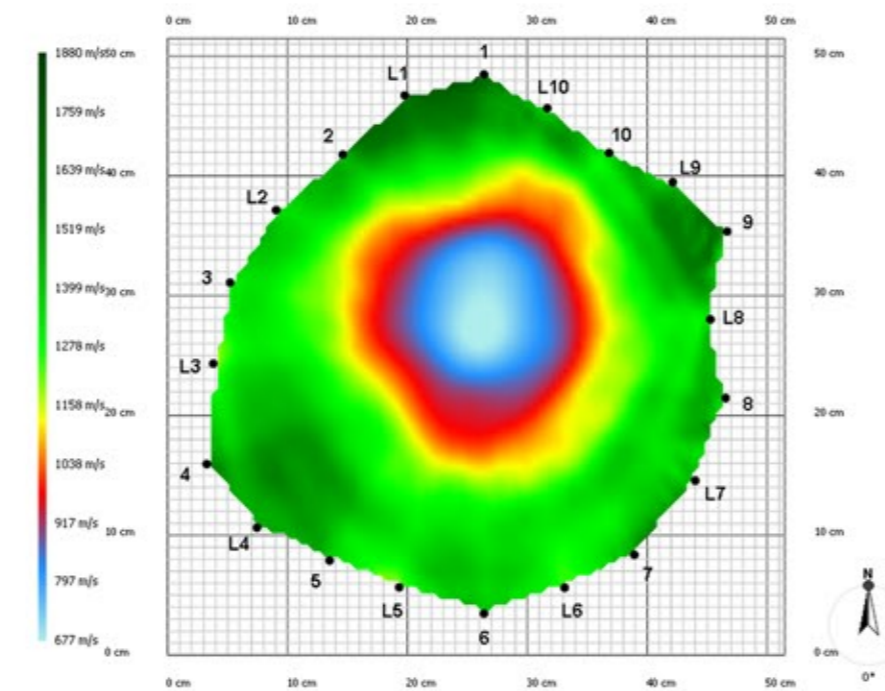
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



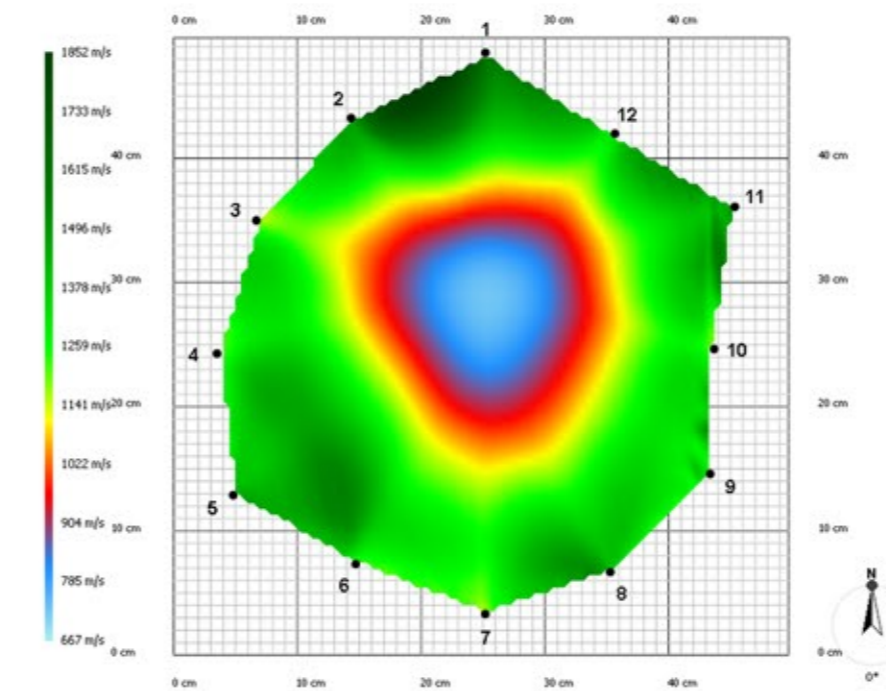
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
20 cm-es rétegmagasságon



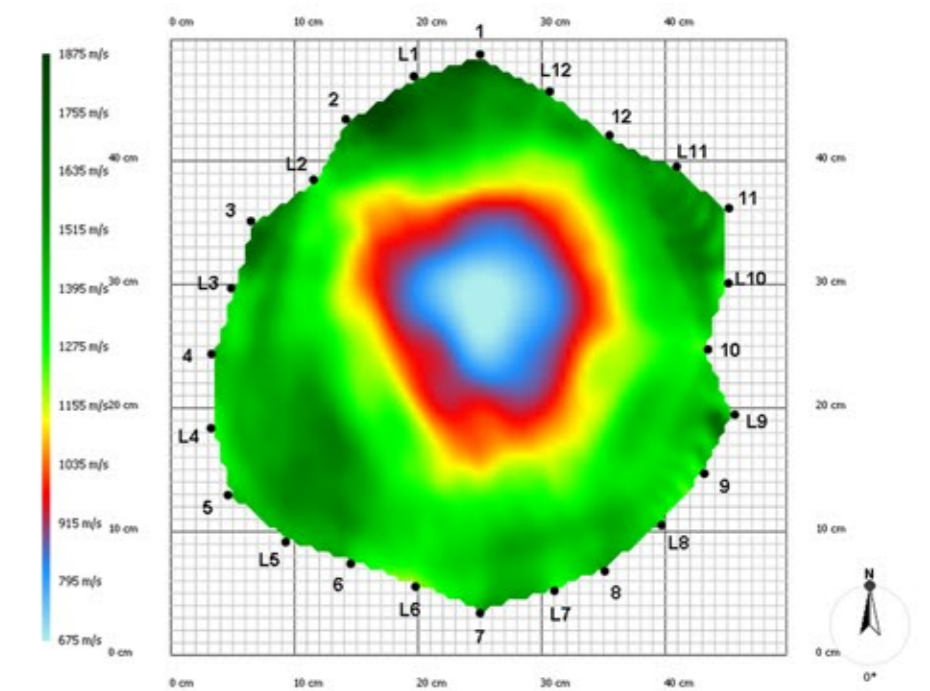
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



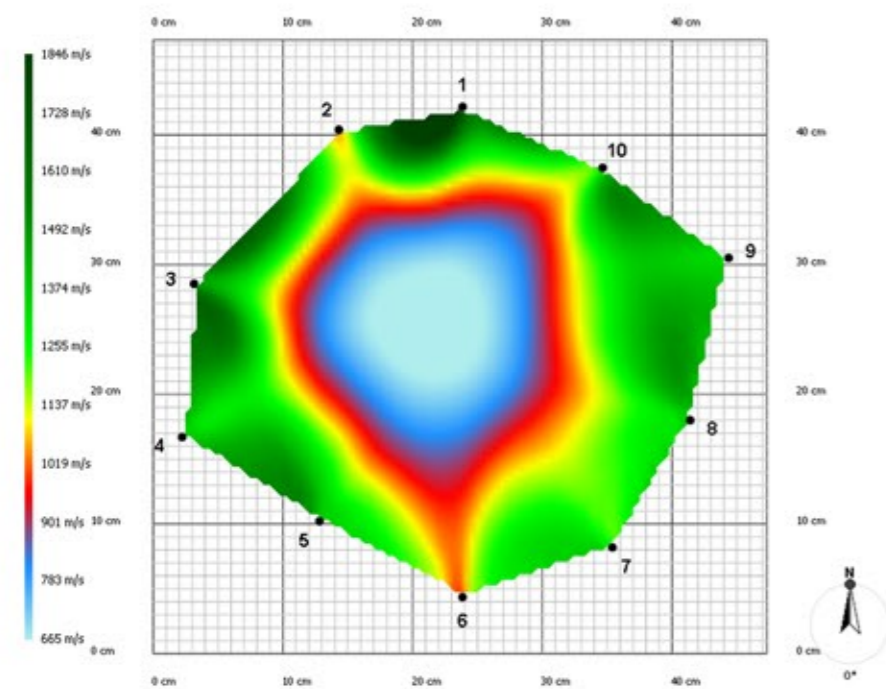
10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



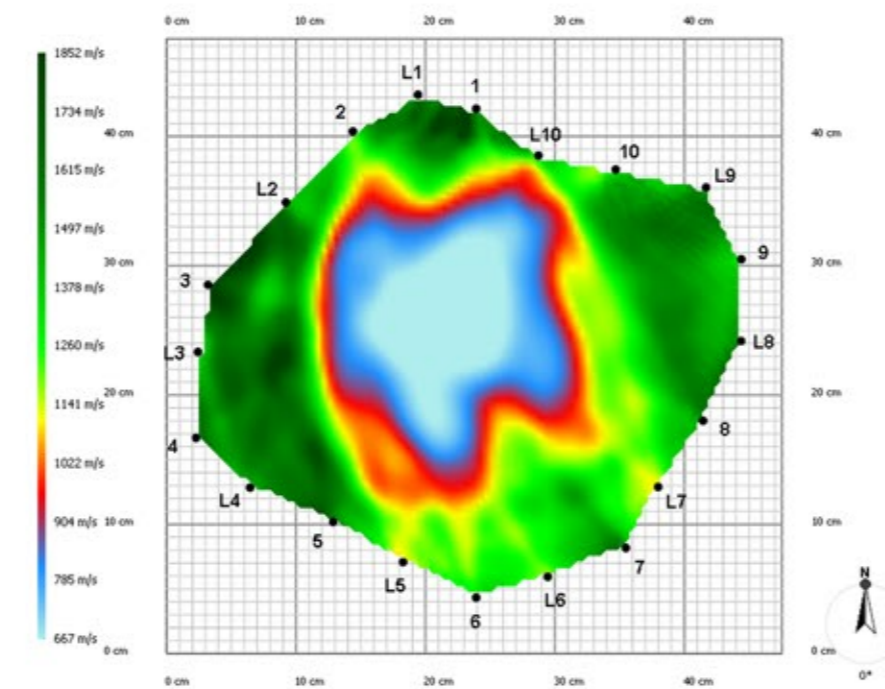
12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



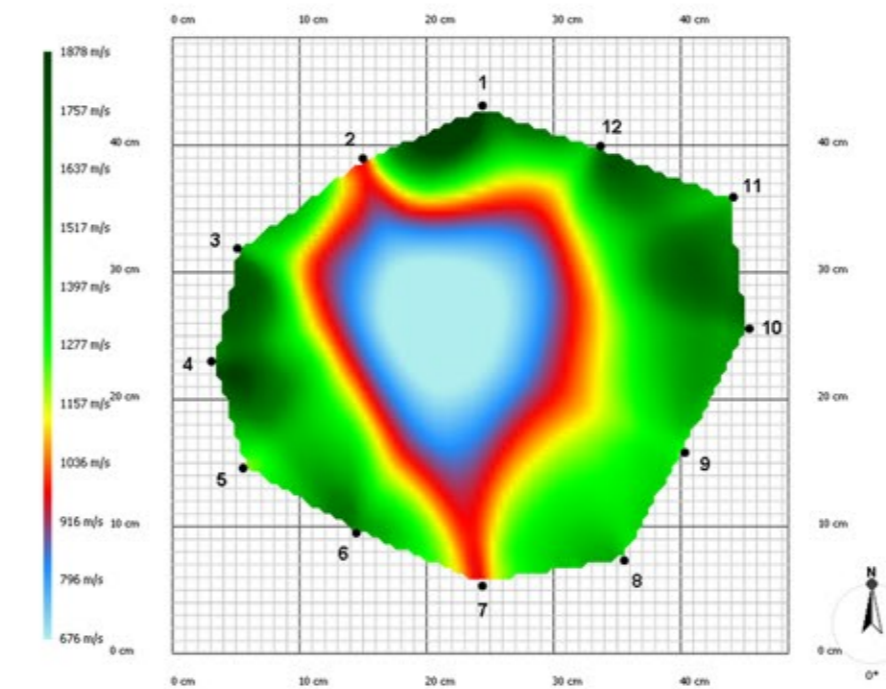
12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
100 cm-es rétegmagasságon



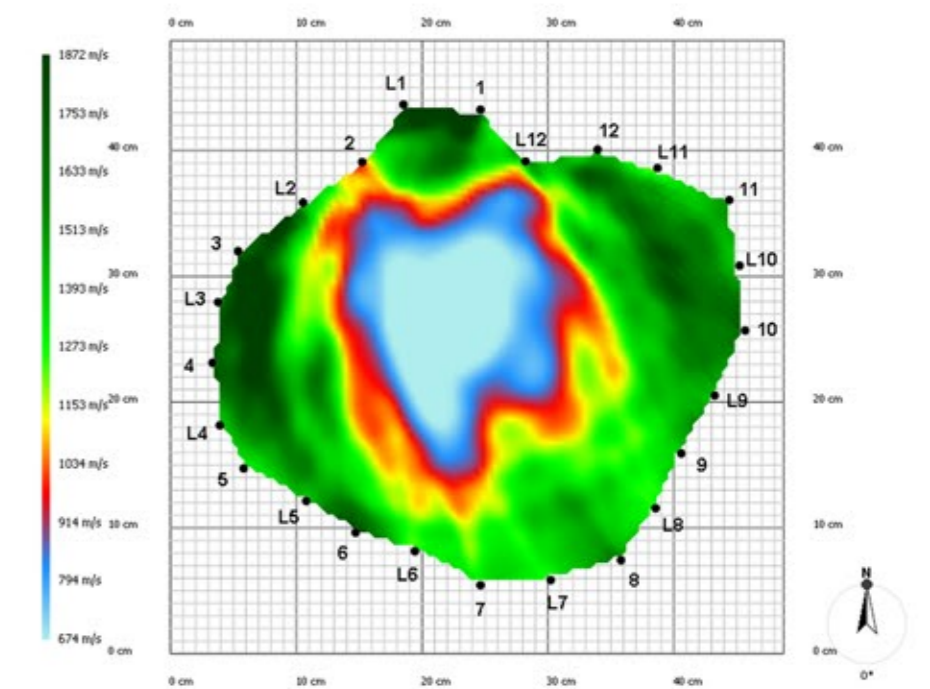
10 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon



10 db Piezo érzékelővel + 10 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

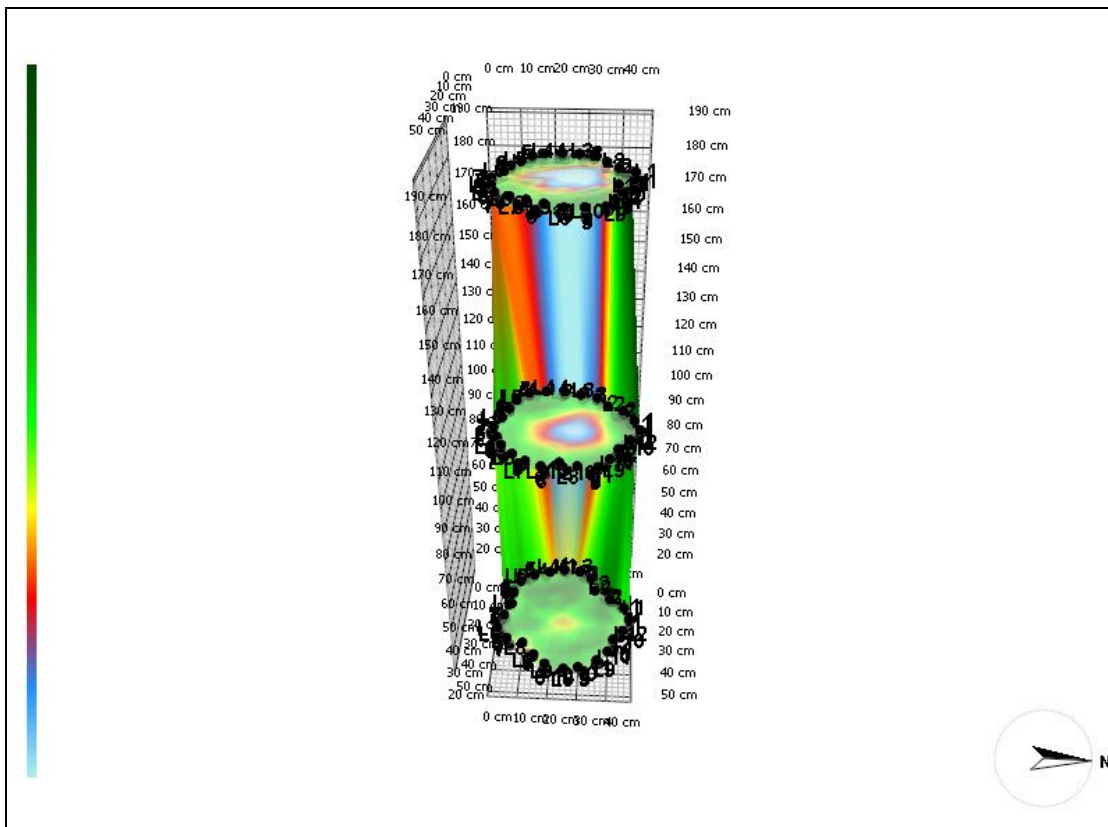
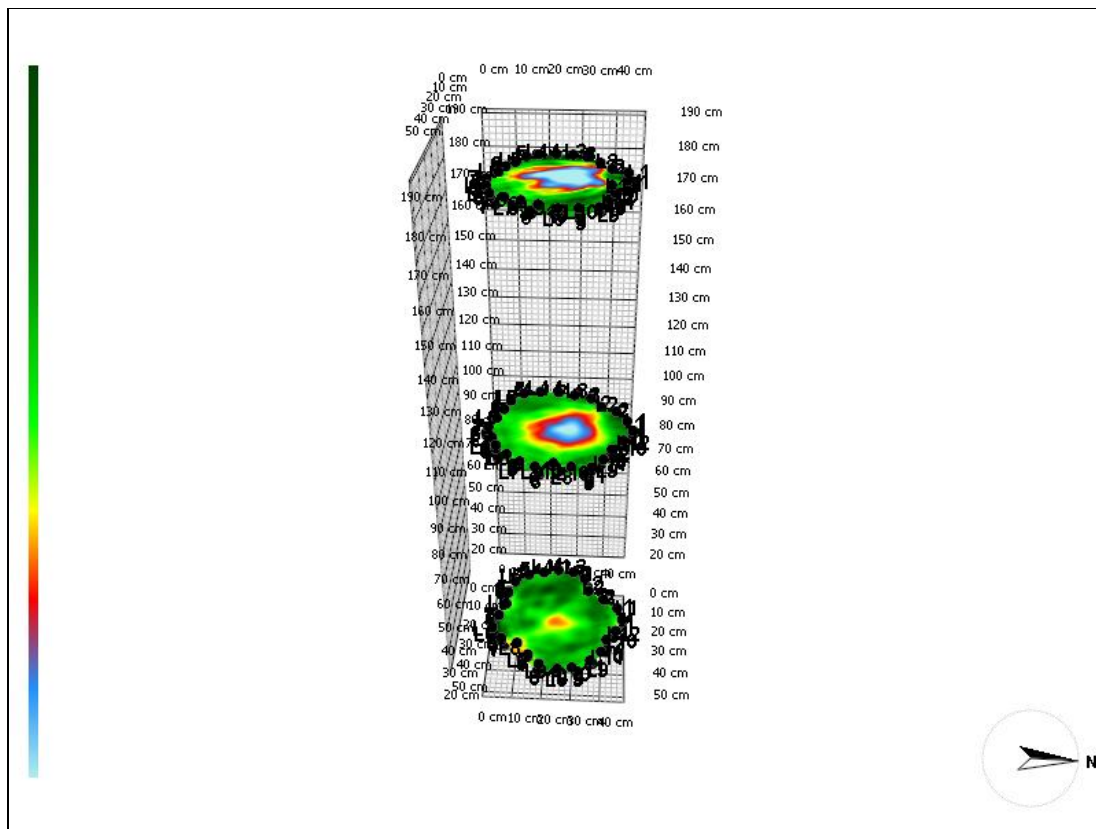


12 db Piezo érzékelővel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon



12 db Piezo érzékelővel + 12 db Ludwig-szöggel végzett mérés,
180 cm-es rétegmagasságon

5.10. melléklet: A vizsgált AH4 kódú *Aesculus hippocastanum* 12 db mérésének tomogram képeiből összeállított többrétegű nézetek



NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Vida Bertalan
A Hallgató Neptun kódja: XFEIOI
A dolgozat címe: A Ludwig-szögek alkalmazásának előnyei és hátrányai az akusztikus tomográfus vizsgálatokban
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

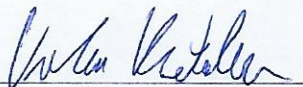
Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Budapest, 2023. május 3.


Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Vida Bertalan (hallgató Neptun azonosítója: XFEIOI) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2023. április 26.


Belső konzulens