

A GÉPESÍTÉST BEFOLYÁSOLÓ TALAJJELLENÁLLÁS MEGHATÁROZÁSA ERDŐVEL BORÍTOTT TERÜLETEN „3T SYSTEM” RÉTEGINDIKÁTORRAL

Major Tamás, Szakálosné Mátyás Katalin és Horváth Attila László

Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet

Kivonat

Ma már a talajművelő gépek fejlesztése a talajok és azok jellemzőinek ismerete nélkül nem képzelhető el, ugyanakkor az irodalom áttekintése alapján megállapítottuk, hogy a gyökérrel átszőtt talajok fizikai-mechanikai tulajdonságait nem ismerjük.

Vizsgálataink közben ezért az erdei talajok mechanikai jellemzőinek megismerését tűztük ki célul, arra kerestük a választ, hogy a fák gyökerei milyen hatással vannak a talaj mechanikai jellemzőire, különös tekintettel a talajjellenállásra. Az összefüggések feltárásához talajjellenállás méréseket végeztünk 3T System rétegindikátorral.

A mérési adatokra matematikai statisztikai módszerekkel egy felületet illesztettünk, mely megadja a talajjellenállás-változás tendenciáját a faátmérő és a fától való távolság függvényében. A mérési adatok alapján kimutatható, hogy a fák 1–1,5 m-es környezetében a gyökérzet hatása miatt nagyobb a talajjellenállás. Azon fák gyökérzetének hatását a talajjellenállás változására nem tudtuk kimutatni, amelyek mellmagassági átmérője 30 cm-nél kisebb. A nagyobb átmérőjű egyedek esetében sem lehetett mindig ilyen összefüggéseket találni, ez elsősorban a szabadabb állásban lévő egyedek esetében sikerült.

Kulcsszavak: gépfejlesztés, tuskós területek, talajművelés, talaj-előkészítő gépek, penetrométer, talajjellenállás.

DETERMINATION OF THE MECHANIZATION-AFFECTING SOIL RESISTANCE AT FORESTED SITES USING THE „3T SYSTEM” ELECTRONIC SOIL LAYER INDICATOR

Abstract

The development and improvement of suitable soil cultivation machines is unfeasible without knowing the proper characteristics of the soils. After a detailed review of the applying scientific literature we have concluded that the physical-mechanical properties of forest soils with extensive root systems have hitherto been unidentified.

The goal of our research was to study the mechanical properties of forest soils, and to investigate the effect of the tree root system on these physical-mechanical characteristics, especially on the soil resistance. In order to reveal the interdependences we have performed several soil resistance measurements.



Using mechanical and statistical methods, we have fitted a surface to the measured data points, which can predict the changes of soil resistance as a function of the diameter of the trees and of the distance from the trees. According to our measurements it can be established that around the stems in a radius of 1-1,5 meters the higher soil resistance is caused by the presence of roots.

Key words: machine improvement, stumpy areas, soil cultivation, machines for soil preparation, penetrometer, soil resistance

BEVEZETÉS

Az elmúlt években egyre nagyobb hangsúlyt kapott a tuskós területek talajművelését biztosító műszaki megoldások fejlesztése (Horváth 1997, Horváth 1998), azonban a talaj-előkészítő gépek fejlesztése a talajok és azok jellemzőinek ismerete nélkül nem képzelhető el (Bánházi 1984, Mészáros és mtsai 1965, Rázsó 1958, Sitkei 1991).

A talaj mint háromfázisú polidiszperz rendszer szilárd, folyékony és légnemű anyagok különböző arányú keveréke, ezek egymáshoz való viszonya és eloszlása térben és időben változó (Sitkei 1986). A talaj nem jellemezhető egyetlen fizikai vagy mechanikai jellemzővel. A talajművelő gépek elsősorban a talaj fizikai sajátosságait változtatják meg, a munkaeszközre ugyanakkor visszahatnak a talaj mechanikai tulajdonságai (Sitkei 1967, Sitkei 1981). A talaj fizikai jellemzői közé többek között a szöveti és szerkezeti tulajdonságok tartoznak. A talajok mechanikai viselkedése alatt pedig azt értjük, hogy egy adott erőhatásra (nyomóerő, nyíróerő) a talaj milyen és mekkora deformációval válaszol. A mezőgazdaság szempontjából a mechanikai tulajdonságok a legfontosabbak.

A talajok bonyolult szerkezeti felépítése és inhomogenitása nagyon megnehezíti általános mechanikai törvényszerűségeik leírását és a helyes mechanikai jellemzők kiválasztását. A jelenleg használt talajjellemzők nem írják le minden körülmények között helyesen a talajok mechanikai viselkedését. A kísérletek eredményeiből nyert összefüggések nem általánosíthatók korlátozás nélkül (Kaifás 2006).

Az erdők területén további problémát okoz a gyökerek és tuskók jelenléte. A gyökerek jelenléte ugyanis a talaj szilárdságát jelentősen megnövelheti. Gray és Ohashi (1983) kimutatta, hogy a talaj terhelhetősége arányosan emelkedik a talajban található gyökérrostok koncentrációjával vagy összes keresztmetszetükkel. A gyökérrel jól átszőtt talaj 3-5-ször akkora nyíróerőt képes felvenni, mint a gyökerek nélküli talaj. Ziemer (1981) az Észak-Kaliforniában őshonos *Pinus contorta* gyökereivel végzett nyírókísérletek során a következő összefüggést állapította meg a nyírószilárdság és az 1 m³ földben található gyökerek kilogrammban kifejezett tömege között:

$$\tau = 3,13 + 3,31 \cdot m \quad (1)$$

ahol:

τ [N/mm²]: nyírószilárdság,

m [kg]: egy m³ földben található gyökerek tömege.

Az irodalom áttekintése alapján megállapítottuk, hogy az eddig feltárt paraméterek nem adnak felvilágosítást arra, hogy miként változik a talajnak a művelő-szerszámokkal szembeni ellenállása a benne lévő gyökerek hatására. Ismereteink a gyökérzet morfológiájáról, elhelyezkedéséről a talajban, elágazási sajátosságairól, növekedésének a környezeti tényezőkkel való összefüggéséről rendkívül hiányosak (Csiha és Keserű 2003, Kárász 1984; Kárász 1986, Köstler és mtsai 1968, Majer 1958, Majer 1961). Ezt a hiányt igyekeznek pótolni Führer és mtsai (2011), akik egy bükkös, egy gyertyános-kocsányos tölgyes és egy cseres faállományban végeztek gyökérfeltárást a gyökerek horizontális és vertikális kiterjedésének fafajonkénti értékeléséhez.

Az elmúlt évtizedekben a talajállapot jellemzésére kifejlesztették a talaj tömörödöttségét mérő műszereket, melyek – a mérési módszer azonossága mellett – más-más „mérőfejjel” készültek (Bánházi 2000). A penetrométerrel mért talajellenállás az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a talaj tömörödöttségének, a tömörödött rétegek mélységbeli elhelyezkedésének, valamint a talajfizikai állapot térbeli és időbeli változásának vizsgálatára. Számos kutató kimutatta a vizsgálatai alapján, hogy a penetrométerrel mért talajellenállás lényegesen érzékenyebb indikátor, mint az általánosan elterjedt térfogattömeg a talajtömörödés kifejezésére (Szöllősi és mtsai 2004).

A penetrométer a következő területeken használható:

- talajművelési eljárások és rendszerek hatásának vizsgálata;
- talajállapot-felmérés, a talajmélységi hibák megállapítása;
- különböző fizikai féleségű talajok jellemzése;
- talajnedvesség, talajvízforgalom mérése;
- növénytermesztési rendszerek, növényi sorrend hosszú távú talajellenállás-változásának megfigyelése.

A penetrométerek a mérőfej talajba hatolásának ellenállását rögzítik. A behatolási ellenállás értékével jellemzik a talaj tömörödöttségét. Az azonos térfogattömeg mellett mért különböző talajellenállás értékek segítségével a gyökerek hatása is kimutatható, a gyökerek ugyanis gátolják a behatoló szerszám előtt a talajszemcsék oldalirányú elmozdulását, emiatt nagyobb erő szükséges a szerszám talajba juttatásához.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálataink közben az erdei talajok egy mechanikai jellemzőjének megismerését tűztük ki célul. Arra kerestük a választ, hogy a fák gyökerei milyen hatással vannak a talaj mechanikai jellemzőire, azaz hogyan változik a talaj ellenállása a fafaj, az átmérő és a fától való távolság függvényében.

A gyökérzet elhelyezkedésének, hatásának megismerése gyökérfeltárással nagyon időigényes, ezért olyan módszert kerestünk, mellyel viszonylag gyorsan juthatunk megfelelő adatokhoz. Kézenfekvőnek tűnt, hogy talajellenállás-mérések eredményeiből következtessünk a gyökérzet hatására. Az ultrahanggal végzett vizsgálatok ugyan gyors és pontos eredményeket adnak a gyökerek elhelyezkedéséről, de megbízhatóan csak a 3 cm-nél vastagabb gyökereket lehet vele kimutatni (Divós és mtsai 2009).

Először próbavizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a talajellenállás-mérésekből lehet-e következtetni a gyökerek elhelyezkedésére és a talajellenállásra gyakorolt hatásukra. A talajellenállás-

mérések elvégzése után a mérési eredmények helyességének ellenőrzésére gyökérfeltárást végeztünk (1. ábra). A feltárt gyökerekről fénykép készült, melyből a Digiterra Map segítségével ortofotót készítettünk. A mérési eredmények kiértékelése során a mért adatokat is a Digiterra Map térinformatikai szoftver segítségével készített 3 dimenziós modellre vittük fel, így lehetőség nyílt a programban az egymás fölött megnyitott rétegek (a mért adatok és a gyökerek elhelyezkedése) összevetésére. A próbavizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a gyökerek elhelyezkedése és a talajjellenállás változása között korreláció van, így a talajjellenállás-mérések alkalmasak a gyökérzet hatásának kimutatására. Ezt követően kezdtünk az érdemi mérésekhez.

A talajjellenállás-méréseket 3T System elektronikus rétegindikátorral végeztük, amely 1 cm-es talajrétegenként összetartozóan méri a talaj nedvességtartalmát és tömörségét. A talaj nedvességtartalmát a szabadföldi vízkapacitás (pF 2,5) %-ban kifejezett részarányaként térfigat %-ban adja meg. A talaj tömörödöttségét (penetrációját) a mérőkúp (60°, 12,5 mm átmérő) behatolási ellenállásának értékeként regisztrálja (kPa-ban). A mért adatokat tárolja, azok számítógépen kiértékelhetők.

A mérési helyeket a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. Soproni Erdészetének 79/B és 80/B erdőrészeleiben jelöltük ki. Az erdőrészelek adatait az 1. táblázat tartalmazza.

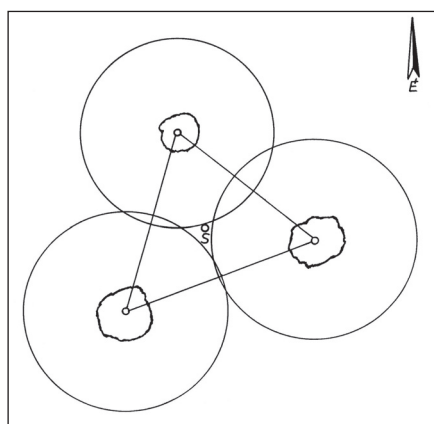


1. ábra: Gyökérfeltárás
Figure 1: Root excavation

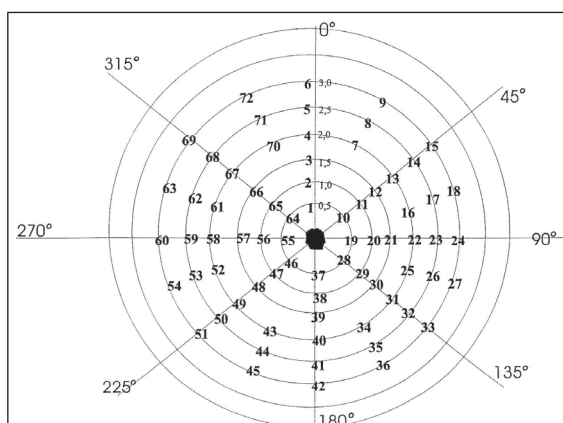
Egy mérési helyen három fát választottunk ki (2. ábra). A kiválasztott fák körül koncentrikus körök mentén a fáktól távolodva 0,5 m-enként 3,0 m távolsáig (6 körben 70 ponton) mértük a talajjellenállást. Hasonló adottságú, faállomány nélküli terület hiányában a három fa súlypontjában is végeztünk méréseket. Minden mérés pontos helyét meghatároztuk, így lehetőség van a mérések megismétlésére. A mérési pontok elhelyezkedése adott fa körül a 3. ábrán látható.

1. táblázat: A méréssel érintett erdőrészek adatai
Table 1: Data of measured subcompartments

Jellemző	Erdőrészlet	
	79/A	80/B
Talajjellemzők: – genetikai talajtípus: – fizikai talajféleség: – hidrológiai viszony: – termőréteg-vastagság:	ABE vályog VFLEN IMÉ	ABE vályog VFLEN IMÉ
Faállomány-jellemzők: – fajaj: – kor [év]: – $d_{1,3}$ [cm]: – hektáronkénti törzsszám [db/ha]:	KTT, VF 109 42 132	KTT, EF, GY, A 81 28 480



2. ábra: A mérési hely
Figure 2: Measuring spot



3. ábra: A mérési pontok elhelyezkedése
Figure 3: Location of measuring point

A méréseket nyolc mérési helyen összesen 24 faegyed körül végeztük. Ezeket úgy terveztük meg, hogy a területen található fák átmérő-intervallumát lefedjük. Mivel a fák törzsének jellemzésére az erdőgazdálkodásban a mellmagassági átmérőket használják, mi is ezt alkalmazzuk (táblázatok segítségével a tő- és mellmagassági átmérő egymásba átszámítható). Az elegyes állományban a mérési helyeket úgy jelöltük ki, hogy a mintákba csak kocsánytalan tölgyek kerüljenek.

A talajművelés a talaj felső 40 cm-es rétegét érinti. A fák gyökérzetének jelentős része is a talajfelszín közelében helyezkedik el. Irodalmi adatok szerint a gyökerek hosszának 65 – 85 %-a található a talaj felső 10 cm-én belül (Köstler és mtsai 1968). A műszer készítésénél ezeket a feltételeket figyelembe vették, így a műszer mérési tartományát kihasználva 40 cm mélységig mértünk.

A kiértékelést igen nagy számú (összesen 8x3x70, azaz 1680) mérés alapján végeztük, mivel a pontszerű mérések szórása igen nagy, a mérések pontosságát nagyban befolyásolja a talajban

előforduló kövek és a korábbi erdőnevelési célú fakitermelések idején kitermelt fák talajban lévő, még el nem korhadt gyökereinek jelenléte.

A 3T System mérőkészülék által rögzített adatokat ASC II fájlformátumba exportáltuk, majd Microsoft Exel program segítségével rendeztük, amit a statisztikai elemzés követett. Ehhez egy széleskörű, többváltozós függvények illesztésére is alkalmas, megfelelő grafikus megjelenítéssel bíró programcsomagot (STATISTICA) használtunk.

A talajellenállás-mérések mellett a mérési helyeken és a „súlypontokban” talajmintákat is vettünk. A mintákat a Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karának Növényteni és Termőhelyismeret-tani Intézetének laboratóriumában teljes talajtani vizsgálatnak vetettük alá, többek közt meghatároztuk a talajminták porozitását, differenciál porozitását, agyagtartalmát. A talajminták teljes talajtani vizsgálatai során a talajok fizikai állapotára következtettünk. A talaj pórusteret nagyságának, valamint azon belül a különböző átmérőtartományú pórusok arányának leírására pF-vizsgálatokat végeztünk.

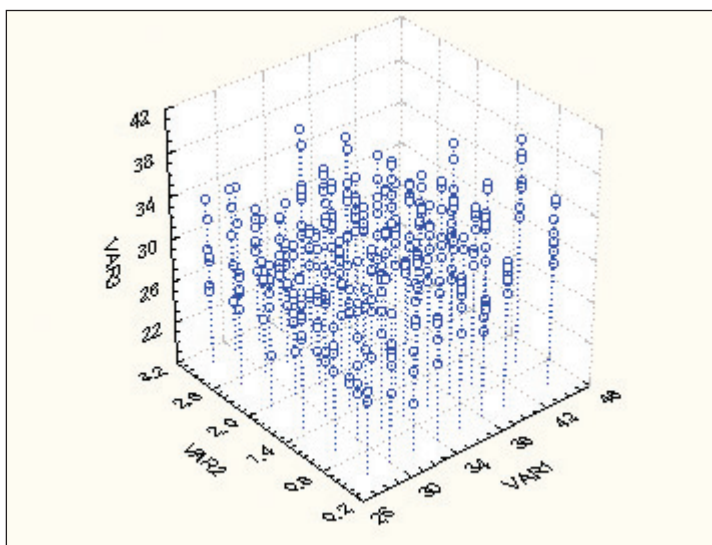
EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A statisztikai program segítségével korrelációanalízist és regressziószámítást végeztünk. A tényezők közti kapcsolat erősségét a *Pearson* korrelációs együtthatóval jellemeztük.

A mért talajellenállás értékek a 4. ábrán láthatók,

- ahol: *var1* változó az átmérőt,
var2 változó a fától való távolságot,
var3 változó a talajellenállást jelöli.

Az adathalmaz korrelációs mátrixát a 2. táblázat tartalmazza.



4. ábra: A mért talajellenállás-értékek
 Figure 4: Values of measured soil resistance

2. táblázat: A teljes adathalmaz korrelációs mátrixa
Table 2: Correlation matrix of the whole database

	átmérő [cm]	távolság [m]	talajellenállás [100 kPa]	nedvességtartalom [tf %]
átmérő [cm]	1,00	0,00	0,28	0,21
távolság [m]	0,00	1,00	-0,23	-0,19
talajellenállás [100 kPa]	0,28	-0,23	1,00	0,52
nedvességtartalom [tf %]	0,21	-0,19	0,52	1,00

A változókat páronként vizsgálva a korrelációs értékek arra utalnak, hogy vagy egyáltalán nincs, vagy csak nagyon gyenge a kapcsolat szorossága.

Ezek az értékek azonban nem zárják ki, hogy egy illesztett modell korrelációs együtthatója kedvezőbb értéket nem mutathatna.

A modell megalkotásához a fáktól azonos távolságra lévő mérési pontokon mért talajellenállás-értékeket átlagoltuk, majd a felület illesztése az átlagértékekre történt.

Az átlagértékek korrelációs mátrixát a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Az átlagértékek korrelációs mátrixa
Table 3: Correlation matrix of average values

	átmérő [cm]	távolság [m]	talajellenállás [100 kPa]	nedvességtartalom [tf %]
átmérő [cm]	1,00	0,00	0,40	0,20
távolság [m]	0,00	1,00	-0,49	-0,37
talajellenállás [100 kPa]	0,40	-0,49	1,00	0,62
nedvességtartalom [tf %]	0,20	-0,37	0,62	1,00

A felület illesztésénél a másodrendű felület egyenletéből indultunk ki, és ennek módosításával jutottunk a következő egyenlethez, melyet *Rosenbrock* és *quasi-Newton* iterációs módszerrel illesztettünk a ponthalmazra.

$$p = a_1 \cdot r^2 + a_2 \cdot d_{1,3}^2 + a_3 \cdot (r \cdot d_{1,3})^2 + a_4 \cdot d_{1,3} + a_5 \cdot r^{a_6} + a_7 \quad (2)$$

ahol: p [100 kPa]: a talajellenállás értéke,

r [m]: a fáttól való távolság,

$d_{1,3}$ [cm]: a faátmérő.

Az $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ a modell együtthatóit jelöli, melynek értékeit a 4. táblázat tartalmazza.

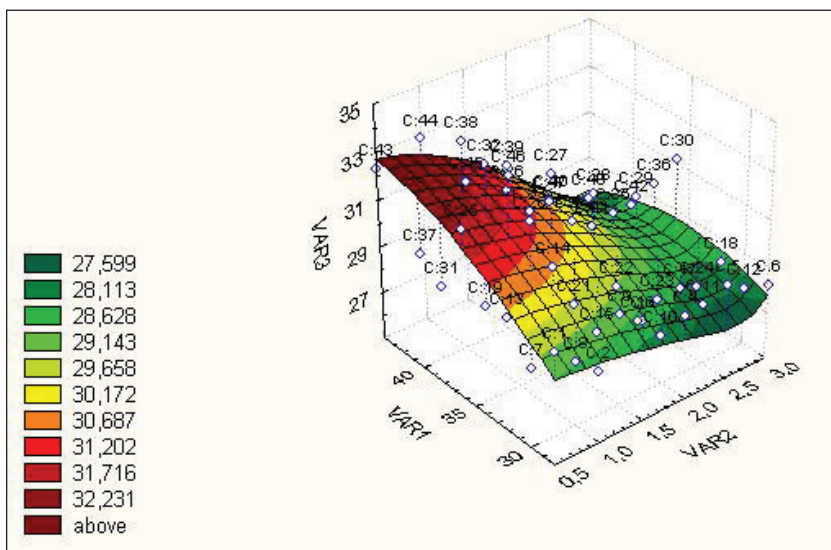
4. táblázat: A regressziós modell együtthatói
Table 4: Coefficients of the regression model

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
0,077571	-0,011850	-0,000443	1,121044	0,000002	12,53775	6,555678

A korrelációs együttható, mely a változók közti kapcsolat szorosságát jellemzi: $R = 0,72213$. Ez a mérési értékek jellege és felület illesztése miatt megfelelőnek mondható. Ennél jobb korrelációs érték csak az adatok további finomítása révén (pl. a közgazdaságtanban alkalmazott és már műszaki területen is elterjedt hármasszorzó átlagolással) érhető el.

Az alkalmazott regressziós modell fizikailag nem jellemzi a változók kapcsolatát, de megadja a változás tendenciáját, továbbá alkalmas arra, hogy segítségével interpolációt végezzünk. A kapott függvénybe helyettesítve az átmérő-, illetve a távolságtértékeket, kapjuk lépésenként a parciális függvényeket, melyek megadják az adott átmérő, illetve az adott távolság esetén a talajellenállás változását.

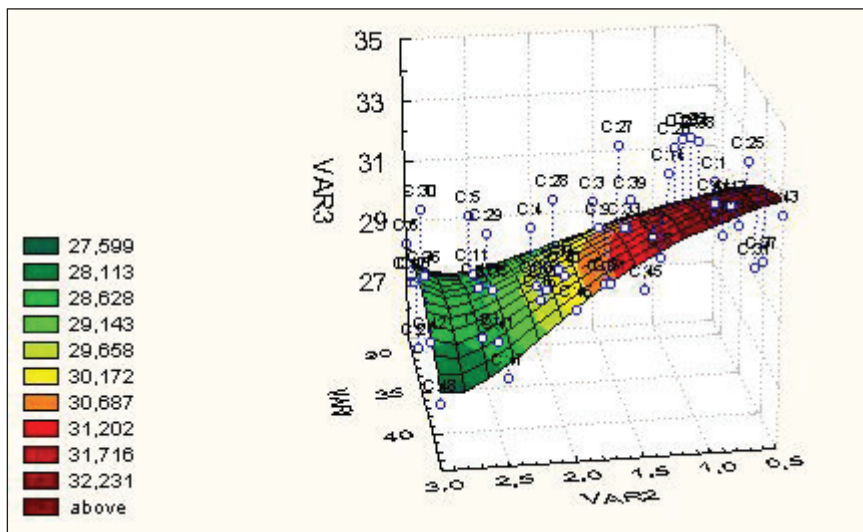
Az illesztett felület térbeli ábrázolása a pontthalmazokkal az 5. ábrán látható. A pontthalmaz, valamint a regressziós modell helyzetének bemutatására egy elforgatott helyzetű ábra is készült (6. ábra).



5. ábra: Az illesztett felület
Figure 5: Connected (fitted) surface

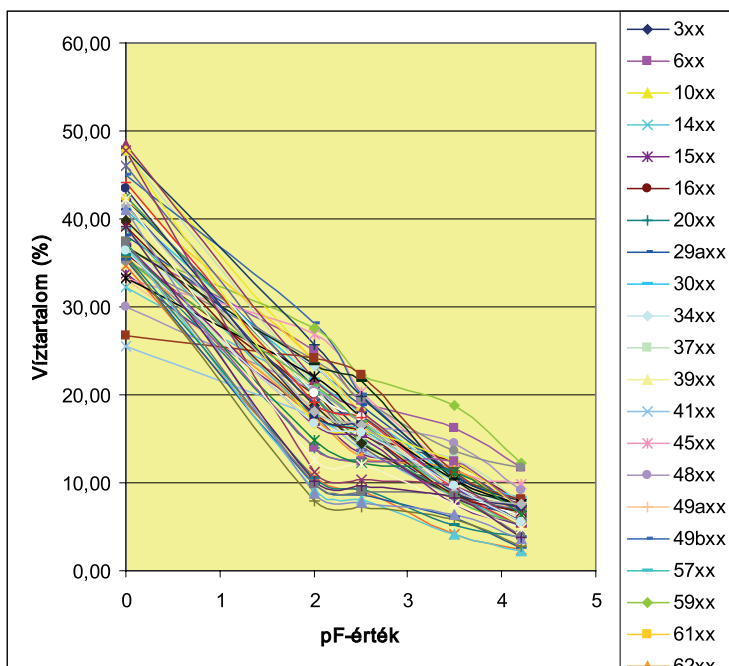
A mérési adatok alapján kimutatható, hogy a fák 1-1,5 m-es környezetében a gyökérzet hatása miatt nagyobb a talajellenállás. Kontrollterület hiányában nem tudjuk, hogy a fáktól 1,5 m-nél távolabb mért talajellenállás-értékek mennyivel nagyobbak a gyökér nélküli, ugyanilyen paraméterekkel rendelkező talajokhoz képest. Azon fák gyökérzetének hatását a talajellenállás változására nem tudtuk kimutatni, amelyek mellmagassági átmérője 30 cm-nél kisebb.

A nagyobb átmérőjű egyedek esetében sem lehetett mindig ilyen összefüggéseket találni, ez elsősorban a szabadabb állásban lévő egyedek esetében sikerült. A hektáronkénti törzsszámból egy faegyedre jutó 3 m sugarú elméleti növtér a fák véletlen elhelyezkedése miatt (a szomszédos fák hatására) sokszor jóval kisebb. Ilyen helyeken, illetve nagyobb hektáronkénti törzsszám esetén az erdőrészlet talaját egyenletesen benövő gyökerek miatt a talajellenállás viszonylag egyenletes.



6. ábra: Az elforgatott helyzetű illesztett felület
 Figure 6: Connected surface with a distorted position

A talaj pórustere nagyságának, valamint azon belül a különböző átmérotartományú pórusok arányának leírására pF-vizsgálatokat végeztünk. A pF-vizsgálatok összesített adatait a 7. ábra mutatja.

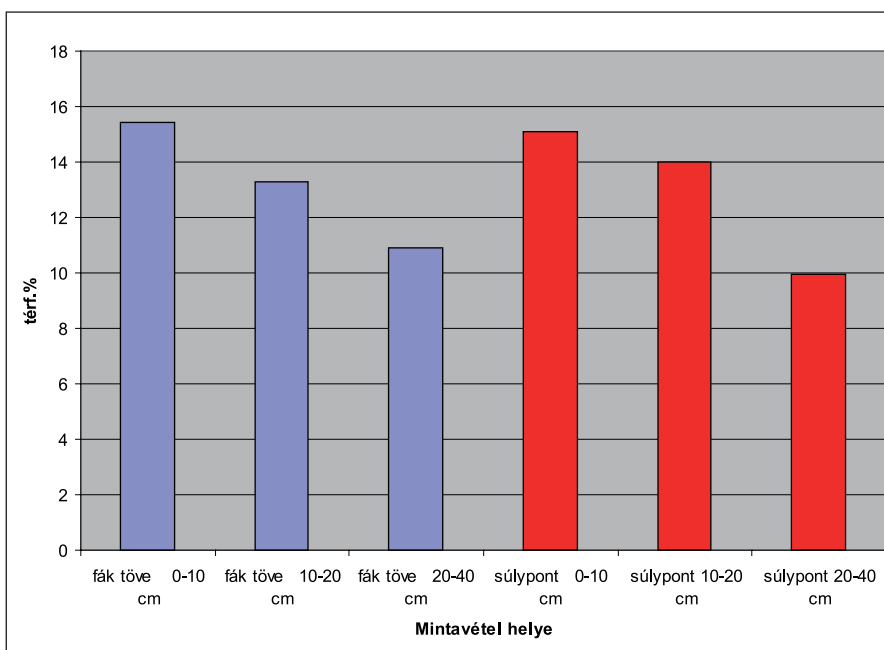


7. ábra: A talajtani vizsgálatok során nyert pF görbék
 Figure 7: The pF graphs obtained from the research of the soils

A fák közelében vett talajminták pórustere átlagosan 40,15%, 37,41% és 37,97% a 0-10 cm, 10-20 cm és 20-40 cm-es mélységekben, míg a két kontrollterület (súlypont) átlagában ugyan ezen értékek 41,21%, 34,94% és 38,42%. A térfogattömegek ugyanilyen sorrendben a fák átlagában 1,10 g/cm³, 1,22 g/cm³ és 1,21 g/cm³, a kontrollterületen pedig 1,02 g/cm³, 1,32 g/cm³ és 1,29 g/cm³.

A pórusterek nagysága a vártnak megfelelően mind a fák tövében, mind a súlypontokban a felszíntől lefelé a mélységgel csökken, míg a térfogattömegek épp ellenkezőleg, nőnek. Abszolút értékükben a talaj közepes tömörödöttségére utalnak, mind a fák tövében, mind a súlypontokban. A feltalaj lazább mivolta a feltalajban felhalmozódott szerves anyagnak és a talajállatok lazító tevékenységének köszönhető.

Az összporozításban nem mutatható ki különbség, amely azonban a pórustér átmérőeloszlásában (differenciálporozitás) megmutatkozhat. Ennek felülvizsgálatára összehasonlítottuk a diszponibilis víz számára rendelkezésre álló pórustérfogatokat (8. ábra).



8. ábra: A diszponibilis víztartalom az egyes mérési helyeken

Figure 8: The disponible (available) water content of the soil at the assigned locations

A diszponibilis (hasznosítható) víz vizsgálatával a vegetációs időszakban a növények számára felvehető víztartalmat jellemezzük. Ez a víz a kapilláris pórusterekben foglal helyet, tehát a differenciál porozitáson belül azt a pórusténagyságot mutatja, amelyből a gyökerek a talajban tárolt vizet fel tudják venni.

A felső 10 cm-es rétegben található nagyobb diszponibilis víztartalom alapvetően a finom gyökereknek és a talaj organo-minerális komplexek hatásának tudható be. Az 1 m-es talajrétegre számolt hasznosítható víztartalom 120 mm közeli, mely víztartó képesség közepesnek minősíthető.

A fák közvetlen tövétől, illetve a kontrollterületről származó minták diszponibilis víztartalma sem mutat szignifikáns különbséget. A felső 10 cm-es humuszos réteg diszponibilis víztartalma a legnagyobb, ez 15% körüli, amely a mélységgel fokozatosan csökken.

A teljes talajtani vizsgálat és a talajellenállás-mérés eredményei között látszólag ellentmondás van, mivel a talaj tömörségében nem sikerült különbséget kimutatni a fák környezetében, illetve attól távolabb. Ugyanakkor a talajellenállás-értékekben ez a különbség kimutatható. Ennek oka, hogy a talajt intenzíven behálózó gyökerek gátolják a talajdeformációt és a talaj oldalirányú mozgását a talajba hatoló szerszám előtt.

Ezek az eredmények megerősítik a próbavizsgálatok során nyert következtetéseinket, melyek szerint a fák közelében a nagyobb talajellenállás-értékeket a gyökerek okozzák.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az irodalom áttekintése alapján megállapítottuk, hogy a gyökérrel átszótt talajok fizikai-mechanikai tulajdonságai nem ismertek. Ismereteink a gyökérzet morfológiájáról, elhelyezkedéséről a talajban, elágazási sajátosságairól, növekedésének a környezeti tényezőkkel való összefüggéséről rendkívül hiányosak. Az eddig feltárt paraméterek nem adnak felvilágosítást arra, miként változik a talajnak a művelő-szerszámokkal szembeni ellenállása a benne lévő gyökerek hatására.

Vizsgálatunk közben ezért az erdei talajok mechanikai jellemzőinek megismerését tűztük ki célul. Mivel a gyökérzet elhelyezkedésének, hatásának megismerése gyökérfeltárással nagyon időigényes, ezért olyan módszert kerestünk, amellyel viszonylag gyorsan juthatunk megfelelő adatokhoz. Penetrométeres talajellenállás-mérések eredményeiből következtettünk a gyökérzet hatására.

A mérési adatokra matematikai statisztikai módszerekkel egy felületet illesztettünk, amely megadja a talajellenállás-változás tendenciáját a faátmérő és a fától való távolság függvényében. A mérési adatok és az illesztett függvény alapján kimutatható, hogy a fák 1–1,5 m-es környezetében a gyökérzet hatása miatt nagyobb a talajellenállás. Azon fák gyökérzetének hatását a talajellenállás változására nem tudtuk kimutatni, amelyek mellmagassági átmérője 30 cm-nél kisebb. A nagyobb átmérőjű egyedek esetében sem lehetett mindig ilyen összefüggéseket találni, ez elsősorban a szabadabb állásban lévő egyedek esetében sikerült.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bánházi J. 2000: A talajtömörségről. *Mezőgazdasági Technika*, 5: 6-7.
- Bánházi J. szerk. 1984: A szántóföldi munkagépek működésének elméleti alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Csiha I. és Keserű Zs. 2003: Gyökérfeltárások tapasztalatai száraz, homoki termőhelyeken. *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap kiadványa*, Kecskemét. 56-63.
- Dívós, F.; Bejő, L. and Tóth, Á. 2009: Instrument supported Tree Evaluation. *Proceedings of the 16th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood*. Published by Beijing Forestry University. pp.: 71-76



- Führer E.; Czupy Gy.; Kocsisné Antal J. és Jagodics A. 2011: Gyökérvizsgálatok bükkös, gyertyános–kocsányos tölgyes és cseres faállományban. *Agrokémia és Talajtan*. 60 (1): 103–118
- Gray, D. H and Ohashi, H. 1983: Mechanics of fiber reinforcement in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109 (3): 335-353.
- Horváth B. 1997: Tuskózás nélküli erdőfelújítási technológiák gépesítése. V. Erdészeti Szakmai Konferencia (WOOD TECH) kiadványa, Sopron. 113-118.
- Horváth B. 1998: Erdészeti gépgyártás Magyarországon. *Profi Erdőgazda*, 1: 18-19
- Kaifás F. 2006: Talajok (szemcsés anyagok) szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 299-305.
- Kárász I. 1984: Egy mérsékelt övi tölgyes cserjefajainak gyökérszerve. *Kandidátusi értekezés*, Eger. 110 p.
- Kárász I. 1986: Gyökérvizsgálatok Magyarországon. *Botanikai közlemények*, 3: 19-23.
- Köstler, J. N.; Brückner, E. und Biebelriether, H. 1968: *Die Wurzeln der Waldbäume*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Majer A. 1958: Bükk erdőtípusok gyökérszintvizsgálata. *Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Osztályának Közleményei*, 14: 117-134.
- Majer A. 1961: Gyökérösszenövés előfordulása és jelentősége. *Erdészeti Kutatások*, 57(1-3):165-186.
- Mészáros I.; Sitkei Gy. és Kégl J. 1965: A mezőgazdasági gépek vizsgálata. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 675 p.
- Rázsó I. szerk. 1958: *Mezőgazdasági gépek elmélete*. Tankönyvkiadó, Budapest. 471 p.
- Sitkei Gy. 1967: A mezőgazdasági gépek talajmechanikai problémái. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 192 p.
- Sitkei Gy. 1981: A mezőgazdasági anyagok mechanikája. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 462 p.
- Sitkei Gy. 1986: Mezőgazdasági és erdészeti járművek modellezése. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 86 p.
- Sitkei, Gy. 1991: Compaction of agricultural soils with viscoelastic behavior under confined and conditions. *Proceedings of 5th European Conference of the ISTV*, Budapest. 257-264.
- Szőllősi I; Kovács, Z. és Bíró D 2004: Agyagtalajok penetrációs értékei. MTA Agrár-műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 28, 1:134-138.
- Ziemer, R. R 1981: The role of the vegetation in the stability of forested slopes. *Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress, Kyoto, Japan*. Vol. I. 297-308.

*Érkezett: 2011. május 10.
Elfogadva: 2012. szeptember 3.*