

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM

Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola

Erdészeti műszaki ismeretek Program

TUSKÓS TERÜLETEK TALAJ-ELŐKÉSZÍTÉSÉNEK GÉPESÍTÉS-FEJLESZTÉSE

Doktori (PhD) értekezés

Készítette:

Major Tamás

okleveles erdőmérnök, mérnök-tanár

Témavezető:

Prof. Dr. Horváth Béla

intézetigazgató, egyetemi tanár

Sopron

2014.

TUSKÓS TERÜLETEK TALAJ-ELŐKÉSZÍTÉSÉNEK GÉPESÍTÉS-FEJLESZTÉSE

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-magyarországi Egyetem Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási
Tudományok Doktori Iskolája
Erdészeti műszaki ismeretek programja keretében

Írta:
Major Tamás

Témavezető: Prof. Dr. Horváth Béla

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el.

Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján % -ot ért el.

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....
Az EDHT elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

1. A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA, A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSE	6
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
2.1 Erdei talajok tulajdonságai	9
2.1.1 A talajok mechanikai tulajdonságai	9
2.1.2 A fák gyökérzete és a talajjellenállás kapcsolata	15
2.2 Talajvizsgálatok.....	21
2.2.1 Talajjellenállás	21
2.2.2 Gyökérfeltárás	22
2.3 Talaj deformációja vágáskor	25
2.4 Végeselem-módszer	28
3. TUSKÓS TERÜLETEKEN ALKALMAZOTT TALAJ-ELŐKÉSZÍTŐ GÉPEK KONSTRUKCIÓS ÉS ÜZEMELTETÉSI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA.....	32
3.1 Bevezetés.....	32
3.2 Pásztás talaj-előkészítők.....	32
3.3 Foltos talaj-előkészítők.....	43
3.4 Tányéros (fészkes) talaj-előkészítők	45
4. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK, A KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI	48
4.1 Próbavizsgálatok a kísérleti módszer kidolgozásához	48
4.2 Erdei talajok talajfizikai jellemzőinek meghatározása	54
4.2.1 Kúposindex mérés eredményei	54
4.2.2 Teljes talajtani vizsgálat eredményei	60
4.3 Forgó késrendszerű talajművelő szerszámok elemzése	65
4.3.1 Mozgás- és erőtani elemzés	65
4.3.2 Forgó szerszám munkaminőségének értékelése.....	66
4.3.3 Forgó szerszám kinematikája	67
4.3.4 Forgó szerszám numerikus analízise	70
5. ÖSSZEFOGLALÁS.....	78
6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI.....	81
7. A KUTATÁS JÖVŐBENI IRÁNYAI.....	83
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	84
KIVONAT	85

ABSTRACT	86
IRODALOMJEGYZÉK	87
MELLÉKLETEK	94

1. A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA, A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSE

Magyarország adottságai közt eredményes erdőfelújítást végrehajtani a területek többségén csak megfelelő minőségű talaj-előkészítést követően lehet. Az erdőfelújítási technológiákon belül a két legköltségesebb művelet a terület-előkészítés és a talaj-előkészítés. (Az erdősítésekkel kapcsolatos költségeknek országos átlagban mintegy 50 – 60 %-a esik a talaj-előkészítésre (Horváth, 1997; Horváth, 2003)). A terület-előkészítés központi tevékenysége a tuskózás, amelyet ahol lehetséges, mellőzni szeretnénk. Ezt kívánja a természetközeli szemlélet is. Ez akkor történhet meg, ha kialakulnak a tuskós területek talajművelésének technikai megoldásai. Az elmúlt években – a költségtakarékosságra törekvés érdekében – egyre nagyobb hangsúlyt kapott a tuskós területek talajművelését biztosító műszaki megoldások fejlesztése. A téma jelentőségét mutatja az is, hogy a 2000. évi erdőtervi előírás szerint az erdőfelújításra kerülő területeknek csak 23,22 %-án történik tuskózás.

A korábban készült talajművelő szerszámok gyakorlati tapasztalatok alapján készültek, ezek vizsgálata, elméletének leírása nagyjából hiányzik (Horváth, 1998). Részeredmények bizonyos szerszámokra vonatkozóan születtek, de ezek nagyon szűk körűek (Czupy et. al. 1998; Mouazen - Neményi - Horváth, 1998).

A mezőgazdaságban a gépvizsgálat ma már fontos része új mezőgazdasági gépek tervezési és fejlesztési munkálatainak. A vizsgálati eredmények megmutatják a gép használhatóságát, a munka minőségét az adott körülmények között, az esetleges működési hibákat és szerkesztési hiányosságokat. A kísérleti eredmények támpontul szolgálnak hasonló típusú új gépek szerkesztéséhez, és a meglévők továbbfejlesztéséhez is.

Ezen vizsgálatok ugyanakkor lehetőséget biztosítanak, hogy a gépfejlesztők és üzemeltetők kellő információval rendelkezzenek, lényegesen megkönnyítve, illetve meggyorsítva ezzel a gépek működésével járó kisebb-nagyobb nehézségek megoldását (leküzdését), és alapvetően hozzájárulnak a gépek szakszerű, energiatakarékos, gazdaságos üzemeltetéséhez.

Az elméleti ismeretek alapján tervezett és gyártott gépek módosítása, az adott körülményekre és viszonyokra adaptálása, csak az elméleti ismeretek birtokában lehetséges. A gépekre ható erők és igénybevételek ismerete nélkül szakszerű javítás sem képzelhető el.

Cél, hogy a gépek a legnagyobb teljesítménnyel, optimális minőségi mutatókkal és ugyanakkor a legkisebb energiafelhasználással legyenek üzemeltethetők.

Az elméleti alapok ismerete lehetővé teszi, hogy a gépek művelő eszközeinek, szerszámainak méreteit, elrendezését, esetleg fordulatszámát, vonó- és hajtóerő-szükségletét, teljesítményigényét és egyéb műszaki jellemzőit úgy határozzuk meg, illetve alakítsuk ki, hogy ezen kívánalmaknak megfeleljenek.

Egy új szerszámnak a megjelenését többéves – szántóföldön és laboratóriumban végrehajtott – kísérletek előzik meg. A szerszám és a talaj kapcsolatának modellezésével lehetővé válik a fejlesztés idejének és költségének jelentős csökkentése. A nagyteljesítményű számítógépek gyors fejlődésének és a numerikus eljárásoknak köszönhetően ma már lehetőség van ezen modellezések elvégzésére. Korábban a számítástechnikai háttér hiányában a nagy számú változók figyelembevétele, a nagy tömegű számítások elvégzése szinte lehetetlenné tette ezen összefüggések feltárását. Ez ma már a végeselem-módszeren alapuló számítástechnikai modellező programokkal megoldható.

Míg a legfontosabb mezőgazdasági gépek működésének elméleti alapjait már többnyire leírták (*Bánházi*, 1984; *Bánházi - Koltay - Szendrő - Véner*, 1978; *Rázsó*, 1958; *Sitkei*, 1986; *Sitkei*, 1991), az erdőgazdálkodásban használt gépek többségére ilyen összefüggések nem állnak rendelkezésre. Ugyanakkor a mezőgazdaságban használt gépek nem mindig adaptálhatók az erdőgazdálkodás sajátos körülményei miatt.

Nemcsak a korábban, gyakorlati tapasztalatok alapján készült talajművelő szerszámok vizsgálata, elméletének leírása szükséges, hanem a megjelenő új gépek, géptípusok vizsgálata is. Ezek egyre bonyolultabbak, újabb elméleti összefüggések feltárását, azok finomítását követelik.

Természetesen a vizsgálatoknak nemcsak a gép munkájának minőségére, megbízhatóságára kell kiterjedniük, hanem a géppel kölcsönhatásban lévő talaj fizikai-mechanikai tulajdonságaira is (*Mészáros - Sitkei - Kégli*, 1965). A gépek működésének, elméleti alapjainak megismeréséhez nélkülözhetetlen a talajmechanika megfelelő ismerete, hiszen a legtöbb erdészeti és mezőgazdasági gép kapcsolatban van a talajjal: egy részük közvetlenül a talajt munkálja meg, az erőgépek pedig a talajon közlekednek. Miközben a talajművelő gépek a talaj fizikai tulajdonságait megváltoztatják, azok a munkaeszközre is visszahatnak.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a talaj-előkészítő gépek fejlesztése a talajok és azok jellemzőinek ismerete nélkül nem képzelhető el.

A talaj-gép kapcsolatának modellezésénél a nehézséget elsősorban a talaj számítógépes modelljének felépítése jelenti. A talaj egy olyan összetett és bonyolult rendszer,

amelynek pontos leírása nem lehetséges csupán pár egyszerű jellemző segítségével. A talajok bonyolult szerkezeti felépítése és inhomogenitása nagyon megnehezíti azok általános mechanikai törvényszerűségeinek 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 általánosíthatóak korlátozás nélkül (Kaifás, 2006).

Néhányan úgy tekintenek a termőtalajra, mint egy nemlineáris elasztikus anyagra, míg mások elasztikus, plasztikus nemlineáris rendszernek tekintik (Mouazen, 1997; Mouazen - Neményi, 1996; Mouazen - Neményi, 1998). Emellett a talaj viszkoelasztikus tulajdonsága is nagyon fontos.

Erdőterületen további problémát okoz a gyökerek és tuskók jelenléte. A gyökerek jelenléte a talaj szilárdságát ugyanis jelentősen megnövelheti. A talajellenállás és nedvességtartalom összefüggése a tuskós területekre vonatkozóan teljesen ismeretlen, ezért fontosak az ilyen irányú vizsgálatok is.

Tuskós területek talajművelésére alapvetően speciális (hátrahajló élű) mélylazítókat, nehéztárcsákat alkalmaznak, amelyeket célirányosan erre a területre fejlesztettek. Az utóbbi időben jelentek meg a speciális tárcsalevelű hajtott tárcsák, illetve a speciális kialakítású forgó rendszerű pásztakészítő gépek. Ezekre jellemző, hogy élkialakításuk következtében képesek a tuskókon, köveken való áthaladásra a gép szerkezeti részeinek károsodása nélkül. Ugyanakkor – mind tudományos alapok nélkül – a gyakorlati tapasztalatokra építve kifejlesztett szerszámok, elméletük leírása hiányzik.

A kutatási munka elkezdésekor a következő célokat tűztem ki:

- a magyar erdőgazdálkodásban a tuskós területek gépesítési helyzetének felmérése;
- erdei talajok talajmechanikai jellemzőinek meghatározása;
- a gyökérzet talajellenállásra gyakorolt hatásának vizsgálata;
- speciális kialakítású forgórendszerű pásztázógép (BPG-600) munkaminőségének vizsgálata, mozgás- és erőtan elemzése;
- forgó késrendszerű talajművelő szerszámok elemzése, modellezése.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Erdei talajok tulajdonságai

2.1.1 A talajok mechanikai tulajdonságai

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 talajban ásványi és szerves anyagok egyaránt megtalálhatók. A szerves anyag általában nem több 1 – 4 %-nál, erdőtalajokon azonban a felszíni réteg nagyobb mértékben feldúsulhat. Ez a réteg hazánkban ritkán haladja meg az 5 – 6 cm-t (Horváth, 2003).

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).

A talaj fizikai jellemzői közé többek között a szöveti és szerkezeti tulajdonságok tartoznak. A talajok mechanikai viselkedése alatt azt értjük, hogy egy adott erőhatásra (nyomóerő, nyíróerő) a talaj milyen és mekkora deformációval válaszol. A mezőgépezet szempontjából a mechanikai tulajdonságok a legfontosabbak.

A talajok bonyolult szerkezeti felépítése és inhomogenitása nagyon megnehezíti azok általános mechanikai törvényszerűségeinek 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 általánosíthatóak korlátozás nélkül. Ráadásul a szerkezeti állapot a kísérletek folyamán megváltozhat a deformáció következtében (Laib, 2002; Sitkei, 1986).

Sitkei elsődleges és másodlagos mechanikai jellemzőket különböztet meg (Horváth, 2003). Az elsődleges mechanikai tulajdonságok:

- a súrlódási tényező;
- a belső súrlódási tényező;
- a kohézió és
- a viszkoelasztikus és plasztikus jellemző.

A másodlagos (alkalmazott) mechanikai jellemzők:

- a teherbírási tényező;
- a talaj tömörödése normál feszültség hatására;
- a szerszámellenállás és
- a talajtörés (aprítás) fajlagos energiaszükséglete.

A mechanikai tulajdonságokat befolyásoló tényezők:

- a talaj típusa, szemcseösszetétele;
- a nedvességtartalom és
- a térfogatsúly vagy porozitás.

A **súrlódási tényező** változásának törvényszerűségei lényegesen befolyásolják a talajban mozgó szerszámok erőjátékát. Talajművelés szempontjából az acél-talaj közötti súrlódási szög, valamint a talaj belső súrlódási szöge a fontos.

A talaj és szerszám közötti súrlódás a különböző nedvességtartalom következtében nagyon komplikált folyamat, s a Coulomb-féle törvény ($F_S = \mu \cdot F_N$) csak meghatározott talajnedvesség tartományban érvényes. A μ súrlódási tényező számos változó, a talaj nedvességtartalmának, a súrlódási út hosszának, a felületi nyomásnak, a felület érdességének és adhéziós tulajdonságának, a talaj összetételének és szerkezeti állapotának függvénye. A leglényegesebb a nedvességtartalom, amelynek függvényében különböző súrlódási törvényszerűségek lépnek fel:

- száraz talajoknál tiszta súrlódás valósul meg (Itt a súrlódási tényező értéke független az érintkezési felület nagyságától, a felületi nyomástól és a csúszás sebességétől, csak a szerszám anyagától és annak felületi minőségétől függ.);
- „normál” talajnedvesség esetén a csúszás az ún. adhéziós fázisban folyik (A súrlódási tényező valamennyi ható tényezőtől függ valamilyen mértékben.);
- nedves talajoknál, ha a nedvességtartalom elég nagy, akkor a súrlódás a kenési fázisban zajlik le (Ilyenkor a talaj és a vele érintkező szerszám között összefüggő folyadékfilm alakul ki, amelynek kenő hatása következtében a súrlódási tényező csökken. Ekkor a súrlódási tényező a víztartalom, a felületi nyomás, a csúszási sebesség és a szerszámfelület minőségének függvénye.).

Általánosságban megállapítható, hogy a felületi nyomás függvényében általában nem változik lényegesen a μ értéke, kivéve a nagy nedvességtartalmú agyagtalajokat. Ez utóbbiaknál a felületi nyomás növekedésével viszont csökken. A nedvességtartalom növekedésével a μ értéke mind kevésbé függ a súrlódási úthossztól. Agyagtalajoknál egy adott nedvességtartalom felett a μ értéke jelentősen csökken, míg homoktalajoknál a változás kismértékű. A csúszás sebességének növekedésével pedig a súrlódási tényező észrevehetően csökken (Kézdi, 1977; Sitkei, 1967).

A szerszám és talaj közötti súrlódási tényező homokos talajon 0,50 – 0,55 között, vályog és agyagtalajoknál 0,60 – 0,65 között változik (Horváth, 2003).

A talajok **belső súrlódási tényezője** (belső súrlódási szöge) szintén számos tényező függvénye, mint pl. a nedvességtartalom, a felületi nyomás, a súrlódási út hossza és a talaj szerkezeti állapota. Értéke a nedvességtartalom növekedésével homoktalajon kevésbé, vályogtalajon észrevehetően növekszik. Homokos talajok belső súrlódási tényezője mindig lényegesen kisebb. A talaj belső súrlódási szöge a talaj-szerszám közötti súrlódási szögnél mindig nagyobb, ez utóbbi a belső súrlódási szög 50 – 80 %-a.

A belső súrlódási tényező a talaj nyírásakor alapvető szerepet játszik az alábbi összefüggés szerint:

$$\tau = \mu_i \cdot \sigma + c, \quad (1)$$

ahol: τ : a nyírófeszültség [N/m²],
 μ_i : a belső súrlódási tényező,
 σ : a nyomófeszültség [N/m²],
 c : a kohézió [N/m²].

A **kohéziót** döntően a nedvességtartalom, a porozitás és az agyagtartalom befolyásolja. Fellazított talaj kohéziója kicsi, az ülepedés folyamán jelentősen nő. A kohézió erősen csökken a nedvességtartalom növekedésekor (Sitkei, 1972).

Egyes kutatók a kötött talaj kohézióját két részre osztják: az ún. valódi és látszólagos kohézióra. A valódi kohéziót az egyes szemcsék közötti molekuláris vonzás okozza, a látszólagos kohézió pedig a kapilláris feszültség következménye (Kézdi, 1977).

A homoktalajok kohéziója kicsi, értéke a humusztartalomtól függ. Nedves és tömörített talajállapotnál maximum: $c = 0,1 - 0,2 \text{ N/cm}^2$. A futóhomok-talajok kohéziója gyakorlatilag zérus. Az ilyen kohézió nélküli talajokat súrlódásos talajoknak nevezzük (Sitkei, 1967; Sitkei, 1972; Sitkei, 1986).

A talaj egyik legfontosabb mechanikai jellemzője a függőleges **teherbíró képesség**, amely az ellenállás változását írja le a függőleges deformáció függvényében.

A talaj teherbíró képességét legtöbbször kör alakú nyomófejekkel vizsgáljuk, és a talajnyomás-besüllyedés kapcsolatát a *Szaakjan*-formulával jellemezzük:

$$p = k \left(\frac{z}{d} \right)^n, \quad (2)$$

ahol: p : a talajnyomás [Pa],

k : a talaj alakváltozási tényezője [N/m^2],

z : a talajbesüllyedés mélysége [m],

d : a nyomófej átmérője [m],

n : a talajtól függő konstans.

Több kutató is foglalkozott a talajnyomás-besüllyedés kapcsolatával (pl. *Gerstner, Gorjacskin, Bekker, Reece*), mindegyikük más-más függvénnnyel közelítette a talajnyomást. Az általuk talált összefüggések közül a legáltalánosabb érvényű a *Szaakjan*-képlet, amely mind a homok-, mind a vályogtalajokra jól alkalmazható (*Kiss, 2001*).

A teherbíró képességet döntően a talaj pórushányada, illetve térfogatsúlya befolyásolja. Tömött talajok esetén a pórushányad 30 – 40 % körüli, nagymértékű lazítással a pórushányad 60 %-ig is növelhető, azonban nem tartósan. Rövid ülepedési idő után a pórushányad általában 45 – 52 % között változik (*Laib, 2002; Sipos, 1972; Sitkei, 1967; Komándi, 2010*). A talajok összenyomásakor a pórushányad erősen csökken, s annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a talaj nedvességtartalma (*Sitkei, 1967*).

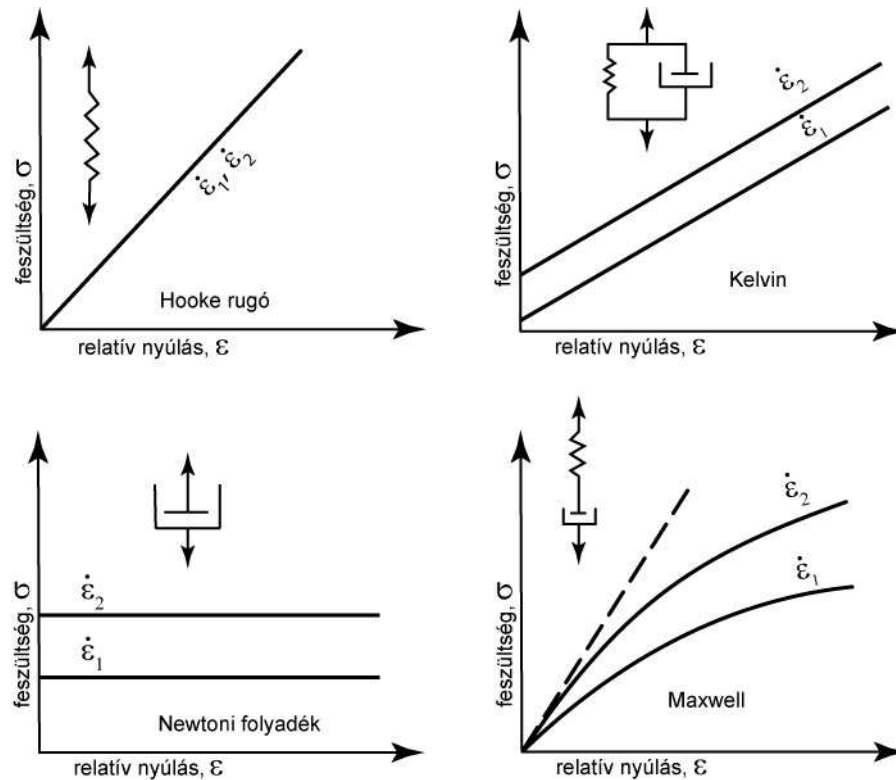
A talaj tömörödésének mértéke a terhelés sebességétől is függ, minél lassúbb az összenyomás, annál nagyobb értékű lesz a tömörítés. Ez a jelenség a talajok **viszkoelasztikus tulajdonságaival** magyarázható (*Sitkei, 1972; Sitkei, 1986*). A viszkoelasztikus anyagok részben a szilárd testek, részben pedig a folyadékok tulajdonságaival rendelkeznek (*Sitkei, 1981*).

A viszkoelasztikus anyagok viselkedését rugalmas és viszkózus elemekből felépített modellek segítségével vizsgálhatjuk. A rugalmas anyagok viselkedése a rugóéhoz, míg a folyadék viselkedése a hidraulikus csillapító elemhez hasonlítható. A rugó a *Hooke*-törvényt

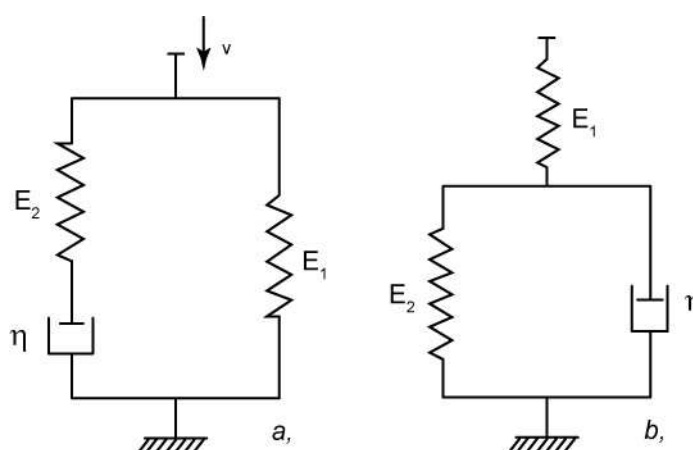
($\frac{\sigma}{\varepsilon} = E$), a csillapító elem pedig a Newton-törvényt ($\frac{\sigma}{\dot{\varepsilon}} = \eta$) követi. Kézenfekvő, hogy a

viszkoelasztikus anyagok viselkedését a rugó és a csillapító elem valamilyen kapcsolódási kombinációjával közelítsük meg. Az így kapott mechanikai modelleket rheológiai modelleknek is nevezzük. A rugó és a csillapító elem két legegyszerűbb kombinációja a soros és a párhuzamos kapcsolás: a *Maxwell*- és a *Kelvin*-modell (1. ábra). A legegyszerűbb kételes *Maxwell*- és *Kelvin*-modell sok esetben nem alkalmas az anyagok viszkoelasztikus

tulajdonságainak megfelelően pontos jellemzésére. A *Kelvin*-modell és egy rugó soros kapcsolásából, illetve a *Maxwell*-modell és egy rugó párhuzamos kapcsolásából adódó háromelemes modellek ugyanakkor sok esetben jól alkalmazhatók (2. ábra).



1. ábra. A legegyszerűbb rheológiai modellek és azok jelleggörbéi



2. ábra. Háromelemes modellek

A 2.a. ábrán látható háromelemes modell viselkedését az alábbi differenciál-egyenlet írja le:

$$\sigma = E_1 \varepsilon + T(E_1 + E_2) \frac{d\varepsilon}{dt} - T \frac{d\sigma}{dt}, \quad (3)$$

ahol: σ : a feszültség,

ε : a relatív nyúlás,

$T = \frac{\eta}{E_2}$: a relaxációs idő.

A 2.b. ábrán látható háromelemes modell viselkedését pedig az alábbi differenciálegyenlet:

$$T \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = E_1 T \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \varepsilon, \quad (4)$$

ahol: σ : a feszültség,

ε : a relatív nyúlás,

$T = \frac{\eta}{E_1 + E_2}$: a relaxációs idő.

Az egyszerű háromelemes modell csak viszkoelasztikus tulajdonságok leírására alkalmas és csak rövid idejű terhelésekre. Több *Kelvin*-elem sorba kapcsolásával hosszabb idejű terhelés, illetve kúszás és relaxáció is leírható. A plasztikus deformáció csak súrlódásos elemek alkalmazásával írható le (*Laib*, 2002).

Az anyagok viszkoelasztikus hatása abban áll, hogy a feszültség-deformáció összefüggés az időtől is függ. Ezért nem mindegy, hogy a talaj terhelése, illetve tehermentesítése gyorsan vagy lassan történik. Ezeket a jellemzőket a relaxációs és a tartósfolys görbékkel jellemezzük. Ezen görbékből meghatározhatók a választott modell elemei.

A mechanikai modellek elektromos modellekkel is helyettesíthetők. Az elektromos modellben a rugót a kapacitással, míg a csillapító elemet ellenállással kell helyettesíteni.

A nedves átázott talajok egyik jellegzetes tulajdonsága a **plasztikus viselkedés**. Ez azt jelenti, hogy a deformáció döntően maradó deformáció, gyakorlatilag térfogatváltozás nélkül. Ez a viselkedés azzal magyarázható, hogy a nedves talajban kevés a levegő, a pórusokat víz tölti ki. A talaj ilyenkor gyakorlatilag nem tömöríthető.

Bonyolultabb anyagtörvények és terhelési esetek nem teszik mindig lehetővé az előbbieken ismertetett modellek alkalmazását. A feszültség és a deformáció közötti összefüggések integrál alakban is kifejezhetők, s ez a módszer – használhatóságát tekintve – univerzálisabb. Az anyagok nem-linearitása elsősorban az integrál alakú összefüggésekkel

vehető figyelembe.

Reece (1983) szerint a lehetséges talajállapotokat figyelembe véve, legalább három matematikai modellre van szükség ahhoz, hogy leírjuk valamennyi talaj viselkedését a terhelés hatására. Ezek a modellek:

- a *Coulomb-Mohr* féle modell;
- az összenyomható, képlékeny talaj modellje és
- a rugalmas talaj modellje.

A *Coulomb-Mohr* féle modell kisebb nyomáshatárok között deformálódó kötött és közép-kötött állapotú, tömörebb talajokon alkalmazható. Amennyiben a talaj terhelése nyomán beáll egy adott feszültségi szint, a talaj ferdén elreped, meghatározott nyírósíkok mentén.

Az összenyomható, képlékeny állapot modellje a laza talajoknál alkalmazható, széles határok között változó terhelés mellett. Leír egy fokozatosan növekvő tömörödési folyamatot, amelynek a vége képlékeny folyás, állandó térfogat és nyírófeszültség mellett (kritikus állapot).

A rugalmas modell tömörödött és viszonylag kis nyíróerőkkel terhelt talajoknál alkalmazható.

A modellek egyes esetekben követik a terhelés-változás valóságos viszonyait, de általában a valóság leegyszerűsített leírását adják. Alkalmazásuk ezért megfontolást kíván.

Reece munkatársai, Schofield, Rescoe és Wroth kidolgozták a „kritikus állapot” mechanikáját, amely kimutatja, hogy a fenti 3 matematikai modell közül melyik alkalmas az adott viszonyok leírására (Kománcsi, 1989).

2.1.2 A fák gyökérzete és a talajjellenállás kapcsolata

Ismereteink a gyökérzet morfológiájáról, elhelyezkedéséről a talajban, elágazási sajátosságairól, növekedésének a környezeti tényezőkkel való összefüggéséről rendkívül hiányosak (Kárász, 1984a; Kárász, 1986c).

A növények gyökérzetéről rendelkezésre álló adatok többsége lágyszárú növényekre vonatkozik. A fásszárúak gyökérzete kevésbé ismert, ami részben a gyökerek vizsgálatának munkaigényességével és bonyolultságával, részben pedig azzal magyarázható, hogy a fák gyökerei nem képviselnek kereskedelmi értéket (Keresztesi, 1969). Ezt a hiányt igyekeznek pótolni Führer és munkatársai, akik egy bükkös, egy gyertyános-kocsányos tölgyes és egy cseres faállományban végeztek gyökérfeltárást a gyökerek horizontális és vertikális kiterjedésének fafajonkénti értékeléséhez (Führer et al., 2011).

Elterjedt nézet, hogy a gyökerek elhelyezkedése, mennyisége, mérete elsősorban faji tulajdonság, de nagyban befolyásolja a talaj minősége, illetve a szomszédos fák elhelyezkedése is. Ugyanakkor az erdészek körében *Pfeil* (1860) nyomán régen elterjedt az a felfogás, hogy egy fafaj gyökérzete különböző termőhelyen nagyobb változatosságot mutat, mint különböző fafaj gyökérzete ugyanazon a termőhelyen (*Majer*, 1968). E felfogás azt tükrözi, hogy a gyökérzet fiziognómiája jobban függ a környezeti feltételektől, mint a faj genotípusától. Bár e kérdéssel rendkívül kevés forrásmunka foglalkozik, fenti nézetnek hangoztatói és ellenzői egyaránt akadnak.

Majer (1968) szerint, ha a fafajok gyökérzetét vizsgáljuk, megállapíthatók azonos talajviszonyok mellett is a különbségek. Példaként egy agyagbemosódásos barna erdőtalajon tenyésző bükkös fajainak gyökérzetét említi. A mezei juhar gyökérzete főleg a humuszsztintet, a bükké pedig a felhalmozódási szintet szövi át. Azonos körülmények között tehát más-más típusú gyökérrendszer fejlődik a különböző fafajoknál.

Általánosnak mondható az a vélemény, amely szerint a genetikailag kódolt sajátságok a fásszárúak gyökérzeténél csupán fiatal korban érvényesülnek. Később a környezeti tényezők, a termőhely adottságai határozzák meg elsősorban a gyökérzet fiziognómiai szerkezetét (*Köstler et. al.*, 1968).

Többek szerint a termőhely adottságai közül a nedvesség az egyik legfontosabb talajsajátosság, ami a fiziognómiai szerkezetet befolyásolja. A vertikális és horizontális szállító gyökerek növekedési iránya is főleg a talajnedvességtől függ.

Az egyes fafajok gyökérrendszerének megismerését jelentősen segítették a Nemzetközi Biológiai Program (IBP) kutatások, amelyek eredményeként ismertté vált a legfontosabb fafajok gyökérzetének szerkezete és tömege (*Kárász*, 1984a; *Keresztesi*, 1969).

A témával ugyanakkor nagyon kevés hazai irodalom foglalkozik. Fák gyökérzetének teljes vagy részleges kibontására elsősorban az erdészeti termőhely-feltárások alkalmával került sor. E munkákban általában egy, esetleg néhány egyed megfigyelése alapján főleg a fák gyökérzetének vertikális kiterjedésére és a gyökérrendszer alakjára közölnek adatokat.

A fásszárú növények gyökérzetének felépítésével, a gyökérrendszerek csoportosításával, osztályozásával számos szerző foglalkozik. Ezek egy része bonyolult, nehezen áttekinthető. Célszerűen a fák gyökérzeténél három alapvető típust különböztetünk meg: szív-, bojtos- és karógyökérzetet. Ezen alapvető típusok azonban a különböző környezeti hatások következtében módosulhatnak, a környezet adottságaihoz idomul(hat)nak, így különböző formát felvevő gyökérzet jöhet létre.

Általában a lombhullató fák – az erősen elágazó, hajszálgyökerekben gazdag gyökérrendszerükkel – a túlevelűeknél sokkal intenzívebben átszövik a talajt. *Leibungut* (1963) szerint a túlevelűek képtelenek a vályogrétegbe belenőni, de a vályog zsugorodási repedéseit követni tudják. Ezzel szemben a lombos fajok gyökerei a vályogos réteget át tudják nőni, bár a különböző fajok tetemes különbséget mutatnak az átnövési sebességben (kocsányos tölgy esetében 19,4; mézgás égernél 21,5; és gyertyánnál 29,3 nap alatt növi át a gyökérzet a 10 cm-es vályogréteget).

A tömörödött szerkezetű megfelelő nedvességtartalmú agyagtalajba a különböző növények gyökerei könnyebben behatolnak, mint a tömörödött homokba, illetve a tömött durvahomokba (legkönnyebben a homok és agyag keverék gyökeresedik be).

Köves-sziklás váztalaj a fák gyökerei számára csak akkor hozzáférhető, ha mélyebb repedésekkel teletűzdelt, melyek beiszapolt agyaggal telítettek és védett nedvességtartalékkal rendelkeznek. A lejtőhordalék talajokon jól elkülönülő szemcseeloszlásnál a legtöbb fafaj mélyen gyökerezik. A pszeudoglejes talajok, ha erősebb nyári kiszáradás éri őket (ekkor kőkemények ezek a talajok), nem csak a hosszirányú, hanem a vastagsági növekedést is akadályozzák. A luc-, és simafenyő az ilyen termőhelyeken sekély gyökérzetet fejleszt rövid, gyakran elhalt ágakkal.

A fák az alacsonyabb termőhelyi osztályú állományokban nagyon fejlett gyökérzetet alakítanak ki, hogy a szűkösen rendelkezésre álló tápanyagokat és vizet fel tudják venni.

Magyar (1929) szikes talajokon végzett vizsgálatai során az egyes fafajok gyökérzetét a talajminőségi osztályok szerint csoportosítva tárgyalta.

Kárász (1997) kutatásai szerint az alapkőzet – s az általa determinált talaj tulajdonságai – szintén szerepet játszik a gyökérzet fiziognómiai szerkezetére. Megállapította, hogy a 80 – 86 éves bükk gyökérrendszere andezit alapkőzeten szabályos tányéreloszlást mutat. Felszívó zónája (a vékony gyökerek 2/3-ad része) 30 – 70 cm-es mélységben, a törzstől 2 – 3 méter távolságra található. Gyökerei sajátos lapos, korong alakú képleteket alkotnak és mintegy ráülnek a talajban található kisebb-nagyobb kődarabokra. A támasztást szolgáló vastag gyökerek radiálisan rendeződnek, többé-kevésbé azonos hosszúságúak. Tipikus főgyökér nincs. A szétterjedés általában a törzstől 3 – 3,5 méternyi, a maximális behatolás 70 – 90 cm közötti. Mészkövön a bükk inkább a szakirodalomban közölt szív alakú gyökérrendszerrel rendelkezik.

Majer (1958, 1968) bakonyi, barna erdőtalajon tenyésző bükkösök gyökérrendszerét vizsgálta. Megállapította, hogy a bükk fiatal korban tipikus főgyökér-rendszerrel rendelkezik,

10 éves korban azonban már tökéletesen elkülönül a horizontális és a vertikális gyökérzete. 20 éves korban megáll a főgyökér növekedése és a vízfelvételt az erősen növekedő másodlagos vertikális gyökerek végzik. 40 éves kor körül a bükknél a rá jellemző szívgyökérzet figyelhető meg. A gyökérmennyiség két kiugró csúcsot mutat, az egyik a 0 – 5 cm-es talajrétegben, a másik pedig 90 – 120 cm mélységben. Vizsgálatai igazolják azt a feltevést, mely szerint erdőállományban a rudas korban kezdődik el az igen erőteljes gyökérzet kialakulása. A gyökérzet vastagodásával és sűrűsödésével az érintkező gyökerek nagy nyomást fejtenek ki egymásra és gyökérösszenövés alakul ki.

Az egyes fajok gyökérzetének jellemzését, számos könyv és jegyzet tartalmazza, ezért részletes leírásuktól eltekintünk.

Erdőállományokban fontos kérdés az is, hogy az erdőtársulást alkotó fajok gyökérzete, hogyan rendeződik a talajban, milyen hatással vannak egymás gyökérfejlődésére.

Kárász (1997) szerint egyértelműen megfigyelhető, hogy a fásszárú növények gyökérzete vertikálisan vagy horizontálisan elkülönül egymástól, azaz a rendelkezésre álló teret megosztják egymás között.

Rachtejenko (1952) nagy területű szisztematikus gyökérvizsgálatokkal megállapította, hogy elegyes állományokban a különböző fajok mélyebben gyökereznek, mint saját elegyetlen állományaikban. Megfigyelték, hogy egy luc-, erdeifenyő elegyes kultúrában az átlagos gyökértömegek lényegesen magasabbak, mint egy ezzel összevethető elegyetlen kultúrában. Ezt a gyökértöbbletet főleg a hajszálgyökérzet adta. Hasonlót állapítottak meg az erdei fenyő javára egy fenyő-nyír elegyes kultúrában, ahol viszont a nyír gyökerezettsége lényegesen gyengébb volt, mint egy tiszta kultúrában. A lucfenyő egy sokkal mélyebbre hatoló gyökerezettségét találta *Wiedemann* (1923) a bükkal, *Grosskopf* (1950) pedig a tölgyvel elegyben. Hasonlót állapított meg *Ehwald* (1961) az erdei fenyőnél a bükkal elegyben. A mézgás éger kedvező hatását a szomszédos fák gyökerezettségére is itt kell említenünk.

Csiha - Keserű (2003) nyár és akác elegy vizsgálata során megállapította, hogy a nyár gyökerei bekúsznak az akác gyökerek közé-alá, megszerezve így a rendelkezésre álló víz nagy részét, ami miatt az akác a nyár alá szorulva szenved.

Állományokban számolnunk kell a fák gyökereinek összenövésével is (egymás mellett álló ugyanazon fajhoz tartozó fák egy tuskó gyökereit egészben vagy részben még éveken át életben tarthatják). *Yli-Vakkuri* (1953) finn erdei fenyvesekben végzett vizsgálatai alapján úgy találta, hogy a gyökérösszenövés annál gyakoribbak, minél közelebb nőnek a fák egymáshoz. A különböző fajok gyökerei, különösen a finom gyökerek, főleg a lombvetületen

belüli talajrészben fonódnak össze. Már sűrű – különösen természetes felújulásból létrejövő – fiatal facsoportoknál megállapítottak gyökérkapcsolatokat. Öregebb állományokban a fák 21 – 28 %-a gyökérkapcsolatban volt egy vagy két élő fával, kidöntött vagy a talajfelszín fölött már kiszáradt fa még élő tuskójával. Az összenövés, melyek mindig a törzs közelében fordultak elő nagy számban, 2/3-ad része a felszínhez közeli, 1/3-a a mélyebb rétegekben fordult elő. A kapcsolatok legtöbbször 30 – 60 éves korban elsősorban az 1 – 2 cm átmérőjű gyökereknél jöttek létre. *Majer* (1961) lucfenyvesekben figyelt meg gyakori összenövést.

A vizsgálatok során nem lehet eltekinteni a cserjefajok és a cserjeszint gyökérzetének tanulmányozásától sem. A cserjék gyökérrendszerének vizsgálatával kapcsolatos nemzetközi és hazai irodalom egyaránt nagyon kevés. *Faragó* (1960) 13 cserjefaj homokon élő egyedeinek gyökérzetét vizsgálta. Eredményei általános következtetések levonására nem alkalmasak, mivel egyedülálló egyedeket tanulmányozott. Állomány alatti cserjék gyökérrendszerének vizsgálatával hazánkban 1979-től kezdtek behatóan foglalkozni (*Kárász*, 1982; *Kárász*, 1984a; *Kárász*, 1984b; *Kárász*, 1986a; *Kárász*, 1986b; *Kárász - Juhar*, 1982). Megállapították, hogy a cserjék gyökérfejlődését a cserjeszint sűrűsége és a fák árnyékoló hatása egyaránt befolyásolja.

Miközben a talaj minősége és állapota befolyásolja a gyökerek fejlődését, a gyökerek is visszahatnak a talaj állapotára. *Penschuck* (1931) vizsgálatai szerint pl. a fehérakác intenzív, finoman elágazó gyökérrendszerénél a legnagyobb a talajok lazasági foka, ezt követi a vörösfenyő és a vöröstölgy, míg az erdeifenyő alatt a talajfelszín lényegesen tömörebb. A pórusmennyiség és a levegőkapacitás meghatározása során a fehérakác alatt mérte a legmagasabb értékeket. Magas értékeket talált az erdeifenyővel elegyes bükkösben is. A tölgy és a vöröstölgy közel álltak egymáshoz, bár a vöröstölgy különösen „lazítólag” hatott a legfelsőbb talajrétegre. Kevésbé kedvező értékek adódtak az elegyetlen bükkösnél és az elegyetlen erdei fenyvesnél. A legelőnytelenebb az elegyetlen lucfenyőnél volt. A cserjeszintben megjelenő áfonya következtében a talajfelszín még tömörebbnek bizonyult.

A gyökerek növekedésének és talajban való eloszlásának kifejezésére jelenleg sok paraméter használatos (gyökérszám, súly, felület, térfogat, átmérő, hosszúság, gyökérvégek száma stb.). Az egyes kutatók mást-mást használnak, az adatok így nagyon ritkán hasonlíthatók össze. A legelterjedtebben használt paraméter a nyerssúly, amelynek meghatározása a legtöbb mintavételi módszernél egyszerű.

A különböző társulások esetében a föld alatti szervek tömege széles határok között változik, hazánk erdőállományaiban a száraz gyökerek tömege 50 – 90 t/ha között

változik (*Keresztesi*, 1969). Ez a fák összes biomasszájának 25 %-át teszi ki.

Sem a tömegadatok, sem az eddig feltárt paraméterek nem adnak felvilágosítást arra, hogy miként változik a talaj művelő-szerszámokkal szembeni ellenállása a benne lévő gyökerek hatására. Az irodalom áttekintése alapján megállapítottuk, hogy a gyökérrel átszőtt talajok fizikai-mechanikai tulajdonságai nem ismertek.

2.2 Talajvizsgálatok

2.2.1 Talajellenállás

Az elmúlt évtizedekben a talajállapot jellemzésére kifejlesztették a talaj tömörödöttségét mérő műszereket, melyek – a mérési módszer azonossága mellett – más-más „mérőfejjel” készültek (Bánnházi, 2000). Pl. *Gorjacschin* ék alakú mérőfejet, más kutatók kúpos mérőfejet használtak a mérőműszerükhöz. Ezek a mechanikus működtetésű eszközök a mérőfej talajba hatolásának ellenállását rögzítik. Az ellenállás-mélység összefüggő értékei diagramot biztosítanak, amely „talajkarakterisztikának” is tekinthető. A behatolási ellenállás, valamint a mérőfej vetületi keresztmetszete alapján számítható a talaj-jellemzőként elfogadott „tömörség”. A tömörség tehát a mérőfej egységnyi felületére eső erőt jelenti (Komándi, 2010).

A szakirodalom ezen talajjellemzőre különböző fogalmakat használ, pl. talajtömörödöttség, tömörödöttség, tömörödés, talaj mechanikai ellenállása, behatolási ellenállás, penetrációs ellenállás stb. A mérésére alkalmazott mérőműszerek megnevezése is nagyon változatos: Termőhelyi Talaj Teszter, talajszonda, dinamométer, penetrométer, talajvizsgáló nyomószonda stb. Célszerű lenne egységesíteni...

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 vizsgálati alapján kimutatta, hogy a talajtömörödés kifejezésére a penetrométerrel mért talajellenállás lényegesen érzékenyebb indikátor, mint az általánosan elterjedt térfogattömeg.

Ha azonban az agrotechnikai beavatkozások hatásának vizsgálata során a talajellenállásból a talaj tömörödöttségre kívánunk következtetni, a talaj nedvességtartalmának ismerete és figyelembevétele nélkülözhetetlen a talajellenállás-értékek értelmezéséhez (Szöllősi - Kovács - Bíró, 2004).

A talajellenállás és nedvességtartalom egyidejű mérésével számos értékes információhoz juthat a növénytermesztő, talajvédő szakember (Szalai - Nyárai - Holló - Percze, 1998). Ugyanakkor a pontszerű mérések szórása igen nagy lehet.

Összefoglalva a penetrométer a következő területeken használható:

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

változásának megfigyelése.

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.

2.2.2 Gyökérfeltárás

A fásszárúak talajszint alatti részeinek említésre méltó tanulmányozása a 18. század második felében *Du Hamel Du Monceau* (1764-65) munkájával kezdődött. Szisztematikus gyökérfeltárásokról azonban csupán a XX. század elejétől beszélhetünk.

A gyökérkutatások morfológiai, anatómiai és fiziológiai jellegűek (*Köstler et. al.*, 1968). A morfológiai jellegű kutatások célja feltárni az egyes fafajok gyökérzetét, meghatározni gyökérrendszerük vertikális és horizontális kiterjedését, elágazási sajátosságait, valamint méret- és tömegviszonyait.

A növények gyökérzetének tanulmányozására és mennyiségi becslésére számos módszer ismert. A *Kolesnikov*-féle osztályozása szerint a legelterjedtebbek a következők (*Kárász*, 1984a):

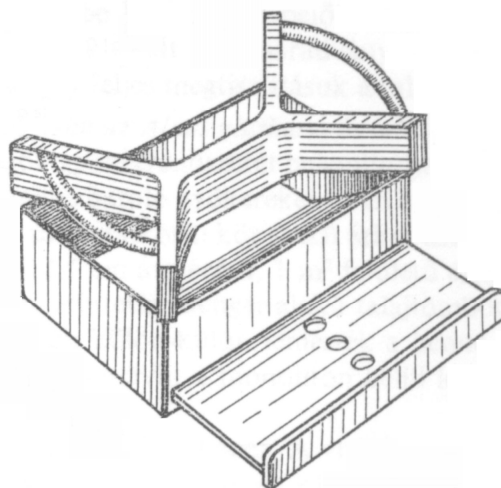
- kiásás (vázás talajfeltárás);
- monolit;
- talajfúró;
- profilfal;
- üvegfal;
- indirekt;
- egyéb és
- konténer módszer.

A sokféle módszer között azonban egyetlen olyan sincs, amely önmagában pontos, megbízható eredményeket ad, ugyanakkor nagy mennyiségű minta gyors feldolgozását teszi lehetővé. A módszer megválasztásakor nagyon sok tényezőt (pl. terepviszonyok, talajkötöttség, növényfaj, ill. társulás stb.) figyelembe kell venni.

A hazai kutatási gyakorlatban a gyökérfeltárásoknak két módszere, a vázas talajfeltárás és a monolit módszer terjedt el (*Csiha - Keserű*, 2003). Erdészeti kutatóink közül elsősorban *Magyar Pál*, *Tóth Béla*, *Kiss Ferenc* használt vázas talajfeltárást, melynek során mechanikai módszerekkel bontjuk ki a talajból a vizsgált faegyed gyökérzetét. A módszer igen sok

földmunkával jár, szinte régészeti módszerekkel történik. E módszerrel az 1 mm-nél vastagabb gyökerek pontosan feltérképezhetők, lerajzolhatók vagy sztereo, illetve ortofotón megörökíthetők. Pontos képet ad a gyökérrendszer habitusáról. A módszer kiválóan alkalmas arra, hogy az egyedek gyökereit egymástól elkülöníthessük. Nem ad viszont lehetőséget arra, hogy pontos mérésekkel meghatározzuk a különböző rétegekben elhelyezkedő gyökerek tömegeit (Járó, 1991).

A másik elterjedten használt eljárás során – melyet Járó, Führer, Csiha alkalmazott – a talajból 1 dm³-es monolitokat emelünk ki. A gyökerekkel átszőtt talajmonolitok kiemeléséhez speciális eszközt (gyökérvágót) használunk (3. ábra). A talajmonolitokban lévő gyökereket 1 – 2 mm lyukbőségű szita segítségével választjuk ki, méret szerint szétválogatjuk, majd csoportosítva lemérjük. Ezzel a módszerrel képet kaphatunk a különböző rétegekben elhelyezkedő gyökerek tömegéről, és minőségéről. Nem tudjuk azonban meghatározni, hogy a gyökerek mely egyedhez, mely fajhoz tartoznak. A mérési eredmények extrapolálásával hektáronkénti gyökérmennyiséget számolhatunk, de a mért adatok extrapolálása során esetenként nagy eltérések is keletkezhetnek.



3. ábra. Gyökerekkel átszőtt talajmonolitok kiemelésére szolgáló gyökérvágó

A nyugati szakirodalomban egyre gyakrabban fúrások metrikus elemzésével jutnak el az extrapolált eredményekhez.

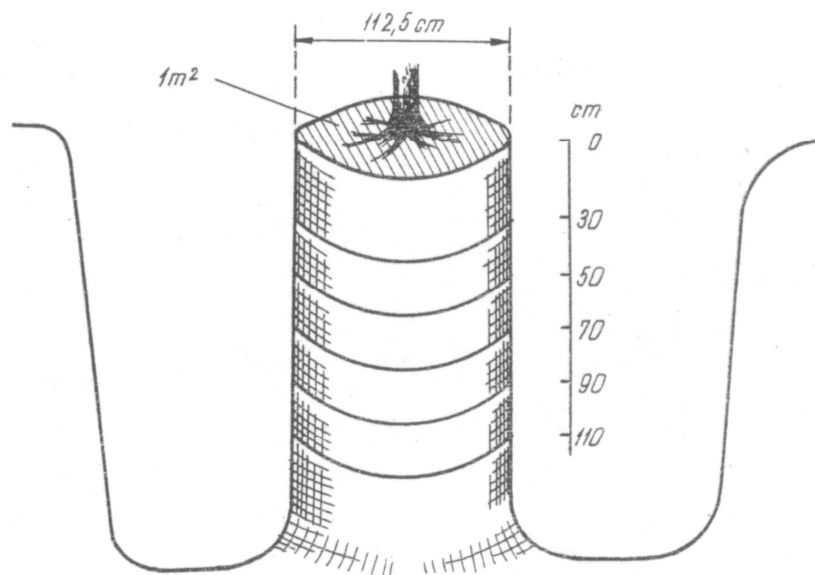
Az üvegfal módszer segítségével ugyanazon gyökerek hosszú időn át megfigyelhetők. A fiatal egyedek (pl. csemeték) gyökerének fejlődését is könnyen nyomon lehet követni, lefényképezhetők vagy filmre vehetők. Ugyanakkor az üveglap befolyásolja a gyökerek

fejlődését, pl. a természetes viszonyok között élő gyökerek intenzívebben elágazódnak, mint az üveglapokon keresztül megfigyelték (Kárász, 1984a).

Voltak próbálkozások radioaktív izotóppal történő gyökérvizsgálatokra. A módszer a gyökérzet kiterjedésének vizsgálatára alkalmas, de nem ad információt a gyökerek vastagság szerinti megoszlásáról.

A gyökereknek a talajból való kibontását kimosással is lehet végezni. Ilyenkor lajtkocsiban a területre hozott vízzel, szivattyú segítségével történik a kimosás. Ennél a módszernél a vékony gyökereket is módunkban áll értékelni. Az ásóval és finomabb kézi szerszámokkal végzett feltáró munka közben ugyanis óhatatlanul elszakítjuk kitermeljük a vékony gyökérzet egy bizonyos részét.

A gyökértömeg meghatározására nagyon jól alkalmazható a talajtömb-módszer (4. ábra). A próbafa körül kör alakú árkot ásunk, úgy hogy a fa alatt henger alakú talajtömb maradjon. A henger alakú talajtömböt rétegekre osztjuk és minden rétegben külön-külön lemérjük a benne található gyökereket.



4. ábra. Henger alakú talajtömb

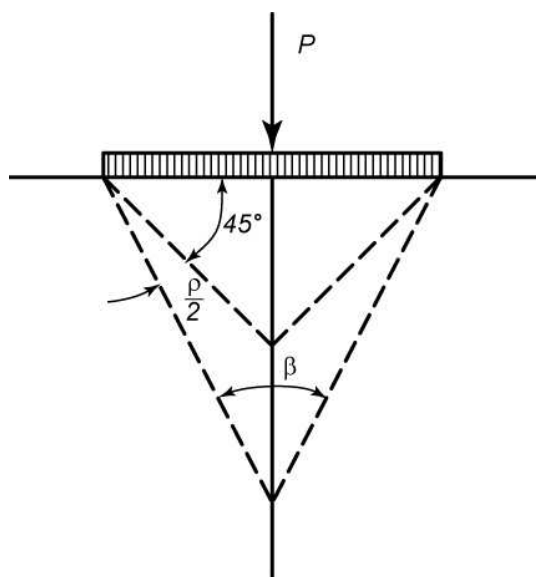
2.3 Talaj deformációja vágáskor

A talajművelő szerszámok munka közben valamilyen formában elvágják a talajt. A talajvágási folyamatot azonban a legtöbbször különböző deformációs jelenségek kísérik, amelyek lényegesen megnehezítik a vágási folyamat törvényszerűségeinek vizsgálatát, illetve az ilyen talajművelő szerszámok megbízható méretezését (Sitkei, 1967; Kerényi, 1996a).

A talajok vágási folyamatánál a fő szerepet a nyomás okozta deformáció játssza, amelynek hatására a vágóél előtt a talaj oldalra nyomódik ki. Lapos vágóélű szerszámot feltételezve a deformáció kezdeti szakaszában a szerszám előtt egy kúp keletkezik, amelyen belül a talaj összenyomódik, de a talajrészek egymáshoz viszonyítva nem mozdulnak el. Elmozdulás csak a kúpfelületen és azon kívül jön létre (5. ábra). A kúpfelület alapszöge súrlódásos talajokra Terzaghi (1943) vizsgálatai szerint:

$$\alpha' = 45^\circ + \frac{\rho}{2} \quad (5)$$

ahol: ρ : a belső súrlódási szög.



5. ábra. Tömör zóna kialakulása lapos vágóélű szerszám előtt

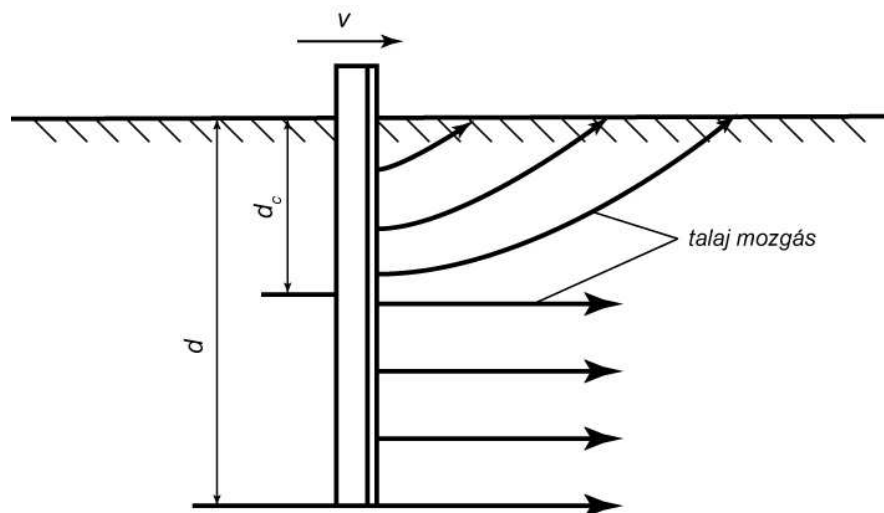
Azoknál a szerszámoknál, amelyeknek az élszöge a β szögnél nagyobb, a vágóél előtt tömör zóna jön létre. Mivel a ρ értéke általában 30 – 40° között változik, 50 – 60° élezési szög alatt tömör zóna nem alakul ki. Lapos profilon is elkerülhető a tömör zóna kialakulása, ha a szerszám állásszöge 50°-nál kisebb (előrehajló élű szerszám).

A szabályos kúp alakú tömör zóna csak a deformáció kezdeti szakaszára jellemző, nagyobb deformációknál a kúp hegye kissé legömbölyödik. A tömör zóna a teljes vágási

mélységben kialakul, a legfelső 1 – 2 cm-es réteg kivételével.

A vágószerszám által kifejtett nyomás következtében létrejövő feszültség hatására a talajban repedések, törési felületek keletkeznek, melyek mentén elcsúszások jönnek létre. A legkülső ilyen felületen belül van a deformációs zóna, amelyben a talaj fellazul, és bizonyos mértékig aprózódik. A deformációs zóna nagysága a szerszám kialakításától, méretétől és állásszögétől függ. Kis állásszög esetén nagy deformációs zóna alakul ki. A talaj típusa és szerkezeti állapota szintén befolyásolja a deformációs zóna kialakulását (Bánházi, 1984; Kaifás - Kazakov - Szabó, 1997; Sitkei, 1967).

Az un. kritikus mélységig a szerszám előtt a talaj előre, felfelé mozog, a mélyebben fekvő rétegekben már nem felfelé, hanem vízszintes síkban haladnak a törési felületek (McKyes, 1985) (6. ábra).



6. ábra. A kritikus lazítási mélység

A kritikus lazítási mélység a talaj belső súrlódási szögétől, a talajművelő szerszám geometriájától és állásszögétől, továbbá a talaj törőszilárdságától függ (Kaifás - Kazakov - Szabó, 1997).

Két párhuzamosan haladó szerszám deformációs zónája a szerszámok közötti távolság függvénye. A távolság 2 – 3 cm-ig történő növelésekor a két szerszám előtt közös tömör zóna alakul ki, tehát a szerszámok között nincs talajmozgás. A két szerszám úgy viselkedik, mint egy $s_1 = 2s + a$ széles szerszám,

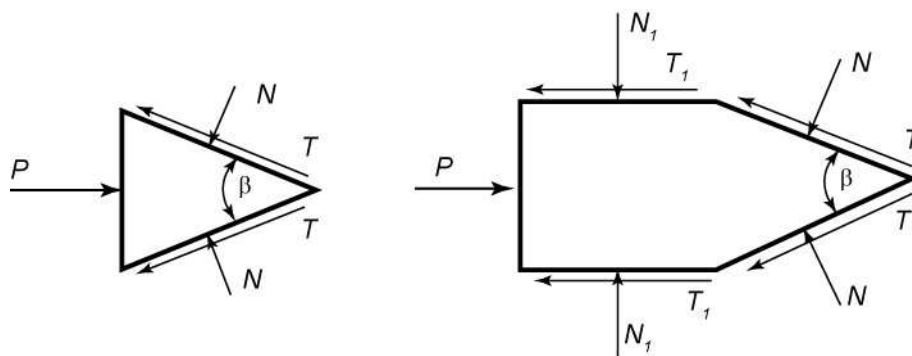
ahol: s : a szerszámok szélessége,

a : a szerszámok közti távolság.

A távolság 5 – 10 cm-es értékeinél a közös tömör zóna először alul, majd fokozatosan felfelé megszűnik, s a talaj a kések között átcsúszik. A szerszámok közötti távolság további növelésekor a szerszámok mindinkább önállóan alakítják ki saját deformációs zónájukat, s amikor a zónák kölcsönhatása megszűnik, a szerszámok egymástól teljesen függetlenül dolgoznak. Természetesen a művelési mélységtől is függ, hogy ez utóbbi állapot milyen távolságnál következik be. Minél kisebb a művelési mélység, annál kisebb távolságnál szűnik meg a kapcsolat a deformációs zónák között (Sitkei, 1967).

Spoor G. - Godwin R. J. (1978) a lazítószárnyak hatását vizsgálták a lazított keresztmetszet, a deformációs zóna nagyságára. Megfigyelték, hogy a szárnyak hatására növekedett a lazított keresztmetszet és a kritikus mélység. A lazított keresztmetszet és a vontatási ellenállás elemzése alapján megállapították, hogy 30 – 45 cm mélységben a szárny szélesség kedvező értéke a munkamélység 0,7 – 0,8-szorosa.

Sitkei (1967) a szerszámokra ható erők vizsgálata során megállapította, hogy az ék alakú szerszám ellenállását a késre ható normális erők (N , N_1) és a súrlódási erők (T , T_1) összege adja (7. ábra). A szerszám élére ható időnkénti koncentrált terhelést (gyökér, kő) nem vette figyelembe.



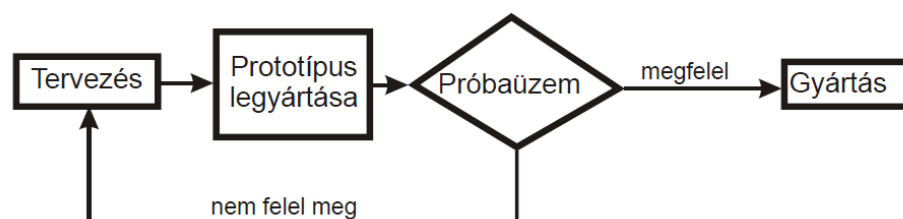
7. ábra. A késre ható erők

2.4 Végeselem-módszer

A mérnöki gyakorlatban előforduló összetett geometriai és terhelési viszonyokat ma már egyre kevésbé lehet visszavezetni a hagyományos, mechanikailag idealizált esetekre. Az analitikus megoldások sok esetben nem alkalmazhatóak, ezért szükségessé vált a különböző numerikus megoldások kidolgozása. Ezen eljárások számos olyan tényező figyelembevehetőségét teszik lehetővé, amelyeket analitikus módszerekkel egyáltalán nem, vagy csak nagy matematikai nehézségek árán lehetne számításba venni. A végeselem-módszer napjainkra a műszaki számítások területén az egyik leggyakrabban alkalmazott numerikus eljárássá vált (*Égert - Pere*, 2011). A számítástechnikában beálló gyors fejlődés, a számítógépek kapacitásának, sebességének nagymértékű növekedése, a fizikai jelenségek korábbi években még nem látott bonyolultságú modellezésére, gyors számításokra, az eredmények sokoldalú analizálására adnak módot (*Páczelt*, 1999; *Klein*, 1999).

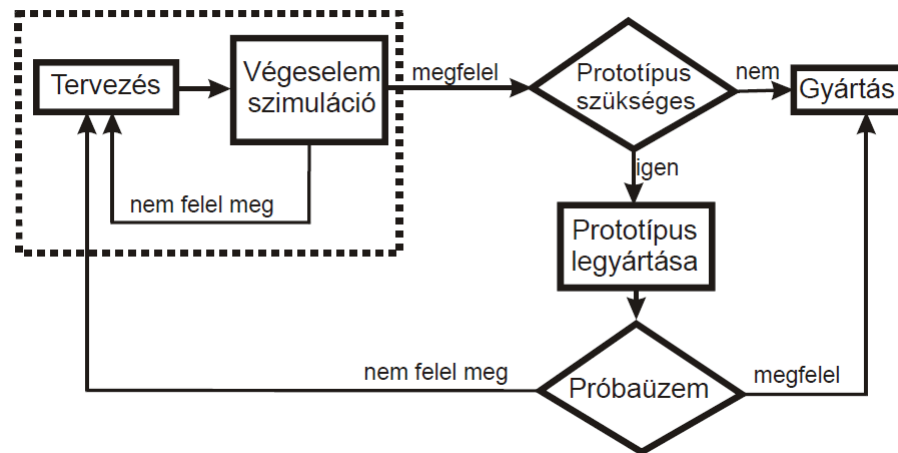
A végeselem-módszer egy olyan numerikus eljárás, melynek során egy véges tartományon felírt parciális differenciálegyenlet által leírt problémára közelítő becsléssel keressük a megoldást, vagyis a differenciálegyenlet megoldását visszavezetjük egy lineáris egyenletrendszer megoldására (*Popper*, 1985; *Páczelt - Scharle*, 1987; *Páczelt*, 1993; *Günter - Clemens*, 2002; *Meißner - Maurial*, 2000; *Fodor - Orbán - Sajtos*, 2005). Ez lehetővé teszi bonyolult rendszerek modellezés útján való vizsgálatát. A végeselem-módszer egy összetett mechanikai feladat megoldását – a bonyolult analitikus módszerekkel szemben – igen nagy számú, de egyszerű számítások sorozatával közelíti. A vizsgált tartományt véges számú elemre bontja fel, amelyen belül egyszerű közelítéssel (interpolációval) állítható elő a keresett függvény. Ezen elemek nem fedik át egymást (diszjunktak), viszont közösen a teljes vizsgált tartományt kitöltik. Az elemek határvonalainak összességét hálónak hívják.

A végeselem-módszer elterjedése a gyakorlatban megváltoztatta a klasszikus tervezési folyamatot (8. ábra). A VEM alkalmazása beépült a termék előállításának folyamatába (9. ábra).



8. ábra. A klasszikus termék-előállítási modell egyszerűsített folyamatábrája

A gyártási költség, ezen belül a tervezési költség, jelentős részét a kísérleti darabok legyártása és azok próbaüzeme teszi ki. Ezen költségek csak nagy darabszám és/vagy magas termékár esetén térülnek meg. Ezt a költséget jelentős mértékben csökkenti a végelelemes szimuláció (Kovács, 2011).



9. ábra. A végelelemes szimulációval támogatott termék-előállítás folyamatábrája

A szükséges prototípusok száma csökkenthető, jól modellezhető problémák esetén akár el is hagyható a prototípus legyártása. Utóbbi esetben már a sorozatgyártásra lehet azonnal berendezkedni, és elegendő a nullszérián próbaüzemet végezni. Sok esetben a zsákutcának bizonyuló fejlesztések még időben kiderülnek.

A végelelem-analízisnek három fő lépése van. Ezek a preprocessálás, az analízis és a posztprocesszálas. A preprocessálás, vagyis az előfeldolgozás első mozzanata az analizálni kívánt modell CAD alapú szoftver segítségével történő elkészítése. A modell elkészítése után elemezni kell, hogy a modell geometriáján milyen egyszerűsítéseket lehet és célszerű elvégezni a végelelem-analízishez.

Ezt kétféle ellentétes kíváncsi befolyásolja:

- a modell minél jobban helyettesítse a valóságot, illetve
- a mechanikai jellemzők jó közelítéssel meghatározhatók legyenek és a feladat bonyolultsága indokolatlanul ne növelje meg a szimuláció idejét (Páczelt - Szabó - Baksa, 2007).

Ezután következik a végelelem háló generálása. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált tartományt véges számú, a modellt egyszerűen lefedő résztartományokra, azaz véges méretű elemekre bontjuk. A végelelem háló mérete és minősége (az elemek szabályos geometriai

alaktól való eltérése) nagyban befolyásolja az eredmények pontosságát és a számítási időt, emellett a közelítésre használt függvények fokszáma is hatással van az eredmény pontosságának alakulására. Lehetőség van a rács sűrűségén, a polinom fokszámán, vagy egyszerre mind a kettőn változtatni a jobb megoldás érdekében. (Nagyobb finomságú hálózathoz nagyobb számítási idő tartozik, azonban pontosabb eredményre vezet.) A hálózás során a háló felbontása differenciálható, így a keresett mennyiség szempontjából a kevésbé fontos területeken ritkább, a fontosabb területeken pedig sűrűbb háló használható. Kétdimenziós modellek esetében a rács alakja leggyakrabban háromszög vagy négyszög alakú, három dimenziósnál pedig a tetraéder vagy prizma alakú rács alkalmazása terjedt el (*Kurutzné - Scharle, 1985*).

A preprocessálás során kell megadni az anyagjellemzőket, a kezdeti feltételeket és a kényszereket is.

Az analízis (a lineáris algebrai egyenletrendszer megoldása) után következik a kiértékelés (posztprocesszálas). Az eredményeket interaktív módon táblázatosan és grafikusán lehet megjeleníteni. A grafikus megjelenítés lehet szintvonalas, színsávós, vektoriális és függvény jellegű. Az eredmények adatain igény szerint matematikai műveleteket lehet végezni. Az eredmények helyes értelmezése megkívánja, hogy értékeljük a feltételezéseinket, az egyszerűsítéseket és a munka során bevitt hibákat: a matematikai modell létrehozásában, a végeelem modell létrehozásában valamint a végeelem modell megoldásában előforduló hibákat.

Mivel a végeelem-módszer jól alkalmazható anyagi nemlineáris viselkedés esetén is, talajmechanikai feladatok megoldására is gyakran alkalmazzák. A talaj és szerszám kapcsolatának végeelem-módszerrel való vizsgálata során pontos képet kaphatunk a talajvágás folyamatáról, a szerszámmra ható erőkről és a talajban keletkező deformációkról (*Kerényi, 1996a*).

A talaj vágását végeelem-módszerrel először *Yong és Hanna (1977)* vizsgálta. Ők kétdimenziós modellt alkalmaztak, később háromdimenziós modellek is születtek. A VEM fejlődésével a szerszám-talaj kapcsolatának vizsgálatához egyre bonyolultabb modellek készültek. Számos kutató laboratóriumi és szántóföldi mérésekkel összehasonlítva bizonyította, hogy a numerikus megoldások megfelelő eredményeket adnak.

A hazai mezőgépeszeti kutatásokban is születtek már eredmények. Magyarországon *Kerényi (1996b)* egyszerű szerszám és talaj kapcsolatát modellezte, legfontosabb feladatának a fölállított talajmodell igazolását tekintette. A számításokat ő is két dimenzióban végezte

(Kerényi, 1996a; Kerényi, 1996b).

Mouazen (1997) háromdimenziós végeelem analízist használt a talajvágási folyamat modellezéséhez, amely a Drucker-Prager rugalmas tökéletesen alakítható anyagmodellen alapult. Különböző konstrukciójú szerszámok modellezése révén meghatározta az optimális konstrukciójú altalajlazítót, amely minimális vonóerőt igényel, és jó minőségű talajlazítást végez.

Az erdőgazdálkodásban használt gépek közül először homokos-vályogtalajok erdészeti mélylazítókkal történő lazítását vizsgálták végeelem-módszerrel (*Mouazen - Neményi - Horváth*, 1998).

Ezek mind statikus vizsgálatok voltak, mivel az egyszerű végeelemes szimulációk alapvető problémája, hogy csak kis elmozdulások és erőhatások esetén működnek jól.

3. TUSKÓS TERÜLETEKEN ALKALMAZOTT TALAJ-ELŐKÉSZÍTŐ GÉPEK KONSTRUKCIÓS ÉS ÜZEMELTETÉSI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA

3.1 Bevezetés

A tuskózás nélküli erdőfelújítási technológiák meghatározó műveletei: a vágáshulladék letakarítás, a részleges talaj-előkészítés, az ültetés és az ápolás.

A részleges talaj-előkészítés során – melyet a tuskózás végrehajtása nélkül kell megvalósítani – a terület felszínének csak egy részét műveljük (*Bondor, 1978; Gál - Káldy, 1977*).

A megművelt felszíni rész alakjától függően:

- pásztás;
- foltos és
- tányéros (fészkes) talaj-előkészítésről beszélhetünk.

3.2 Pásztás talaj-előkészítők

A pásztás talaj-előkészítésre több megoldás kínálkozik, nevezetesen: mélylazítókkal, mélylazító- és tárcsa kombinációkkal, pásztakészítő ekékkel, pásztakészítő tárcsákkal és forgó rendszerű pásztakészítő gépekkel (*Horváth, 1997; Horváth, 2003*).

Pásztakészítő mélylazítók

A talajlazítók a forgatás nélküli talajművelés alapgépei. Rendeltetésük a tömörödött talaj ültetés előtti lazítása, azaz térfogatának növelése úgy, hogy a különböző talajrétegek ne keveredjenek. Az erdészeti gyakorlatban alkalmazott pásztakészítő mélylazítók hátrahajló élű gépek. A hátrahajló élű szerszám általában egyenes élű gerinclemezből és a hozzá kapcsolódó (egy-, kettő- vagy három pár) lazítószárnyakból áll. A haladási irányhoz képest hátrahajló (azzal tompaszöget bezáró) élkialakítás lehetővé teszi a tuskókon, köveken való áthaladást a gép szerkezeti részeinek károsodása nélkül. A pásztakészítő mélylazító az útjába eső tuskókra felcsúszik a hátrahajló élű lazítókése segítségével. A tuskó elhagyása után a művelőszerszám ismét a talajba mélyed, de a beállított munkamélységet csak bizonyos távolság megtétele után éri el, a talaj nedvességi állapotától, a növényborítás mértékétől, és a talaj fizikai jellemzőitől függően. A mélylazítók munkamélysége pótsúlyok mennyiségével szabályozható. A hátrahajló élű szerszámok jellemzője, hogy a munkamélység nem állandó, az adott terület talajkötöttségének változásával folyamatosan változik. A ma használatos gépeknél a tuskón való átlépéskor a munkamélység csökkenése kb. 0,9 m távolságra kezdődik a tuskótól, de

gyakorlatilag egészen a tuskóig van talajművelés, a tuskó után pedig 0,4 – 1,0 m távolság megtétele után alakul ki ismét a beállított munkamélység.

Az EMKI Géptani Tanszéke által 2000-ben készített gépkataszter szerint (1. melléklet) a hátrahajló élű gépek közül az ERTI által kialakított E-TM típusú lazítószárnyas gépek (E-TM-1; E-TM-2; E-TM-3 (10. ábra)) a leginkább elterjedtek (Czupy - Csalló - Horváth - Juhász - Major, 2000). E gépek gyártása a rendszerváltozáskori iparstruktúra átalakulásakor megszűnt, ezt követően némiképp módosított konstrukcióval, de változatlan funkcióval a MEFI Rt. (Budapest) gyártotta a feladat ellátására alkalmas ETL típusú gépeket (11. ábra), majd ezt követték a Bagodi Mezőgép Kft. BEL típusú gépei (12. ábra), melyeket ma is gyártanak.



10. ábra. ETM-3 mélylazító

Az erdészeti gyakorlatban használt fenti pásztakészítő mélylazítók alkalmazhatók laza, közép-kötött és kötött talajokon, gyökerekkel átszőtt és tuskós területeken egyaránt. Az erdőtelepítési- és az erdőfelújítási technológiákban részleges-, esetleg teljes talaj-előkészítésre, valamint gyökérszaggatásra (a sarjzattatás elősegítésére) használhatók. Ezek a pásztakészítő mélylazítók általában egysorosak, munkamélységük: 0,3 – 0,6 m, munkasebességük: 2 – 4 km/h, öntömegük: 300 – 400 kg (mely pótsúlyozással 1000 – 1200 kg-ra növelhető), vonóerő-igényük: 14 – 30 kN közötti (Czupy - Horváth, 1997; Czupy - Horváth - Juhász - Major, 2000).



11. ábra. ETL-3 mélylazító



12. ábra. BEL-3 típusú mélylazító

Pásztakészítő ekék

A pásztakészítő ekék a részleges talaj-előkészítésen alapuló erdősítési technológiák munkagépei. Ültetési sávok készítésére alkalmasak mindenfajta erdősítési területen

(elsősorban tuskózás nélküli erdőfelújítások esetén), továbbá lehet használni őket tűzvédelmi pászták készítésére, erdőtűz elleni védekezésnél. Az általuk készített ültetési sávok olyan módon jönnek létre, hogy az egy jobbra és egy balra forgató ekefej együtteséből álló eketest a sáv felső talajrétegét két oldalra kifordítja, és esetleg az átfordított rétegeket tömöríti is.

A pásztakészítő eke szerkezeti kialakításából következően alkalmas a tuskókon való átlépésre, vagy a tuskók kikerülésére. Az eke a szimmetriavonalába eső tuskókra felcsúszik a hátrahajló élű ütközőjének segítségével. A tuskó elhagyása után az eke folyamatosan ismét a talajba mélyed, de a beállított munkamélységet csak bizonyos távolság megtétele után éri el, a talaj nedvességi állapotától, a növényborítás mértékétől, és a talaj fizikai jellemzőitől függően. A tuskón való átlépéskor a barázda mélységének csökkenése 0,3 – 0,6 m távolságra kezdődik a tuskótól, de gyakorlatilag egészen a tuskóig van talajművelés, a tuskó után pedig 0,5 – 1,0 m távolság megtétele után alakul ki ismét a beállított munkamélység. A nem szimmetriavonalba eső tuskókat az eketest a kereszttartó függőleges tengelyű csapszege körüli elfordulással kerüli ki, majd a kereszttartó és az alapkeret közé épített feszítőrugók segítségével tér vissza ismét középhelyzetbe. Ilyenkor a talajművelés folyamatosan fennáll, bár a kitérítés függvényében a munkamélység ingadozik.

A pásztakészítő ekék számos változata létezik, közülük ma leginkább az ASP-2 típusú német eke és az ERDŐGÉP Kft. EFE-1 típusú ekéje (13. ábra) ismert (Czupy - Csalló - Horváth - Juhász - Major, 2000).



13. ábra. EFE-1 típusú pásztakészítő eke

Az erdészeti gyakorlatban használt pásztakészítő ekék munkamélysége: 0,1 – 0,2 m, munkasebessége: 2 – 4 km/h, tömege: 300 – 600 kg, teljesítmény-igénye: 30 – 50 kN közötti (Horváth, 1996; Czupy - Horváth - Juhász - Major, 2000).

Pásztakészítő tárcsák

A tárcsák a talajporhanyítás és keverés gépei, amelyek kialakításuktól függően lazítást, felszínalakítást, gyomirtást és forgatást is végeznek. A hagyományos talajelőkészítésekkel szemben – pl. forgatás vagy mélylazítás – a tárcsás talajelőkészítés sokkal kíméletesebb talajművelési mód, a megművelt sávban a talajt megfelelőképpen lazítja anélkül, hogy az ekéknél, illetve a mélylazítóknál tapasztalt tömörítés illetve felkenődés bekövetkezne. Ezáltal nem károsodik a talaj kapilláris vízvezető képessége és a csemeték gyökereihez a csapadéktól függően megfelelő nedvesség jut (Dózsa - Major, 2000).

A pásztakészítő tárcsák:

- szabadonfutó és
- hajtott kivitelűek lehetnek (Horváth, 2003).

A **szabadonfutó pásztakészítő tárcsák** – a sorközművelő tárcsák és a nehéz tárcsák – szerkezeti kivitele hasonló a teljes felületet művelő tárcsákéhoz, csak kisebb munkaszélességűek, nagyobb tárcsalevél átmérőjűek, általában egy, esetleg kétsorosak, és robosztusabb építésűek.

A **sorközművelő tárcsák** alapvetően az erdőfelújítások sorközi ápolására szolgálnak, ugyanakkor alkalmasak tuskózás nélküli területeken az ültetést megelőző pásztás talajművelésre is. Alkalmasak laza, középötött és kötött talajokon a gyökerekkel átszőtt felső réteg porhanyítására, lazítására és a gyomok irtására, valamint a mélylazított pászták elsimítására. Ezek a gépek olyan talajokon is alkalmazhatóak, ahol a hagyományos mezőgazdasági kivitelű tárcsák az elakadások miatt gyakran meghibásodnak.

A 2000-ben készült felmérés szerint (1. melléklet) az erdészeti gyakorlatban az E-PST (14. ábra), az UST-2B, ETB-2 (Spingár, 1996), az ETS-2 (15. ábra) (Major, 1999) és az ET-8 sorközművelő tárcsák a legelterjedtebbek. Fentiek közül az E-PST tárcsák gyártása már megszűnt. Az ETS-2 sorközművelő tárcsát a Bagodi Mezőgép Kft. BETS-2-EF típusjellel adaptálta a közelmúltban kifejlesztett BGT-ETG-EF típusú erdőtelepítési gépsorba (Horváth, 2002; Horváth, 2004). Említésre érdemes még az ET-4/4, mely BET-4-4-EF néven szintén része az előbb említett új erdőtelepítési gépsornak.



14. ábra. E-PST-1 sorközművelő tárcsa



15. ábra. ETS-2 sorközművelő tárcsa

Az ET-8 és az ET-4/4 tárcsa felépítése eltér a megszokottól, a tárcsalevelek ugyanis egymástól függetlenül dolgoznak, az útjukba kerülő akadály esetén egyenként felemelkednek és az akadályon átgördülnek, ezáltal a tárcsázás egyenletessé válik, a tuskók mellett nem maradnak műveletlen foltok.

A *nehéztárcsák* tuskós területek talajművelésére készültek, közülük az ERDŐGÉP Kft. NT-6 típusú nehéz tárcsája, illetve az olasz NARDI, az amerikai ROME tárcsa (16. ábra) és a

közelmúltban megjelent ausztrál Savannah (17. ábra) érdemel említést.



16. ábra. ROME tárcsa



17. ábra. Savannah nehéz tárcsa

A ***hajtott kivitelű pásztakészítő tárcsák*** pásztánként egy- vagy két tárcsalevelűek, általában csonka kúp alakú, külső kerületükön csipkés tárcsalevelekkel. A tárcsák dőlésszöge és fordulatszáma változtatható, melynek segítségével elvégezhető az adott talajállapothoz szükséges optimális beállítás. Hajtásuk hidraulikus vagy hidromechanikus. Az első esetben a

hajtó hidromotor közvetlenül kapcsolódik a tárcsalevél tengelyéhez, az utóbbiban pedig fogaskerekes hajtóművön keresztül. Munkájuk közben a pászta vonalából kisöprik az esetlegesen ott maradt vágáshulladékot, továbbá a pászta felső talajrétegét oldalra mozgatják. A hajtott tárcsák lehetővé teszik minden olyan vágásterületen, illetve hó- és széltörés sújtotta területen a talaj-előkészítés elvégzését, ahol a tárcsát hordozó traktor munkát képes végezni. Sávosan, bakhátasan, vagy foltszerűen képesek a területen gyomtalanítani, illetve talajt lazítani. Hazai gyártásuk jelenleg nincs, importból szerezhetők be.

Több hazai erdőgazdaságnál a Brnói Mendel Mezőgazdasági és Erdészeti Egyetem Masarikův Erdei Tangazdaságának Křtiny Kutató Intézetében kifejlesztett TPF-1 (18. ábra) egytárcsás, illetve TPF-2 kéttárcsás erdészeti hajtott tárcsát sikeresen alkalmazzák. A hidraulikus hajtásnak és a 12 db váltakozva rövidebb és hosszabb tárcsafogaknak köszönhetően a tárcsa tuskós, köves, szederindás és egyéb gyomnövényzettel borított területeken is megfelelő munkát képes végezni. A rugalmas hidraulikának köszönhetően a tárcsa forgása nagyobb tuskókba, illetve kövekbe ütközve lelassul, illetve egy-egy pillanatra meg is állhat. A tárcsát a tárcsa hosszirányú tengelyéhez képest három helyzetbe lehet állítani, méghozzá 20, 32 és 45 fokos szögben. Általában lazább talajokon, olyan helyen, ahol főleg füves gyomnövényzet található, használjuk a 20 fokos szögbeállítást. A 32 fokos beállításnál a tárcsával minden talajféleséget meg tudunk művelni erőteljes elgyomosodás esetén is. Amennyiben a tárcsát a 45 fokos szélső helyzetbe fordítjuk, úgy egy keskenyebb, de mélyebb, kb. 20 – 30 cm mély megművelt sávot kapunk, a sáv mellé kihordott rögökkel és gyomokkal. Ezt a beállítást használjuk pl. olyan területeken, ahol a gyomkonkurencia nem túlságosan erős, és kézi ültetést alkalmazunk. A 45 fokos beállítással és dupla menettel jól meglazított bakhátakat tudunk kialakítani, melyek magassága 30 – 50 cm. Akkor, ha a megművelt sávnak szélesebbnek kell lennie, a 20 fokos beállítást alkalmazzuk, esetleg egymás mellett dupla sávot művelünk meg. Ezt a talaj-előkészítési módszert alkalmazták a Gemenci Erdő- és Vadgazdálkodási Rt. természetvédelmi területén, ahol a természetvédelmi törvény következtében kerülni kell a teljes talaj-előkészítésen alapuló technológiákat (Dózsa - Major, 2000).



18. ábra. TPF-1 hajtott tárcsa

Forgó késrendszerű pásztakészítő gépek

A forgó késrendszerű pásztakészítő gépek legelterjedtebb fajtái a pásztakészítő talajmarók.

A **pásztakészítő talajmarók** szerkezeti kivitelüket tekintve megegyeznek a teljes felület művelésére alkalmas talajmarókkal, csak kisebb munkaszélességűek, általában nagyobb rotorátmérőjűek és robosztusabb építésűek. A robosztusabb építés azért szükséges, mert nagyobb részt tuskós területeken használjuk őket.

Forgás közben a talajmarók szerszámai (az L alakú merevszárú kapák) a talajba hatolnak és abból szeleteket vágnak ki, amelyeket aztán rádobnak a dobra, ahonnan a talaj leesik. Amikor a kések behatolnak a talajba, és amikor a talajrészecskék a dobba ütődnek, por képződik. A gép munkája közben úgy osztályozza a talajrészecskéket, hogy a porfrakció kerül a felszínre. Ez a legnagyobb hátránya. A talajmarók különösen száraz talajon porítanak, a talajmorzsákat rontják, ezért csak optimális nedvességi viszonyok között használhatók célszerűen (Gál - Káldy, 1977; Sipos, 1972).

A nagy fordulatszám miatt a talajmarók igen jó aprítást, keverést végeznek és a talaj hézagterfogatát jelentősen megnövelik. Az ilyen talajban a szerves anyagok gyorsan lebomlanak. A munka minőségét a maródobok fordulatszáma és a haladási sebesség befolyásolja.

A talajmarók számos változata közül a ROTOR Frangitor erdészeti talajmarók (19.

ábra) alkalmazhatók tuskós területeken is. A ROTOR Frangitor gépek 80, 90, 110 és 120 cm-es munkaszélességben készülnek, művelési mélységük 10 – 40 cm. Köves területeken, és vastag (7 –12 cm átmérőjű) gyökerekkel átszőtt talajokon is használhatók.



19. ábra. ROTOR Frangitor típusú talajmaró

A közelmúltban jelentek meg a **speciális forgó késrendszerű pásztakészítők**, melyeket gyártójuk után bagodi pásztakészítőként ismerünk. Ezek a gépek alapvetően a tuskózás nélküli erdőfelújítási technológiák talaj-előkészítésének eszközei. Segítségükkel részleges (pásztás) talaj-előkészítés végezhető. Alkalmasak továbbá az erdővel borított területek alátelepítéskori-, valamint egyéb erdősítendő területek pásztás talaj-előkészítésére. Művelőszerszám együttesük passzív- és hajtott (forgó mozgású) művelőelemek kombinációjából áll. Bizonyos körülmények között a passzív művelőelemük nélkül is üzemeltethetők. Forgó művelőszerszámuk – mely az erőgép teljesítmény-leadó tengelyéről hajtott – a hátrahajló élű, szárnyas talajlazítók forgó változataként fogható fel. A késrendszer kialakításának köszönhetően alkalmas a tuskókon való átlépésre. A gép – a rászerezelt passzív művelőelem típusától függően – letisztítja a pászta felületét, eltávolítva róla a kisebb méretű vágástéri hulladékokat, sarjakat és lágyszárú aljnövényzetet. Forgó művelőszerszámával a talaj felső humuszos rétegét az alsóbb rétegekkel keveri. Porhanyóssá teszi a pászta talaját, ezáltal megkönnyíti az ültetést, és nagyban megnöveli a talaj vízelnyelő és vízmegtartó

képességét, amivel elősegíti a csemeték hatékonyabb megeredését, biztonságosabb megmaradását. A passzív művelőelemek lehetséges változatai: a késes csoroszlya, a pásztakészítő eke és a görgős szerkezet.

A gépcsaládnak már két típusa létezik:

- a BPG-600 típusú gép (20. ábra) nagyobb munkamélységű és kisebb munkaszélességű, és elsősorban a csemeteültetés előtti pászta készítésére alkalmas;
- a BMP-900 típusú gép pedig kisebb munkamélységű és nagyobb munkaszélességű művelésre képes, melyet állomány alatt alkalmazva a lehulló magok számára tud létrehozni kedvező magágyat (a lehulló magot, makkot képes bedolgozni a talajba) (Horváth, 1997).

A speciális pásztakészítők munkaszélessége: 0,6 – 0,9 m, munkamélysége: 0,15 – 0,25 m, forgó művelőszerszámuk fordulatszáma: 0,9 – 1,1 1/s, munkasebessége: 1 – 3 km/h, tömege: 600 – 700 kg, teljesítmény-igénye: 30 – 40 kW közötti (Horváth - Spingár, 1997).



20. ábra. BPG-600 típusú pásztakészítő gép

Tárcsás-láncos pásztakészítők

A tárcsás-láncos pásztakészítők szintén a tuskózás nélküli erdőfelújítási technológiák részleges talaj-előkészítésének eszközei. Ezen gépek letisztítják a pászta felületét, eltávolítva arról a kisebb méretű vágástéri hulladékokat, sarjakat és lágyszárú aljnövényzetet. A tárcsatagok olyan beállításúak, hogy a talaj felső rétegét – a rajta lévő vágástéri hulladékkal együtt – kifelé mozgatják, a láncos tag pedig a fellazított réteget oldalra söpri. Létezik a

gépnek olyan kivitele is, amely művelőszerszámként csak a láncos tagot tartalmazza.

Ezen gépek alkalmazása nem jellemző a magyar erdőgazdálkodásban, az erdőgazdálkodás gépesítettségének felmérése során egy ilyen géppel, a Vértes típusú láncos pásztakészítővel (21. ábra) találkoztunk.



21. ábra. Vértes típusú pásztakészítő gép

3.3 Foltos talaj-előkészítők

A foltos talaj-előkészítők közös jellemzője, hogy küllős kialakítású, forgó művelőszerszámaikkal egy sávon belül szakaszosan szaggatják fel a talajt, és ilyen módon készítenek művelt foltokat a tábla felszínén. A foltos talaj-előkészítés:

- kisebb összenergia-igénye miatt, illetve azért alakult ki, mert;
- az ilyen elven dolgozó gépek egyszerűen képesek a tuskókon átlépni.

A gépek munkájuk során foltos talajszaggatást végeznek úgy, hogy a felszaggatott foltok sávosan – a gép haladási irányával párhuzamosan – helyezkednek el. A gépek művelőszerszámai a talaj felső rétegét lehántják (felszaggatják) és a talajon lévő vágáshulladékkal együtt részben oldalra fordítják, részben maguk előtt tolják, és a megművelt foltok közti szakaszokon visszahagyják. A gépek által készített foltok hossza általában változtatható, és a megkívánt optimális értékre beállítható. A gépek művelőszerszámai az akadályokon (tuskók, kövek) a szerkezeti részek károsodása nélkül képesek áthaladni. Egy menetben – típustól függően – egy-, két- vagy három foltosra készítésére alkalmasak. A

többsoros gépek többségénél a sortávolság változtatható.

A foltos talaj-előkészítők – melyeket talajszaggatóknak vagy pásztakészítő szkarifikátoroknak is nevezünk – általában függesztett gépek. Üzemeltetheti őket univerzális traktor vagy speciális erdőszeti erőgép. Utóbbi esetben a függesztésük, azaz a szállítási- és a munkahelyzet közti átállás, a munkagépre szerelt hidraulikus rendszer vagy az erőgép csörlője segítségével valósítható meg.

A művelőszerszámok általában hidraulikus előfeszítésűek – azaz a művelőszerszám munkahelyzetét egy hidraulikus munkahengerrel kitámasztott ellendarab biztosítja. A művelőszerszám továbbfordulása akkor következik be, ha rajta a talajjellenállásból következő nyomaték nagyobb lesz, mint a hidraulikus támasz biztosította nyomaték. Utóbbi a hidraulikus rendszer nyomásával lehet a kívánt értékre – a megvalósítandó folthossznak megfelelő értékre – beállítani. Ugyanez történik akkor is, ha a művelőszerszám tuskóval találkozik.

A talajszaggató gépek közül eddig a Svendlung AB svéd cég LENO-78 típusú talajszaggató gépét vizsgálták hazai körülmények között (*Horváth - Spingár, 1996*). A gép egy menetben két egymással párhuzamos sávban készít foltokat. A művelő elemek speciálisan kialakított, tépőkarokkal ellátott tárcsák. A LENO-78 típusú talajszaggató üzemeltetéséhez csörlővel felszerelt erdőszeti traktor szükséges. Alkalmas állomány alatti és vágásterületi talajszaggatásra, sík és lejtős területeken egyaránt. A felszaggatott foltok hossza középkötött talajon 0,5 – 3 m között állítható.

Európa számos országában alkalmazzák a különböző univerzális traktorra, illetve speciális erőgépre szerelhető talajszaggatókat. A függesztett kivitelű Kobold talajszaggatót mutatja a 22. ábra.



22. ábra. Kobold típusú talajszaggató

3.4 Tányéros (fészkes) talaj-előkészítők

Tányéros vagy fészkes talaj-előkészítésről akkor beszélünk, ha a talaj felületén hossz- és keresztirányban megközelítőleg azonos méretű – általában kör alakú – megmunkált részek keletkeznek. A megmunkált felületrészek átmérője kisebb 1 m-nél.

A tányéros (fészkes) talaj-előkészítők függőleges tengely körül forgó művelőszerszámú gépek. Művelőszerszámuk művelőeleme általában:

- boronafog;
- kultivátor kapa vagy
- tárcsalevél.

A tányéros (fészkes) talaj-előkészítők gyakorlatilag mindig függesztett gépek. A boronafogas és a kultivátor kapás művelőelemű gépeknél a fogak egy olyan vázra kerülnek, amely felülnézetben kör keresztmetszetű. Ezt a szerszámot függőleges irányban előtolva – a megkívánt munkamélységnek megfelelően – és függőleges tengely körül megforgatva történik meg a kör felületű talajművelés. Az ilyen szerszámot általában nem önmagában, hanem más

munkaművelet – pl. gödörfúrás – szerszámmal együtt alkalmazzuk. Ilyen komplett szerszámú gép pl. a tányérozó gödörfúró (23. ábra).



23. ábra. Tányérozó gödörfúró

A tárcsaleveles művelőelemű gépek egyik változatánál a viszonylag kis átmérőjű tárcsalevelekből álló tárcsatag szabadon forog a saját tengelye körül, mely vízszintes, és forog egy hajtott függőleges tengely körül (24. ábra). Munkájának eredménye a tárcsatag szélességével megegyező átmérőjű tányér. Másik változatánál (24. ábra) a normál méretű tárcsalevelek száma kevesebb, melyek egyenként csapágyazva egy körbeforgó vázon helyezkednek el. A talaj felületén a művelt tányér kialakulását vágókések is segítik. A művelőszerszámot általában hidromotor forgatja. Hazai gyártásuk jelenleg nincs.

Mind a foltos, mind a tányéros talaj-előkészítők nagyobb mérvű hazai alkalmazása indokolt lenne, ezt kívánja a természetközeli szemlélet is.



24. ábra. Tárcsaleveles művelőelemű tányérazó gépek

4. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK, A KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

4.1 Próbavizsgálatok a kísérleti módszer kidolgozásához

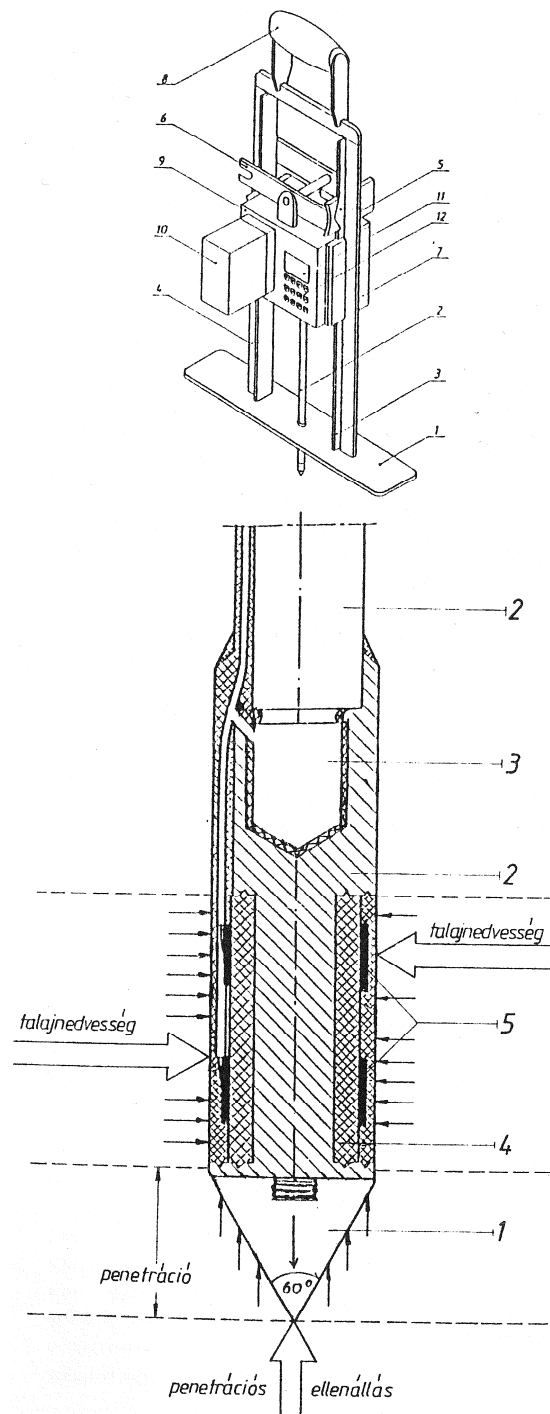
A talaj fizikai-mechanikai jellemzői közül a talajművelés szempontjából – szakirodalmi adatok és saját vizsgálataink alapján – meghatározó a talajellenállás, a tömörség és a nedvességtartalom. Ezek tuskós területekre vonatkozóan teljesen ismeretlenek. A mezőgazdaság területén rendelkezésre álló jellemzők az erdei talajok esetében viszonylag ritkán alkalmazhatóak, mivel a mezőgazdasági és erdészeti kultúrák más-más talajtípusokon fordulnak elő, továbbá a fák gyökérzetének következtében a talajjellemzők jelentősen megváltoznak.

A kutatási célkitűzésekben vázoltaknak megfelelően, ezért az erdei talajok talajmechanikai jellemzőinek megismerését tűztük célul, arra kerestük a választ, hogy a fák gyökerei milyen hatással vannak a talaj mechanikai jellemzőire, azaz miként 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 et. al, 2009*).

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

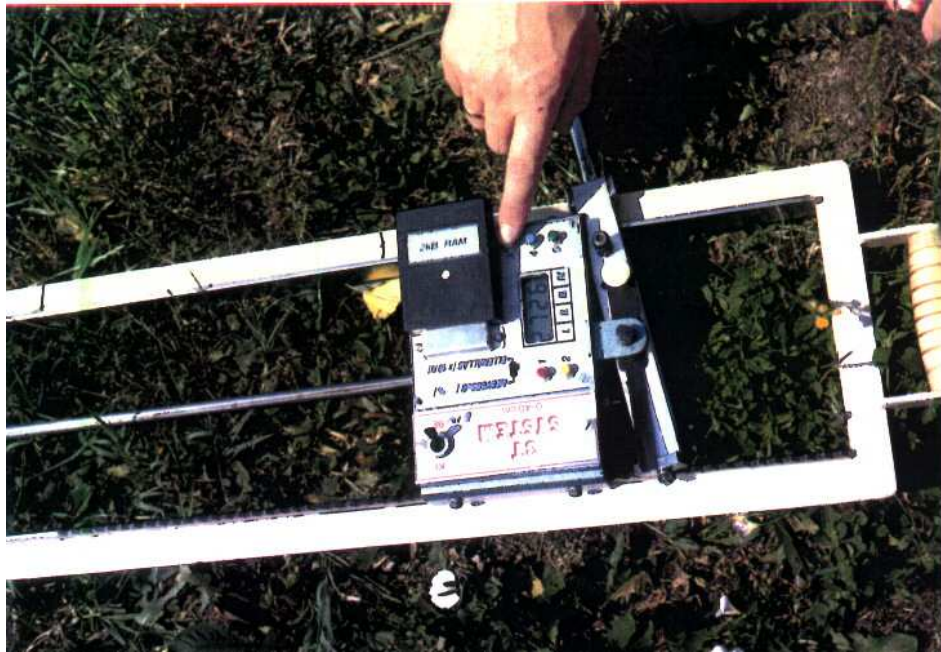
A talajellenállás-méréseket „3T System” elektronikus rétegindikátorral végeztük (25. *ábra*). A készülék kézi működtetésű eszköz, amely 1 cm-es talajrétegenként összetartozóan méri a talaj nedvességtartalmát és tömörségét. A talaj nedvességtartalmát a szabadföldi vízkapacitás (pF 2,5) %-ban kifejezett részarányaként térfogat %-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 kiértékelhetőek. A mérőberendezés alkalmazásához a mérési hely talajának agyagtartalmát ismerni kell, melynek alapján a mérőberendezésen az agyagtartalomnak megfelelő kód-értéket be kell állítani (26. *ábra*).



25. ábra. A 3T System (Termőhelyi Talaj Teszter) felépítése

A méréseket 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).

A próbavizsgálatokat a Tanulmányi Erdőgazdaság Rt. Soproni Erdészetének Sopron 91/B erdőrészletében, a Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőrendezési Intézeti Tanszékének kísérleti területén végeztük.



26. ábra. A 3T System (Termőhelyi Talaj Teszter)

Az erdőrészlet fontosabb jellemzői:

Talajjellemzők:

- genetikai talajtípus: agyagbemosódásos barna erdőtalaj (ABE);
- fizikai talajféleség: agyagos-vályog (K_A : 47);
- hidrológiai viszony: többlet vízhatástól független (VFLEN);
- termőréteg vastagság: mély (MÉ).

Faállomány jellemzők:

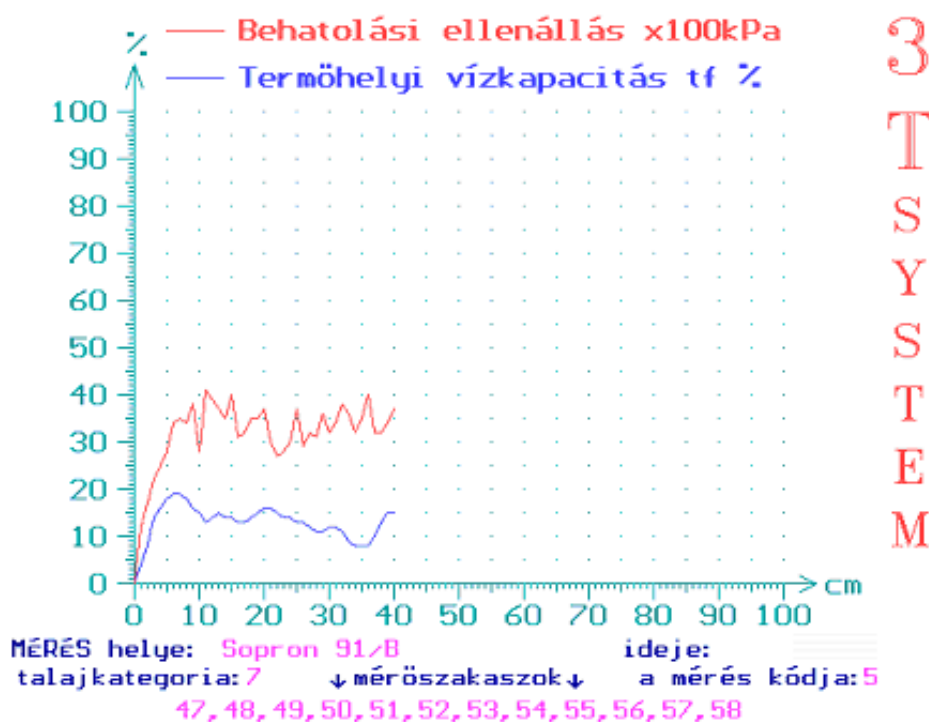
- elegyes állomány (kocsánytalantölgy, lucfenyő, vörösfenyő, gyertyán);
- kor: 89 év;
- átlagos mellmagassági átmérő: 36 cm;
- hektáronkénti törzsszám: 370 db/ha.

A kísérleti területen minden egyes fa sorszámmal van ellátva, ismert pontos helye és jellemzői: fafaja, koordinátája, kora, mellmagassági átmérője stb. A kísérleti terület helyszínrajzának részletét a 2. melléklet tartalmazza.

A kiválasztott fák körül koncentrikus körök mentén a fáktól távolodva 0,5 m-enként 3,0 m távolságig mértük a talajellenállást. Ennél távolabbi méréseknek nincs jelentősége, mivel itt már – a hektáronkénti törzsszámból adódóan – a másik faegyed „hatósugarába” kerülünk.

A talajművelés a talaj felső 40 cm-es rétegében történik. 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 *et. al.*, 1968; Mihály, 1993). A műszer készítésénél ezeket a feltételeket figyelembe vették, így a műszer mérési tartományát kihasználva 40 cm mélységig mértünk.

Méréseink szerint a talajellenállás a mélység függvényében a talaj felső 40 cm-es rétegében közel állandó értéket mutat a felső humuszos réteg kivételével (27. ábra).

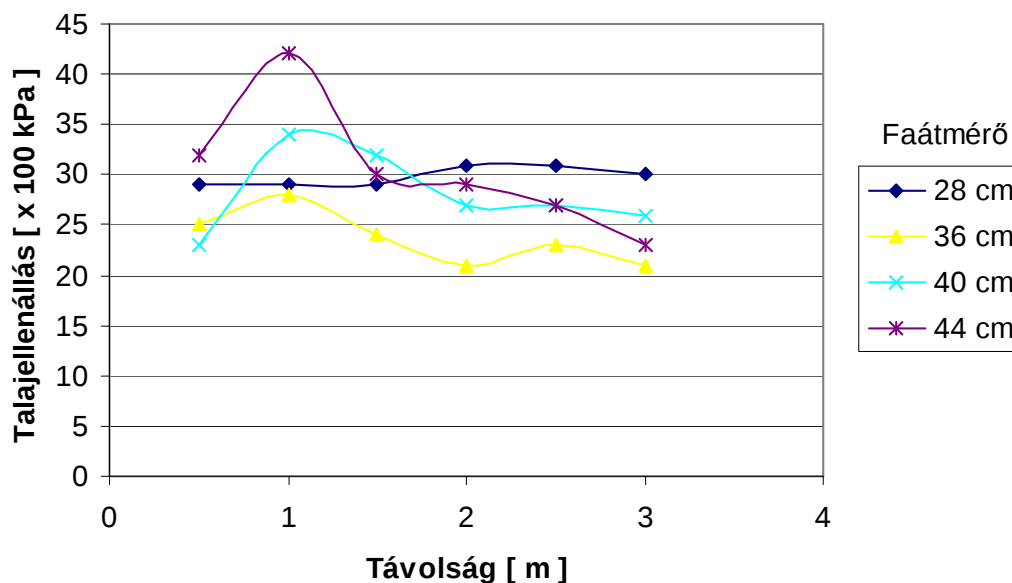


27. ábra. Tuskós terület talajellenállásának és nedvességtartalmának változása a mélység függvényében

A talajellenállás és talajnedvesség kapcsolatát t-próbával vizsgálva, megállapítható, hogy nulla a valószínűsége, hogy a két mennyiség között összefüggés áll fenn.

A próbavizsgálatok során nyert mérési eredmények középértékeit ábrázolva látható, hogy a gyökérzet talajellenállásra gyakorolt hatása kimutatható (28. ábra).

A talajellenállás-mérések elvégzése után a mérési eredmények helyességének ellenőrzésére egy fa esetén gyökérfeltárást is végeztünk (29. ábra). A feltárt gyökerekről fénykép készült, melyből a Digiterra Map segítségével ortofotót készítettünk. A mért adatokat is felvittük a Digiterra Map térinformatikai szoftver segítségével készített 3 dimenziós modellre, így lehetőség nyílt a programban az egymás fölött megnyitott rétegek (a mért adatok és a gyökerek elhelyezkedése) összevetésére.



28. ábra. A gyökérzet hatása a talajellenállásra

Összegezve megállapítható, hogy a próbavizsgálatok során kialakítottunk egy vizsgálati módszert, melynek alapján a továbbiakban az érdemi vizsgálatok elvégezhetők.

Megállapítottuk, hogy a gyökerek elhelyezkedése és a talajellenállás változása között korreláció van, így a talajellenállás-mérések alkalmasak a gyökérzet hatásának kimutatására.



29. ábra. Gyökérfeltárás

4.2 Erdei talajok talajfizikai jellemzőinek meghatározása

4.2.1 Kúposindex mérés eredményei

A talajellenállás, az átmérő és a fától való távolság közötti összefüggés pontos feltárására, a gyökérzet hatásának számszerűsítésére további vizsgálatokat végeztünk.

A mérési helyeket a Tanulmányi Erdőgazdaság Rt. Soproni Erdészetének 79/A és 80/B erdőrészeiben jelöltük ki, az erdőrészen belüli elhelyezkedésük a 3. mellékleten látható. Az erdőrészek adatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A méréssel érintett erdőrészek adatai

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

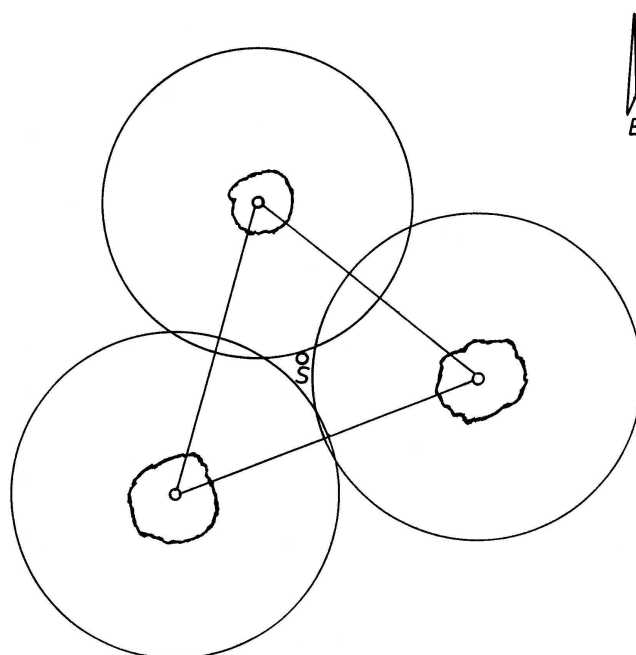
Egy mérési helyen három fát választottunk ki (30. ábra). A kiválasztott fák körül koncentrikus körök mentén a fáktól távolodva 0,5 m-enként 3,0 m távolságig (6 körben 72 ponton) mértük a talajellenállást. Hasonló adottságú, faállomány nélküli terület hiányában a három fa súlypontjában is végeztünk méréseket, feltételezve, hogy a gyökereknek ott már nincs befolyása. Minden mérés pontos helyét meghatároztuk, így lehetőség van a mérések megismétlésére (későbbi ellenőrzésére). A mérési pontok elhelyezkedése egy adott fa körül a 31. ábrán látható.

A méréseket nyolc helyen összesen 24 faegyed körül végeztük. Ezeket úgy terveztük meg, hogy a területen található fák átmérő-intervallumát lefedjük. Az elegyes állományban a mérési helyeket úgy jelöltük ki, hogy a mintákba csak kocsánytalan tölgyek kerüljenek.

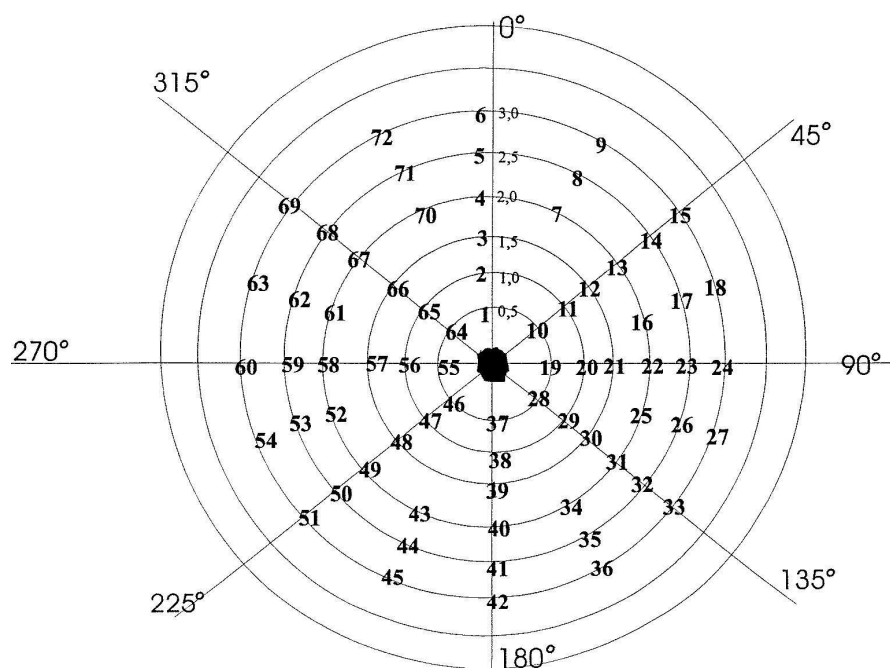
A terepi mérések során jegyzőkönyvben rögzítettük a mérés jellemzőit és körülményeit. Erre mutat példát a 4. melléklet.

A kiértékelést igen nagy számú (összesen $8 \times 3 \times 72$, azaz 1728) mérés alapján végeztük, mivel a pontszerű mérések szórása igen nagy (Komándi, 2010). 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.



30. ábra. A mérési hely



31. ábra. A mérési pontok elhelyezkedése

A 3T System mérőkészülék által rögzített adatokat ASC II fájlformátumba exportáltuk, majd Microsoft Excel program segítségével rendeztük, amit a statisztikai elemzés követett. Ehhez egy széleskörű, többváltozós függvények illesztésére is alkalmas, megfelelő grafikus megjelenítéssel bíró programcsomagot (STATISTICA) használtunk. A statisztikai program segítségével korrelációanalízist és regressziószámítást végeztünk. A tényezők közti kapcsolat erősségét a *Pearson* korrelációs együtthatóval jellemeztük.

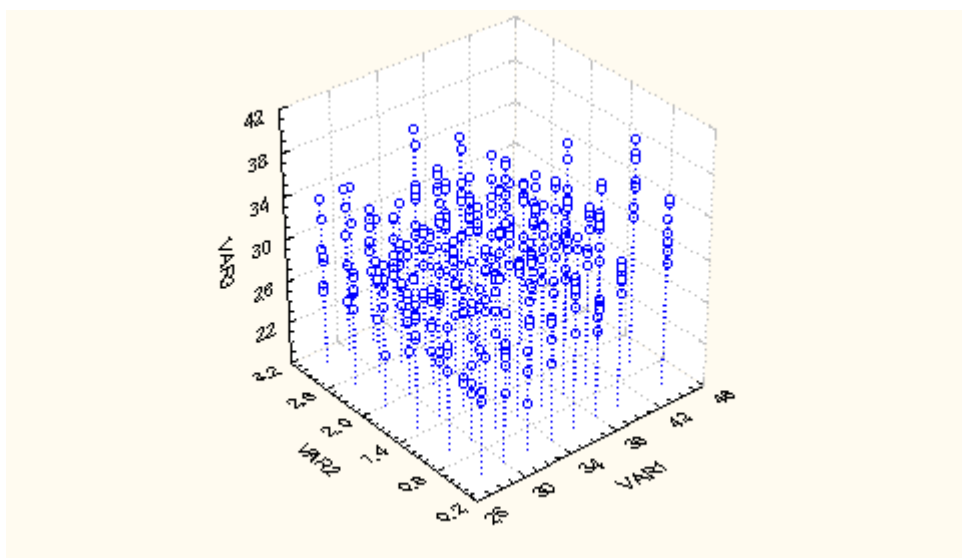
A mért talajjellenállás-értékek a 32. ábrán láthatóak,

ahol: **var1** változó az átmérőt,

var2 változó a fától való távolságot,

var3 változó a talajjellenállást jelöli.

Az adathalmaz korrelációs mátrixát a 2. táblázat tartalmazza.



32. ábra. A mért talajjellenállás-értékek

2. táblázat. A teljes adathalmaz korrelációs mátrixa

	átmérő	távolság	talajjellenállás	nedvességtartalom
átmérő	1,00	0,00	0,28	0,21
távolság	0,00	1,00	-0,23	-0,19
talajjellenállás	0,28	-0,23	1,00	0,52
nedvességtartalom	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 talajjellenállás-értékeket átlagoltuk, majd a felület illesztése az átlagértékekre történt.

Az átlag értékek korrelációs mátrixát a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. Az átlagértékek korrelációs mátrixa

	átmérő	távolság	talajjellenállás	nedvességtartalom
átmérő	1,00	0,00	0,40	0,20
távolság	0,00	1,00	-0,49	-0,37
talajjellenállás	0,40	-0,49	1,00	0,62
nedvességtartalom	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 pontthalmazra (Csanády, 1993).

$$p = a_1 \cdot r^2 + a_2 \cdot d_{1,3}^2 + a_3 \cdot (r \cdot d_{1,3})^2 + a_4 \cdot d_{1,3} + a_5 \cdot r^{a_6} + a_7, \quad (6)$$

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

r : a fától való távolság [m],

$d_{1,3}$: a faátmérő [cm].

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.

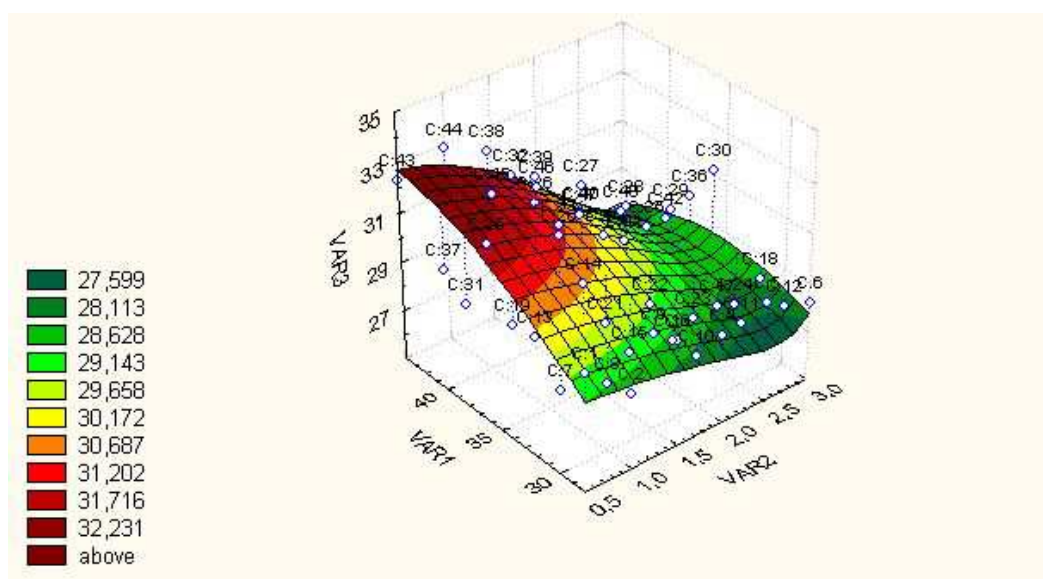
4. táblázat. A regressziós modell együtthatói

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

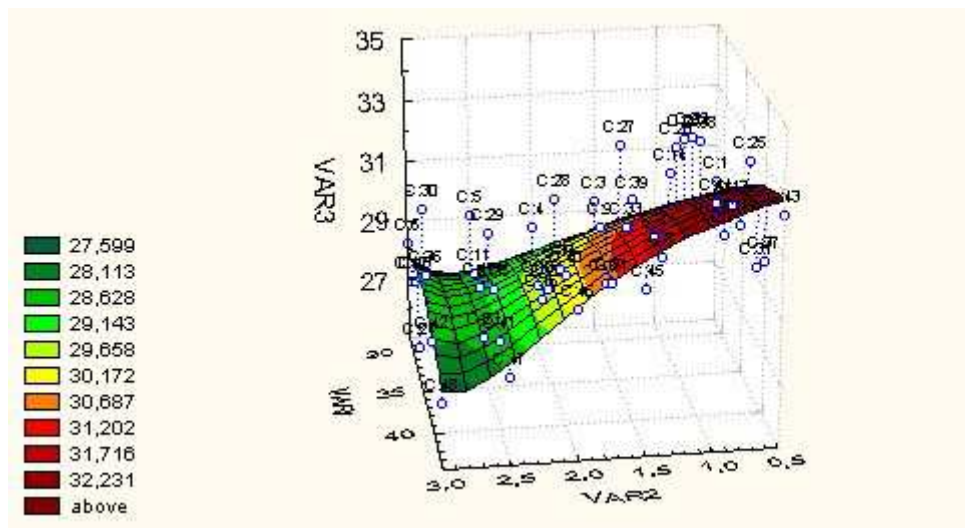
A korrelációs együttható, mely a változók közti kapcsolatot szorosságát jellemzi: $R = 0,72213$. Ez a mérési értékek jellege miatt, és felület illesztése végett megfelelőnek mondható. Ennél jobb korrelációs érték csak az adatok további finomítása révén (pl. a közgazdaságtanban alkalmazott, és már műszaki területen is elterjedt hármas mozgó 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 távolság értékeket, kapjuk lépésenként a parciális függvényeket, melyek megadják az adott átmérő, illetve az adott távolság esetén a talajellenállás változását.

Az illesztett felület térbeli ábrázolása a ponthalmazokkal a 33. ábrán látható. A ponthalmaz, valamint a regressziós modell helyzetének bemutatására egy elforgatott helyzetű ábra is készült (34. ábra).



33. ábra. Az illesztett felület

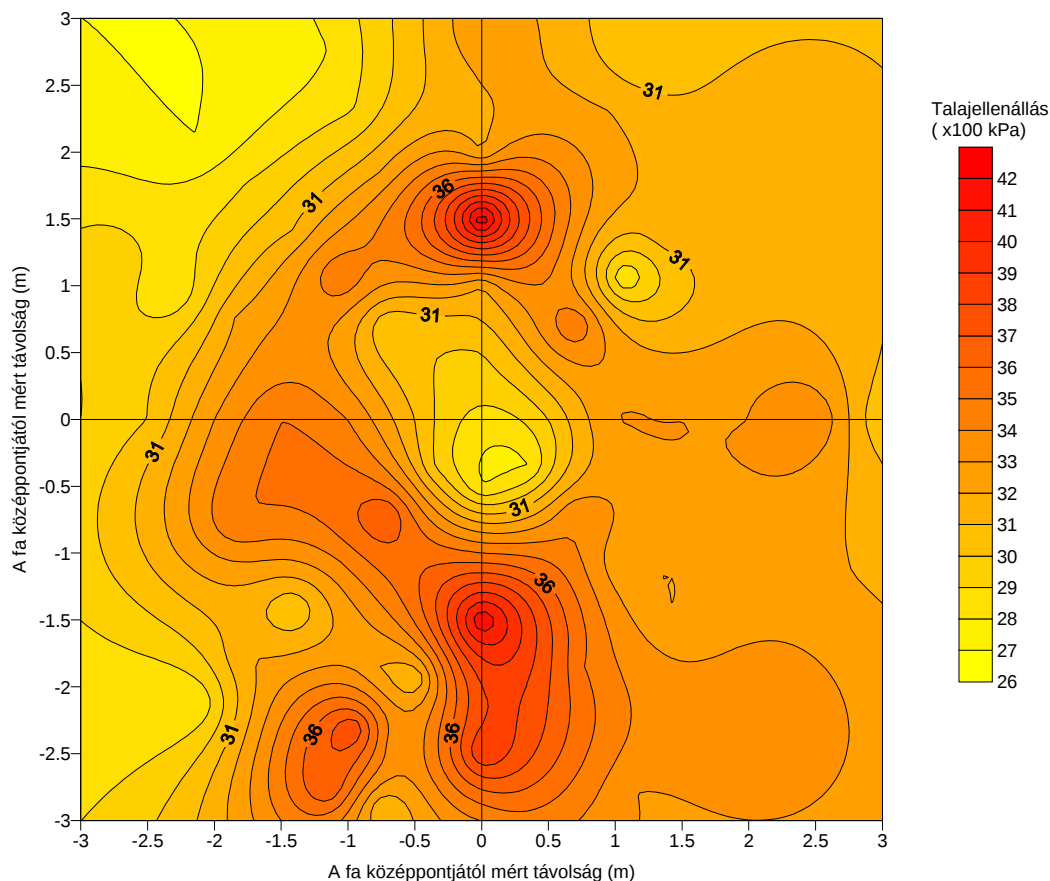


34. ábra. Az elforgatott helyzetű illesztett felület

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 talajok esetében. Azon fák esetében, amelyek mellmagassági átmérője 30 cm-nél kisebb, gyökérzetének hatását a talajellenállás változására nem tudtuk kimutatni.

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.

40 cm mellmagassági átmérőjű kocsánytalan tölgy környezetének talajellenállás modelljét mutatja a 35. ábra.



35. ábra. $d_{1,3} = 40$ cm-es KTT környezetének talajellenállás modellje

4.2.2 Teljes talajtani vizsgálat eredményei

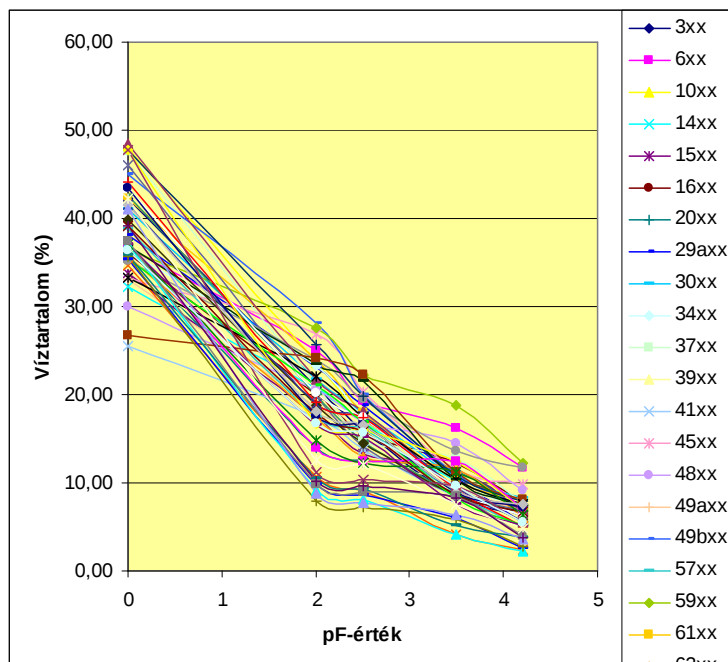
A talajellenállás-mérések mellett a mérési helyeken és a „súlypontokban” talajmintákat is vettünk. A talajmintavétel jegyzőkönyvére mutat példát az 5. melléklet. A mintákat a Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karának Növényteni és Termőhelyismerettani Intézetének laboratóriumában teljes talajtani 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 pórustere nagyságának, valamint azon belül a különböző átmérő-tartományú pórusok arányának leírására pF-vizsgálatokat végeztünk. A pF-vizsgálatok összesített adatait a 36. ábra mutatja, az ebből számított összes pórustereket és az egyidejűleg meghatározott térfogattömegeket pedig az 5. táblázat tartalmazza.

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 ugyanezen értékek 41,21 %, 34,94 % és 38,42 %. A térfogattömegek ugyanilyen sorrendben a fák átlagában $1,10 \text{ g/cm}^3$, $1,22 \text{ g/cm}^3$ és $1,21 \text{ g/cm}^3$, a kontrollterületen pedig $1,02 \text{ g/cm}^3$, $1,32 \text{ g/cm}^3$ és $1,29 \text{ g/cm}^3$.



36. ábra. A talajtani vizsgálatok során nyert pH görbék

A pórusterek nagysága a vártak 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 összpórozításban nem mutatható ki különbség, ami azonban a pórustér átmérőeloszlásában (differenciálpórozitás) megmutatkozhat. Ennek felülvizsgálatára összehasonlítottuk a diszponibilis víz számára rendelkezésre álló pórustérfogatokat, mely eredményeket a 6. táblázat és a 37. ábra tartalmazzák.

A diszponibilis (hasznosítható) víz vizsgálattal a vegetációs időszakban a növények számára felvehető víztartalmat jellemezzük. Ezen víz a kapilláris pórusterekben foglal helyet, tehát a differenciál pórozitáson belül azt a pórustér nagyságot mutatja, amelyből a gyökök a talajban tárolt vizet fel tudják venni.

5. táblázat. Az összes póruster és a térfogattömegek adatai

Minta helye	Mélység [cm]	Ismétlés	Összes póruster [térf.%]	Térfogattömeg [g/cm ³]
1/1 pont	0 – 10	átlag	37,26	1,20
1/1 pont	10 – 20	átlag	35,75	1,15
1/1 pont	20 – 40	átlag	34,26	1,18
1/2 pont	0 – 10	átlag	40,21	1,18
1/2 pont	10 – 20	átlag	41,52	1,24
1/2 pont	20 – 40	átlag	34,67	1,14
1/3 pont	0 – 10	átlag	40,35	1,18
1/3 pont	10 – 20	átlag	42,30	1,30
1/3 pont	20 – 40	átlag	41,63	1,39
1/S pont	0 – 10	átlag	39,67	1,07
1/S pont	10 – 20	átlag	34,08	1,31
1/S pont	20 – 40	átlag	40,82	1,19
6/1 pont	0 – 10	átlag	40,68	1,02
6/1 pont	10 – 20	átlag	36,54	1,14
6/1 pont	20 – 40	átlag	33,94	1,10
6/2 pont	0 – 10	átlag	41,09	1,18
6/2 pont	10 – 20	átlag	40,11	1,14
6/2 pont	20 – 40	átlag	36,93	1,16
6/3 pont	0 – 10	átlag	39,16	1,04
6/3 pont	10 – 20	átlag	33,21	1,14
6/3 pont	20 – 40	átlag	45,51	1,09
6/S pont	0 – 10	átlag	42,75	0,96
6/S pont	10 – 20	átlag	35,79	1,33
6/S pont	20 – 40	átlag	36,02	1,38

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

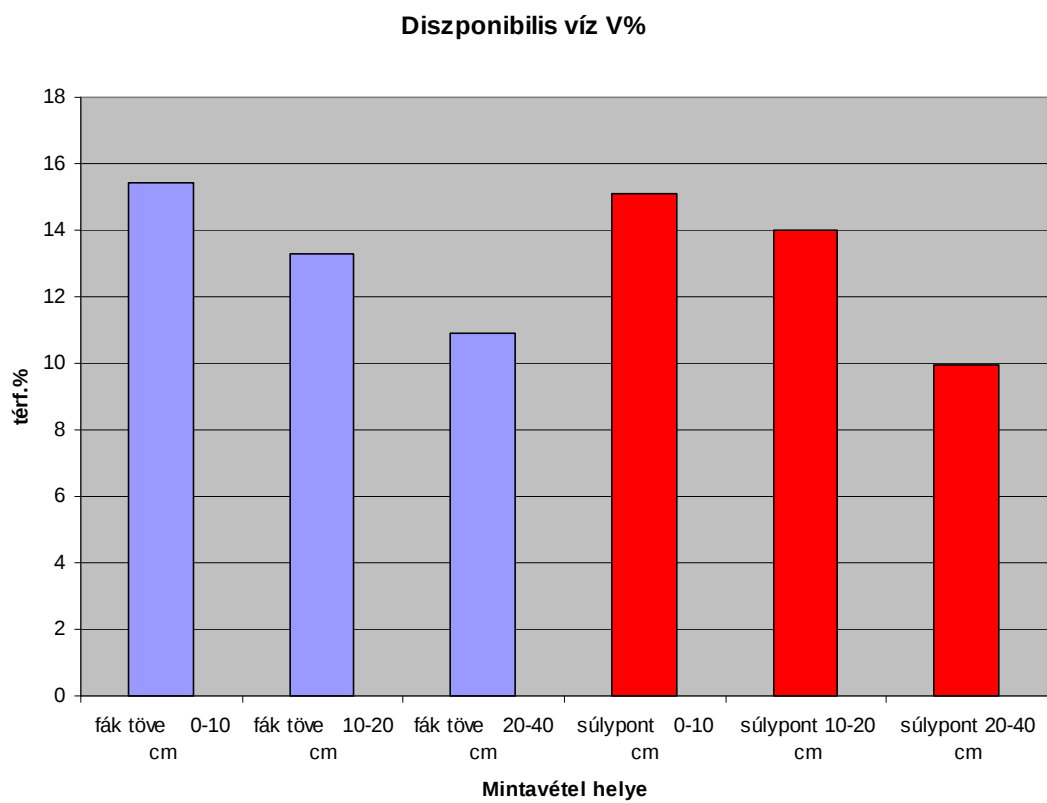
A fák közvetlen tövétől származó, illetve a kontrollterületről származó minták diszponibilis víztartalma sem mutat szignifikáns különbséget. A felső 10 cm-es humuszos réteg diszponibilis víztartalma a legnagyobb, ez 15 % körüli, amely a mélységgel fokozatosan csökken.

6. táblázat. A diszponibilis víz számára rendelkezésre álló pórustérfogat értékek

Minta helye	Mélység [cm]	Ismétlés	DV % átlag
1/1 pont	0 – 10	2	13,4
1/1 pont	10 – 20	2	8,2
1/1 pont	20 – 40	2	7,1
1/2 pont	0 – 10	2	14,7
1/2 pont	10 – 20	2	18,0
1/2 pont	20 – 40	2	12,4
1/3 pont	0 – 10	2	13,7
1/3 pont	10 – 20	2	18,1
1/3 pont	20 – 40	2	14,7
1/S pont	0 – 10	2	19,1
1/S pont	10 – 20	2	15,6
1/S pont	20 – 40	2	11,2
6/1 pont	0 – 10	2	19,3
6/1 pont	10 – 20	2	14,6
6/1 pont	20 – 40	2	6,6
6/2 pont	0 – 10	2	18,1
6/2 pont	10 – 20	2	15,1
6/2 pont	20 – 40	2	11,8
6/3 pont	0 – 10	2	13,2
6/3 pont	10 – 20	2	5,7
6/3 pont	20 – 40	2	12,9
6/S pont	0 – 10	2	11,1
6/S pont	10 – 20	2	12,4
6/S pont	20 – 40	2	8,7

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.

Ezen eredmények megerősítik a próbavizsgálatok során nyert következtetéseinket, mely szerint a fák közelében a nagyobb talajellenállás-értékeket a gyökerek okozzák.



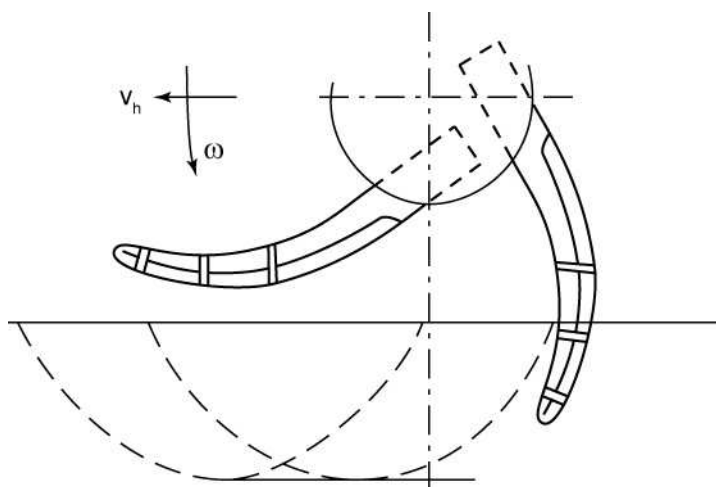
37. ábra. A diszponibilis víztartalom az egyes mérési helyeken

4.3 Forgó késrendszerű talajművelő szerszámok elemzése

4.3.1 Mozgás- és erőtani elemzés

A közelmúltban jelentek meg a speciális forgó késrendszerű pásztakészítő gépek. Ezek gyakorlati tapasztalatok alapján készültek, nem ismertek mozgás- és erőtani jellemzőik, működésük elméleti alapjai. Vizsgálataink közben ennek pótlására vállalkoztunk.

A pásztakészítő gép talajművelő szerszáma lényegében egy négyágú forgó kapa, amelynek kése ívelt, s erre három szárny van felhegesztve, a végek felé keskenyedő szárnyszélességgel (38. ábra).



38. ábra. A forgó késrendszerű pásztakészítő gép szerszámainak elhelyezkedése

A szerszámok mozgás- és erőtani elemzéséhez a pásztakészítő gépeken (BPG-600 és BMP-900) a kardántengelyre eső forgatónyomaték és lengés/rezgés változásainak megállapítására végeztünk méréseket.

A mérések helyszíne egy tuskós vágásterület volt.

A pásztázógépeket MTZ-82 típusú erőgéppel üzemeltettük.

Fordulatszám: $n = 540 \text{ 1/min.}$

Mért kardántengely: Agdrive AW 20071 (W2200-nak megfelelő), $L_z = 710$.

Szögajtómű: egyedi kivitelű, $i = 5,09:1$ (módosítás).

A mérőagyat a kardántengely hajtómű felőli oldalán helyeztük el. A pásztázógépeket egy olyan tuskónál indítottuk be, amit biztosan nem tudnak kifordítani. Itt végeztük el a méréseket.

A kísérlet eredményeként megállapítottuk, hogy a pásztakészítő gép (BPG-600 típus) forgatónyomaték maximuma: 950 Nm, a közepes forgatónyomaték pedig: 300 – 400 Nm között változik, míg a BMP-900 esetében a maximális forgatónyomaték 1250 Nm (*Kaifás, 1964*).

A mérések során készült diagramokat a 6. *melléklet* tartalmazza.

A mérési eredmények alapján javasolt kardántengely,

- a mellékhajításba beépített túlterhelésgátló esetén: W2300-SD15-860-Ov/I;
- alternatív esetben: W2300-SD25-860-1b/2a-KB61/20 (1860 Nm), vagy
W2300-SD15-860-Ov/I-K92/4 (1050 Nm).

Javasolt hajtómű: GT-61-4,86:1.

4.3.2 Forgó szerszám munkaminőségének értékelése

A forgó késrendszerű talajművelő szerszám munkaminőségének jellemzéséhez mértük a talajellenállás értékét a traktor előtt, majd a lazított pásztában. A penetrométer mérőkúpját 0 – 40 cm mélységig toltuk le. Méréseinket a Sopron 152/C, 152/D, 161/A, 170/A, 170/B és 170/C erdőrészekben végeztük.

Az erdőrészek talajjellemzői:

- genetikai talajtípus: podzolos barna erdőtalaj (PBE);
- fizikai talajféleség: vályog;
- hidrológiai viszony: többlet vízhatástól független (VFLEN);
- termőréteg vastagság: mély (MÉ).

A mérési eredmények alapján megállapítottuk, hogy lazulás a talaj felső 15 – 20 cm-es rétegében történt. A lazítás előtt a talajellenállás értéke (24 – 37) x100 kPa között, a lazított talaj talajellenállás értéke (12 – 20) x100 kPa között változott. A pásztát másodszor megjárva további lazulás nem érhető el.

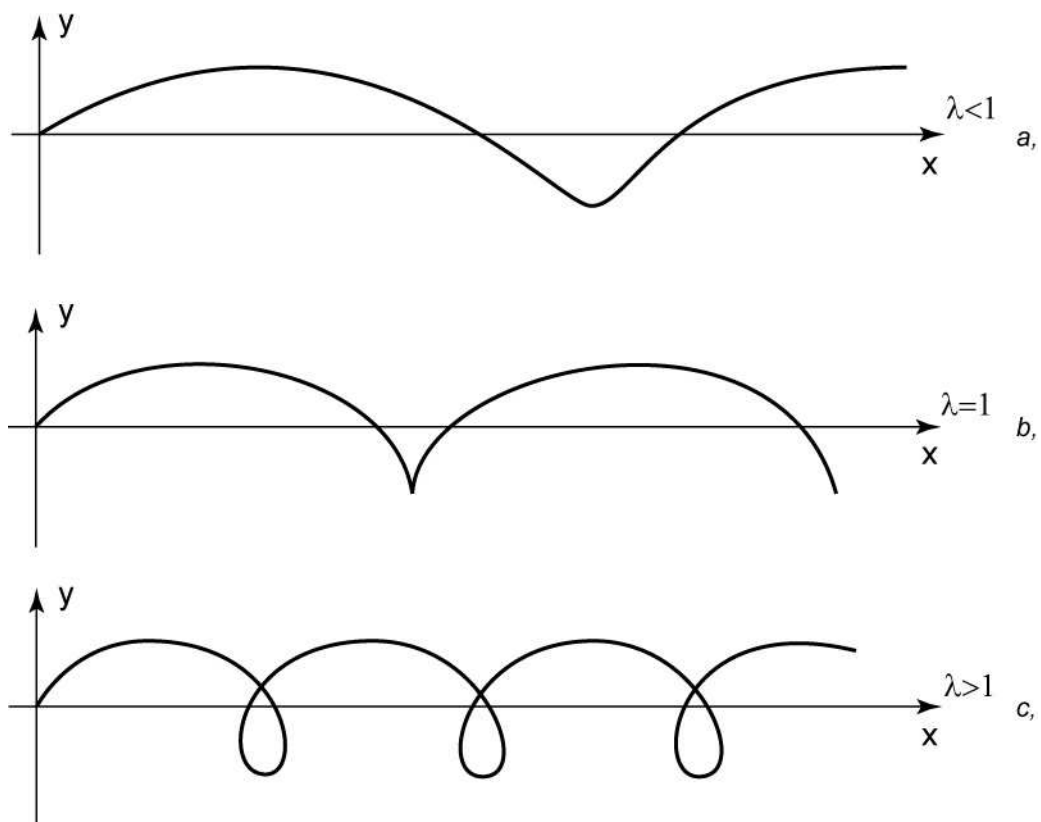
A pásztakészítő gép által így fellazított, levegős talajban ősszel, illetve télen könnyen kiszáradhat, illetve megfagyhat a csemete gyökere, ezért meg kell várni a tél folyamán bekövetkező ülepedést. Célszerű lenne a forgó művelőszerszám mögé beépíteni egy passzív művelőelemet, egy tömörítő hengert, az azonnali ültetés biztosítása érdekében.

4.3.3 Forgó szerszám kinematikája

A kapák pályagörbéinek jellemzésére az un. „kinematikai paraméter” szolgál:

$$\lambda = \frac{v_{kerületi}}{v_{haladási}} = \frac{R \cdot \omega}{v_h}, \quad (7)$$

Tapasztalati adatok szerint a λ -paraméter értéke normál üzemviszonyok között 2 – 6 között változik. Erdőtalajokon 4 – 16 értékeket is elérhet. Az összetett mozgást végző kapák pályagörbéi a „ λ ” értékétől függenek. A 39. ábra a lehetséges pályagörbe alakokat mutatja be.



39. ábra. A szerszám pályagörbéi

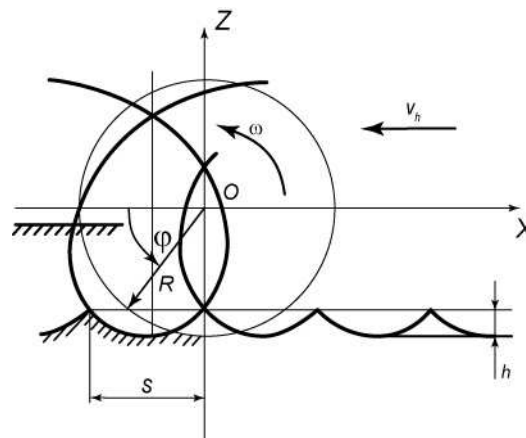
a) nyújtott ciklois, b) csúcsos ciklois, c) hurkolt ciklois

Mivel a kapák talajjal való érintkezése a pályagörbe alsó szakaszán zajlik le, célszerű megvizsgálni a technológiai folyamat munkaminőségét befolyásoló paraméterek hatását.

Két egymást követő kapa által kivágott talajszelvény távolsága, hurkolt cikloisú pályagörbe esetén (40. ábra):

$$s = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda \cdot z}, \quad (8)$$

ahol: R : a szerszám sugara [m],
 λ : kinematikai paraméter,
 z : a szerszámok száma [db].



40. ábra. A művelési mélység változás geometriája (hullámosság a talajon)

A barázdafenék hullámossága:

$$h \cong R \cdot (1 - \sin \varphi), \quad (9)$$

A kapák által kivágott talaj keresztmetszete (A) és a talaj fajlagos ellenállása (K), továbbá a kapa szélességi mérete (b) alapján a kapákon ébredő erő közelítően:

$$F_k = \frac{A \cdot K \cdot \lambda \cdot z \cdot b}{2 \cdot R \cdot \pi}, \quad (10)$$

ahol: K : a talaj fajlagos ellenállása [N/m^2],
 A : a kivágott talaj keresztmetszet területe [m^2],
 b : a kapák szélessége [m].

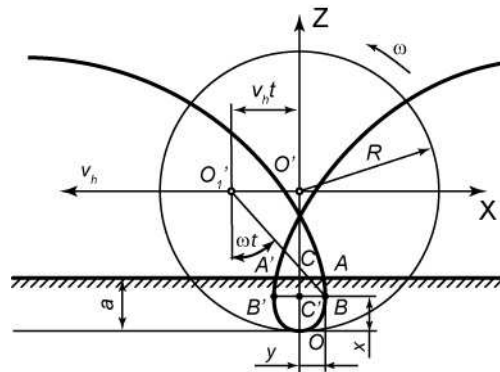
A kapák pontos szilárdságtani méretezése csak szabadföldi mérések és modern matematikai-mechanikai módszerek (végelem-módszer) felhasználásával végezhető el.

A keresztmetszet összefüggése a „ λ ” „kinematikai paraméterrel” az alábbi:

$$\lambda = \frac{\arccos \frac{D-2a}{D}}{\frac{4}{D} \sqrt{Da-a^2} - \arccos \frac{D-2a}{D}}, \quad (11)$$

ahol: a : a művelési mélység [m] (lsd. a 41. ábrán).

Az összefüggés lehetőséget biztosít a szerszám méretezésére a munkaminőségi (a) és a kinematikai paraméterek (ω , v_h) felhasználásával.



41. ábra. A szerszám által kivágott talaj keresztmetszet geometriája

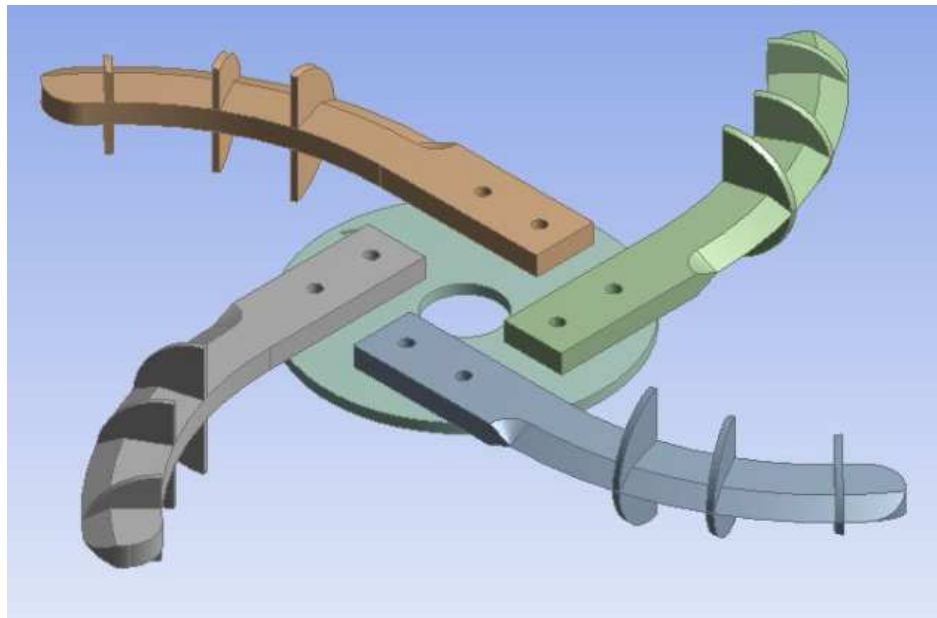
Az előbbieket felhasználásával a szerszám hajtásának nyomaték igénye közelítően számítható:

$$M = F_k \cdot R, \quad (12)$$

4.3.4 Forgó szerszám numerikus analízise

A forgó késrendszerű pásztakészítő gép numerikus analízisét is elvégeztük.

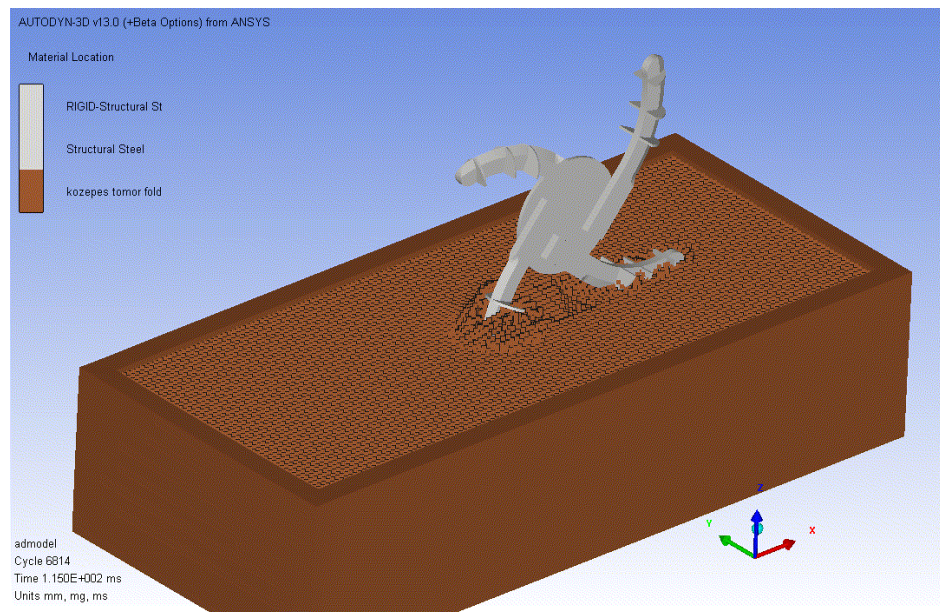
A pásztakészítő gép talajművelő szerszáma egy négyágú forgó kapa, amelynek kése ívelt ($R=340$ mm), s erre három pár szárny van felhegesztve, a végek felé keskenyedő szárnysszélességgel (55 mm, 45 mm és 35 mm). A szárnyak elhelyezése a kés ívére merőleges, a kések a forgásirányhoz viszonyítva hátrahajlóak. Az ívelt kések és a szárnyak 50° -os szögben vannak élezve a talajba hatolás megkönnyítése céljából. A forgó szerszám geometriai modelljét (42. ábra) Solid Edge programmal készítettük el, a numerikus analízis pedig az Ansys 13 végelelem programmal történt.



42. ábra. A forgó szerszám geometriai modellje

A geometria előkészítésének fázisában először az Ansys program DesignModeler moduljában kialakítottuk a szerszámot körülvevő talaj modelljét. A talaj felszínét a szerszám tengelyétől 200 mm-re definiáltuk, így a kapa geometriai méreteiből adódóan a munkamélység 220 mm. A szerszám köré 1100 mm hosszú, 600 mm széles és 350 mm mély talajvályút készítettünk (43. ábra).

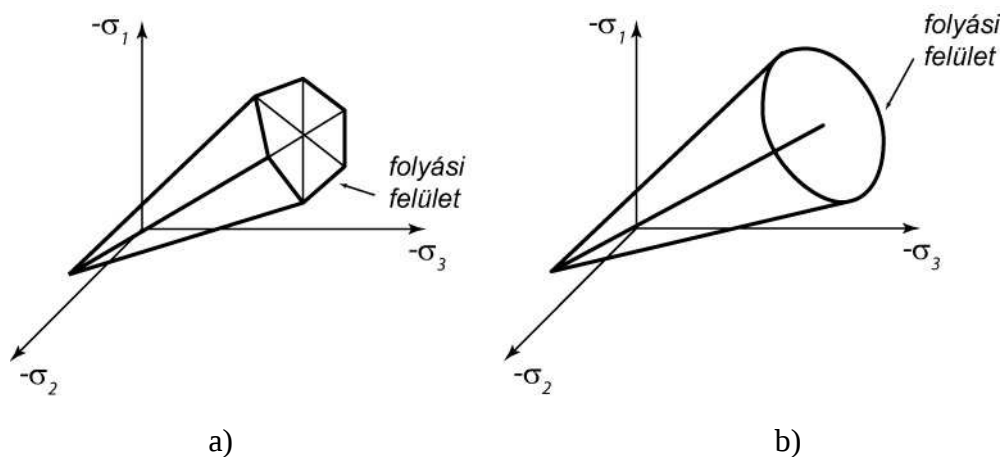
A jobb minőségű hálózás érdekében a geometriai modellen egyszerűsítéseket hajtottunk végre, nevezetesen a csavarfuratokat és a tengely furatát eltüntettük.



43. ábra. A forgó szerszám és a talajvályú

A modellezés során a szerszám hálózására tetraéder elemeket alkalmaztunk.

A talajlazítót merev testnek tekintettük, a talaj szilárdságtani tulajdonságainak leírására pedig a Drucker-Prager anyagmodellt alkalmaztuk (Bojtár, 1988). A Drucker-Prager anyagmodell a Mohr-Coulomb anyagmodell egy módosítása. A D-P modell alakja a főfeszültségi térben egy kúp (44. ábra), így ennél az alakzatnál numerikus számítási problémák nem lépnek fel a képlékenységi felületen.



44. ábra. Folyási feltétel 3 dimenziós feszültségi állapot esetén

a) Mohr-Coulomb modell; b) Drucker-Prager modell

Az anyagmodell alapadatait (közepesen tömör talaj) a BME Építőmérnöki Kar Geotechnikai Tanszékének mérési eredményei szolgáltatták (Mouazen - Neményi - Horváth, 1998), mivel erdei talajokra ilyen irányú vizsgálatok nem történtek (7. táblázat).

7. táblázat. A talaj és a talaj - szerszám kapcsolat tulajdonságai

Jellemző	Érték
<i>Talajjellemzők:</i>	
– kohézió [kPa]:	15,5
– belső súrlódási szög [fok]:	31,8
– sűrűség [kg/m ³]:	1731
– Poisson tényező:	0,3596
– Young modulus [kPa]:	8067
<i>Talaj és szerszám kapcsolatának jellemzői:</i>	
– talaj - fém közötti súrlódási szög [fok]:	23
– talaj - fém közötti adhézió [kPa]:	0

A forgó szerszám működése (haladó és forgó mozgás együtt) tranziens jelenség, amely közben nagy erőhatások, illetve elmozdulások léphetnek fel. A végeselem-módszer (VEM) csak kis elmozdulások és erőhatások esetén alkalmazható, ugyanis nagy elmozdulások esetén a végeselem háló folytonossága megszűnik, aminek következtében a szimuláció megakad. Hagyományos VEM módszerrel az anyag szakadásának modellezése gyakorlatilag lehetetlen, ezért VEM-SPH kapcsolt szimulációt alkalmaztunk a talaj-szerszám kapcsolat modellezésére. A szerszámot hagyományos véges elemekből építettük fel, a talajt pedig SPH elemekből. Az SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) – a VEM módszerrel ellentétben – teljes mértékben hálófüggetlen numerikus módszer (Gingold - Monaghan, 1977; Monaghan, 1988; Monaghan, 1992), melyet kezdetben csillagászati számításokra használtak, majd áramlástan modellezéseknél is alkalmazni kezdték. Az utóbbi időben pedig földcsuszamlások modellezésére is sikeresen felhasználták (Bui H. H. et. al., 2008).

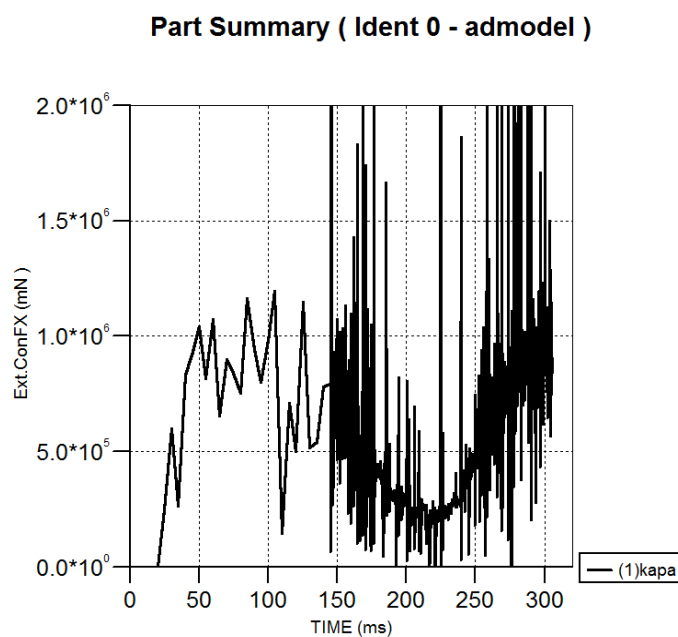
Az SPH elemeket önálló részecskékként képzeljük el, melyek bizonyos tulajdonságokkal rendelkeznek (pl. tömeg, sűrűség stb.), illetve térbeli elhelyezkedésük és sebességük minden időpillanatban ismert. Nem csomópontokhoz vannak kötve, hanem egymáshoz képest bármekkora mértékben elmozdulhatnak. Minden részecskének megadunk egy sugarat, aminek kétszeresén belül lévő további részecskéket szomszédokként fogja érzékelni az algoritmus. Egy részecske fizikai tulajdonságai a szomszédok tulajdonságaiból kerülnek kiszámításra egy speciális, általunk választott súlyfüggvény alapján. Az SPH

szimulációk nagy előnye, hogy a testek jelentős deformációkon eshetnek át, széttöredezhetnek, egymással elkeveredhetnek, anélkül, hogy ez a futást érdemben veszélyeztetné.

Az SPH elemek méretét 14 mm-nek választottuk. A számítások során az SPH elemek száma 147.885, a végelem háló elemszáma 34.446-ra adódott.

A szerszám süllyedésének és elfordulásának megakadályozására kényszereket alkalmaztunk.

A szimulációt 1 km/h és 1,5 km/h haladási sebesség, illetve 58 1/min fordulatszám mellett futtatva a szerszámra ható vízszintes irányú reakcióerőre a 45. ábra szerinti eredményeket kaptuk. A zaj ellenére is megfigyelhető egy sinusos görbe. Ennek oka az, hogy folyamatosan változik a szerszám talajban lévő része.



45. ábra. Vonóerő alakulása az idő függvényében 1 km/h haladási sebesség esetén

A vonóerő átlagos, illetve legnagyobb értékének meghatározására a ponthalmazra a STATISTICA programmal sinus függvényt illesztettünk és korrelációanalízist végeztünk.

$$var2 = b_3 \cdot \sin(b_2 \cdot (var1 - b_1)) + b_0, \quad (13)$$

ahol: **var2** : a vízszintes irányú reakcióerő [mN],

var1 : az idő [ms].

Az b_0 , b_1 , b_2 , b_3 a függvény együtthatói, melynek értékeit a 8. táblázat tartalmazza.

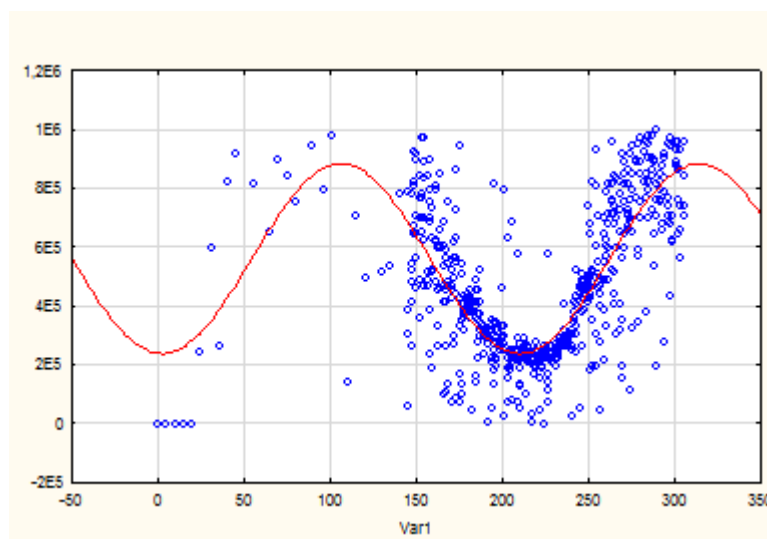
8. táblázat. A függvény együtthatói és korrelációs együtthatója

Haladási sebesség [km/h]	b_0	b_1	b_2	b_3	R
1	322478	0,030228	366,4032	559621,3	0,76605
1,5	355581	0,033438	237,8738	635920,9	0,67366

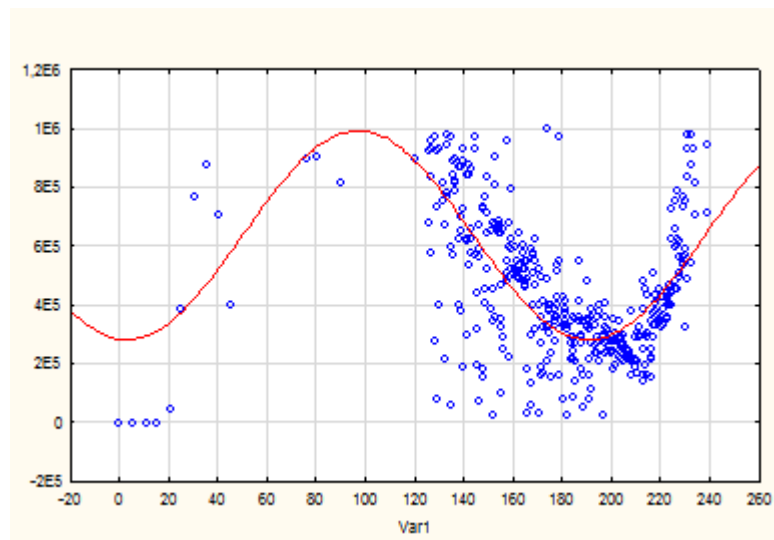
Az adatok centírozásával (finomításával) javítható a korrelációs együttható értéke ($R=0,89344$ -re), de lényegi eltérés nem tapasztalható a függvény futásában.

A függvény együtthatóiból adódóan 1 km/h haladási sebességnél a vonóerő átlagos értéke 560 N, legnagyobb értéke 882 N; 1,5 km/h haladási sebességnél pedig 636 N, illetve 992 N.

Az illesztett függvények a ponthalmazokkal a 46. és 47. ábrán láthatók.

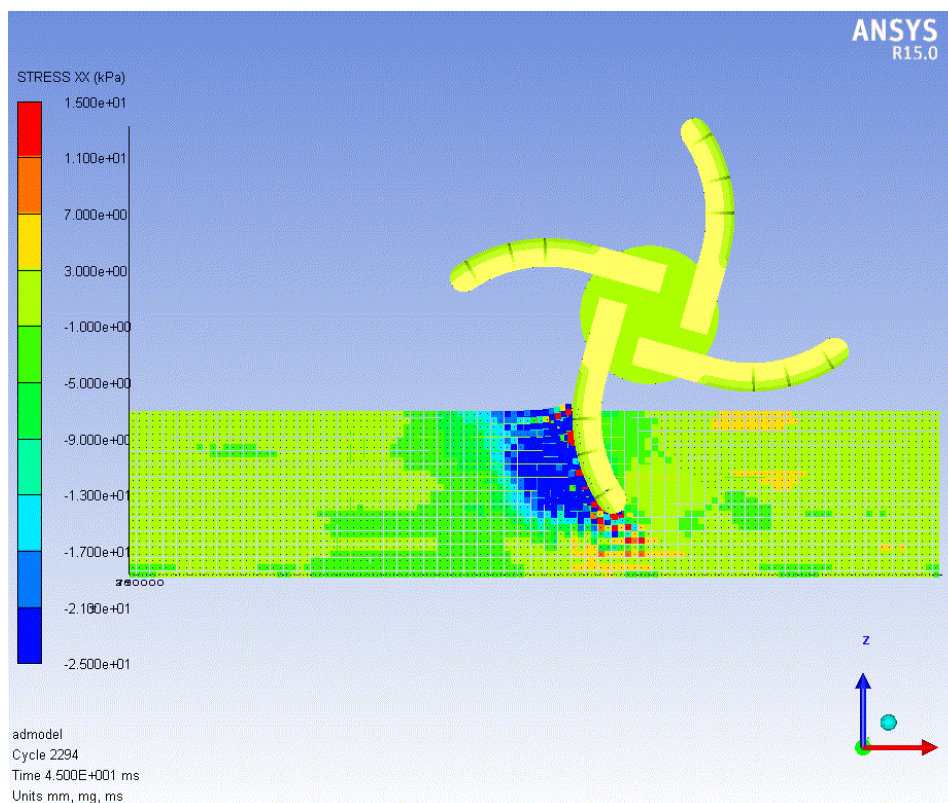


46. ábra. Az illesztett függvény 1 km/h haladási sebesség esetén



47. ábra. Az illesztett függvény 1,5 km/h haladási sebesség esetén

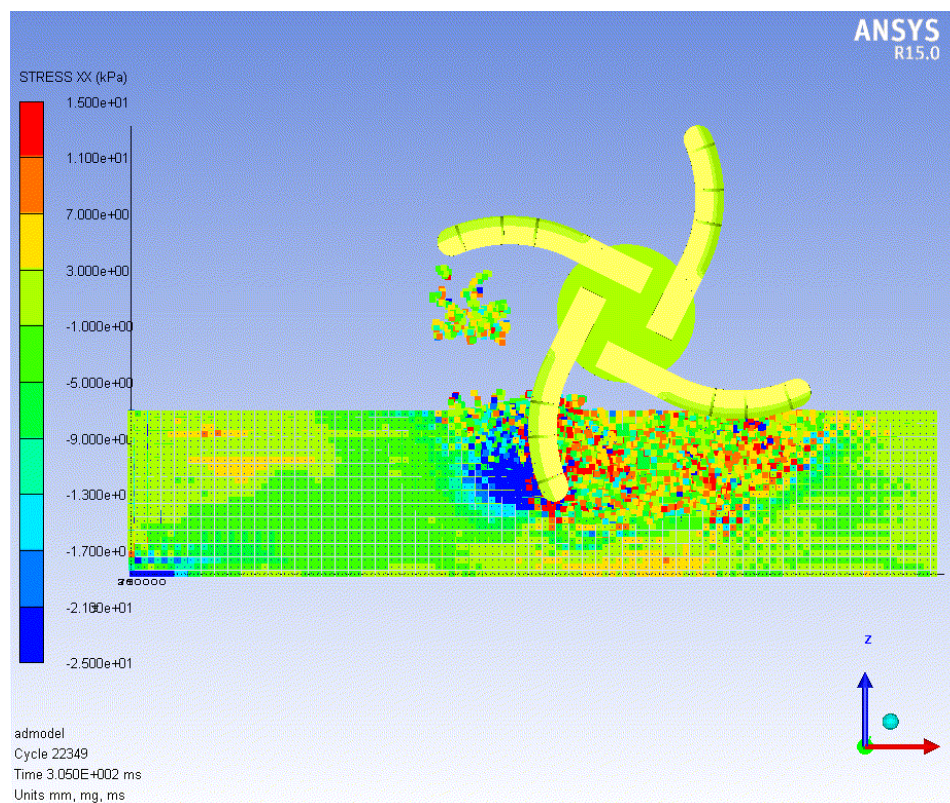
A normál feszültség eloszlását a szimuláció során kiszámolt eredmények alapján ábrázolhatjuk (48. ábra). A deformációs zónán belül a feszültség közel állandó. A deformációs zóna a szerszám előtt 14 cm távolságig terjed, oldalirányban a szárnyak végétől 11 cm-re.



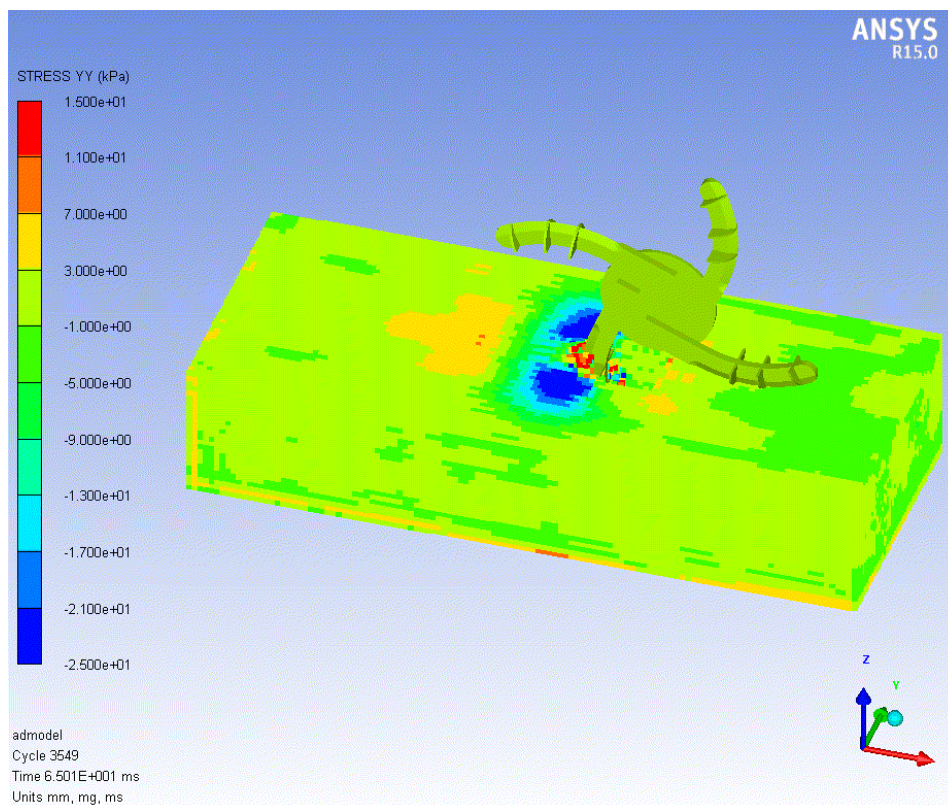
48. ábra. Az x irányú normál feszültség eloszlása a szimuláció indításakor

A modell lehetőséget biztosít az energetikai viszonyok kvalitatív elemzésére. A modell elemzése alapján megállapítottuk, hogy a szerszám előtt a nyomófeszültség maximális értéke - 25 kPa, a szerszám mögött pedig 15 kPa húzófeszültség ébred (49. ábra).

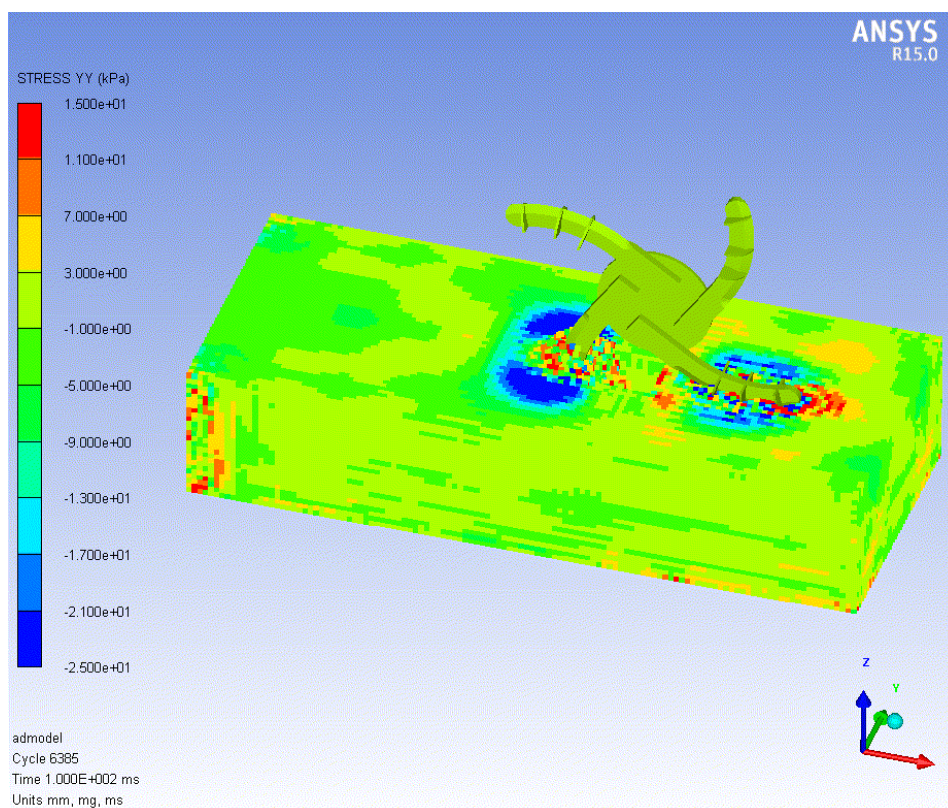
A feszültségeloszlás a szerszám geometriájából adódóan szimmetrikus (50 és 51. ábra).



49. ábra. Az x irányú normál feszültség eloszlása a második kapa munkája közben



50. ábra. Az y irányú normál feszültség a szimuláció indításakor



51. ábra. Az y irányú normál feszültség eloszlása a második kapa munkájának kezdetén

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás kezdeti szakaszában vizsgáltuk a tuskós területek talaj-előkészítésének gépesítési helyzetét, az alkalmazott gépek konstrukciós és üzemeltetési jellemzőit. Megállapítottuk, hogy a tuskós területek gépesítése alacsony színvonalú, nem megoldott. A talajművelő szerszámok gyakorlati tapasztalatok alapján készültek, elméletük leírása hiányzik. A mezőgazdaságban a gépvizsgálat ma már fontos része új mezőgazdasági gépek tervezési és fejlesztési munkáinak. A vizsgálati eredmények megmutatják a gép használhatóságát, a munka minőségét az adott körülmények között, az esetleges működési hibákat és szerkesztési hiányosságokat. Az elméleti ismeretek nélkül nem lehetséges a gépek szakszerű, energiatakarékos és gazdaságos üzemeltetése, adott körülményekre és viszonyokra adaptálása.

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

Ezért kutatásink két fő téma köré csoportosultak. Ezek a következők:

- az erdei talajok mechanikai jellemzőinek megismerése;
- egy, a tuskós területek talaj-előkészítésére fejlesztett forgó késrendszerű pásztázógép vizsgálata.

Vizsgálataink közben ezért egyrészt 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.

A talajjellenállás-mérések mellett a fák környezetében, illetve attól távolabb talajmintákat is vettünk, melyeket teljes talajtani vizsgálatnak vetettünk alá. Többek közt meghatároztuk a talajminták porozitását, differenciál porozitását, agyagtartalmát. A talajminták teljes talajtani vizsgálatai során a talajok fizikai állapotára következtettünk. A talaj

pórustere nagyságának, valamint azon belül a különböző átmérő-tartományú pórusok arányának leírására pF-vizsgálatokat végeztünk. Meghatároztuk a térfogattömegeket, melyek abszolút értékükben a talaj közepes tömörödöttségére utalnak.

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.

A vizsgált forgó késrendszerű talajművelő gép (BPG-600) alapvetően a tuskózás nélküli erdőfelújítási technológiák talaj-előkészítésének eszköze. Segítségével részleges (pásztás) talaj-előkészítés végezhető.

A szerszámok mozgás- és erőtani elemzéséhez a pásztakészítő gépen a kardántengelyre eső forgatónyomaték és lengés/rezgés változásainak megállapítására végeztünk méréseket. A kísérlet eredményeként megállapítottuk, hogy a pásztakészítő gép (BPG-600 típus) forgatónyomaték maximuma: 950 Nm, a közepes forgatónyomaték pedig: 300 – 400 Nm között változik, míg a BMP-900 esetében a maximális forgatónyomaték 1250 Nm.

A gép munkaminőségének jellemzéséhez szintén talajellenállás méréseket végeztünk, mértük a talajellenállás értékét a traktor előtt, majd a lazított pásztában. A mérési eredmények alapján megállapítottuk, hogy a lazulás a talaj felső 15 – 20 cm-es rétegében történt. A lazítás előtt a talajellenállás értéke (24 – 37) x100 kPa között, a lazított talaj talajellenállás értéke (12 – 20) x100 kPa között változott. A pásztát másodszor megjárva további lazulás nem érhető el.

A forgó késrendszerű pásztázógép kinematikai elemzése során meghatároztuk a kivágott talajszelvény szélességét, a barázdafenek hullámosságát és a kapákon ébredő erő nagyságát.

A kapák pontos szilárdságtani méretezése csak szabadföldi mérések és modern matematikai-mechanikai módszerek (végeelem-módszer) felhasználásával végezhető el. Egy új szerszámnak a megjelenését többéves – szántóföldön és laboratóriumban végrehajtott – kísérletek előzik meg. A szerszám és a talaj kapcsolatának modellezésével lehetővé válik a fejlesztés idejének és költségének jelentős csökkentése, ezért a forgó szerszám numerikus analízisét is elvégeztük. Mivel működése közben nagy erőhatások, illetve elmozdulások lépnek fel a hagyományos végeelem-módszer nem alkalmazható, ezért VEM-SPH kapcsolt

szimulációt alkalmaztunk. A VEM-SPH kapcsolt szimuláció segítségével 1 km/h és 1,5 km/h haladási sebességnél meghatároztuk a forgó szerszámmra ható vízszintes irányú erő nagysága az idő függvényében. A szimulációs eredményekre illesztett függvény segítségével megállapítottuk a vízszintes irányú erő átlagos és legnagyobb értékét. A modellezés lehetőséget biztosított az energetikai viszonyok kvalitatív elemzésére. Meghatároztuk a normálfeszültség eloszlását a talajban.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

1. A szerző vizsgálta a tuskós területeken alkalmazott talaj-előkészítő gépek konstrukciós és üzemeltetési jellemzőit, országos felmérés alapján megállapította, hogy a tuskós területek gépesítése alacsony színvonalú, nem megoldott.

2. Próbavizsgálatokkal kialakításra került egy vizsgálati módszer, mellyel viszonylag gyorsan lehet olyan eredményekhez jutni, amelyekből következtetni lehet a gyökérzet talajjellenállásra gyakorolt hatására.

3. Az erdei talajokra vonatkozóan mérési adatok alapján megállapítható, hogy a talajtömörtség – a felső humuszos réteg kivételével – a mélység függvényében közel állandó.

4. A szerző talajjellenállás mérés adataira matematikai statisztikai módszerekkel egy felületet illesztett, mely megadja a talajjellenállás-változás tendenciáját a faátmérő és a fától való távolság függvényében. Kimutatta, hogy a fák 1 – 1,5 m-es környezetében a gyökérzet hatása miatt nagyobb a talajjellenállás. Azon fák esetében, amelyek mellmagassági átmérője 30 cm-nél kisebb, ilyen összefüggést nem lehet kimutatni.

5. A szerző vizsgálatai alapján bebizonyította, hogy erdei talajok esetében a fák közelében mérhető nagyobb talajjellenállást a talajt intenzíven behálózó gyökerek okozzák, mivel gátolják a talajdeformációt és a talaj oldalirányú mozgását a talajba hatoló szerszám előtt.

6. A szerző megállapította, hogy a talajjellenállás értéke erdei talajokon (24 – 37) x100 kPa között változik. A forgó késrendszerű pásztakészítő géppel művelt terület (12 – 20) x100 kPa értékkel jellemezhető.

7. Kísérlet eredményeként megállapításra került, hogy a BPG-600 típusú pásztakészítő gép forgatónyomaték maximuma: 950 Nm, a közepes forgatónyomaték pedig: 300 – 400 Nm között változik, míg a BMP-900 esetében a maximális forgatónyomaték 1250 Nm.

8. A forgó késrendszerű pásztázógép kinematikai elemzése során meghatározásra került a kivágott talajszelvény szélessége, a barázdafenék hullámossága és a kapákon ébredő erő nagysága.

9. Kidolgozásra került egy szimulációs módszer, mely a statikus szerszámok mellett forgó szerszámok modellezésére is alkalmas. Ezen módszer kellő alapot jelent további forgó szerszám konstrukciók numerikus analízissel történő vizsgálatához.

VEM-SPH kapcsolt szimuláció segítségével – kétféle haladási sebesség esetén – meghatározásra került a forgó szerszámra ható vízszintes irányú erő nagysága az idő függvényében. A szimulációs eredményekre illesztett függvény alapján a szerző megállapította a vízszintes irányú erő átlagos és legnagyobb értékét. Meghatározásra került továbbá a normálfeszültség eloszlása a talajban.

7. A KUTATÁS JÖVŐBENI IRÁNYAI

A disszertáció terjedelmi korlátai miatt számos területen maradtak még nyitott kérdések, ezért a témakör kutatását nem tartjuk lezárt folyamatnak.

Az alábbi új kutatási feladatokat jelöltük ki a jövőre nézve:

Forgó szerszám vizsgálata, modellezése különböző geometriai kialakítás (különböző íveltségű szerszám, különböző élezési szög, más lazítószárny kialakítás) mellett, mely alapján meghatározható egy olyan optimális konstrukciójú forgó késrendszerű szerszám, amely minimális vonóerőt igényel, és jó minőségű talajlazítást végez.

Két párhuzamosan működő szerszám vizsgálata, a szerszámok közti optimális távolság meghatározása.

A forgó késrendszerű talajművelő gépek optimális haladási sebességének és fordulatszámának meghatározása.

Szükséges lenne továbbá a numerikus analízist más korábban gyakorlati tapasztalatokra építve kifejlesztett talajművelő szerszámok vizsgálatára is kiterjeszteni, hiszen a szerszámok és talaj kapcsolatának elemzése lehetőséget teremt olyan szerszámparaméterek meghatározására, amelyekkel csökkenthető a szerszámok vontatásához szükséges erő.

Jelen disszertációban a modellezés nem gyökerekkel átszótt talajjal történt, szükséges lenne az erdei talajokra jellemző anyagmodell kidolgozására is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkám a Nyugat-magyarországi Egyetem EMKI Géptani Tanszékén készült.

Köszönetet mondok elsősorban témavezetőmnek, Dr. Horváth Béla intézetigazgató egyetemi tanárnak, aki lehetőséget nyújtott számomra a disszertációm elkészítéséhez, köszönet segítségéért és útmutatásaiért.

Külön köszönöm Dr. Kaifás Ferenc professzor úr hasznos tanácsait.

A mérési eredmények statisztikai értékeléséhez dr. Csanády Viktóriától kaptam segítséget, amit ezúton is megköszönök.

Köszönet Dr. Molnár Lászlónak az eCon Engineering Kft. vezetőjének, aki mindig készségesen segített az Ansys program használata során felmerült problémák megoldásában.

Köszönet mindazon kollégának, aki valamilyen módon munkámat segítette.

Hálás köszönet családomnak támogatásukért, türelmükért és segítségükért. Köszönet azért, hogy számos terhet levettek a vállamról.

KIVONAT

TUSKÓS TERÜLETEK TALAJ-ELŐKÉSZÍTÉSÉNEK GÉPESÍTÉS-FEJLESZTÉSE

Felmértük a tuskós területek talaj-előkészítésének gépesítési helyzetét, az alkalmazott gépek konstrukciós és üzemeltetési jellemzőit. Megállapítottuk, hogy a tuskós területek gépesítése alacsony színvonalú, nem megoldott. A talajművelő szerszámok gyakorlati tapasztalatok alapján készültek, elméletük leírása hiányzik.

Ma már a talajművelő gépek fejlesztése a talajok és azok jellemzőinek ismerete nélkül nem képzelhető el, ugyanakkor a gyökérrel átszőtt talajok fizikai-mechanikai tulajdonságai nem ismertek. Ezért kutatásink két fő téma köré csoportosultak. Ezek a következők:

- az erdei talajok mechanikai jellemzőinek megismerése;
- egy, a tuskós területek talaj-előkészítésére fejlesztett forgó késrendszerű pásztázógép vizsgálata.

Vizsgálataink közben egyrészt 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, és talajmintákat vettünk, melyeket teljes talajtani vizsgálatnak vetettünk alá.

A forgó késrendszerű pásztázógép vizsgálata során a szerszámok mozgás- és erőtani elemzéséhez a pásztakészítő gépen a kardántengelyre eső forgatónyomaték és lengés/rezgés változásainak megállapítására végeztünk méréseket. A gép munkaminőségének jellemzéséhez szintén talajjellenállás méréseket végeztünk, mértük a talajjellenállás értékét a traktor előtt, majd a lazított pásztában. Elvégeztük kinematikai elemzését, melynek során meghatároztuk a kivágott talajszelvény szélességét, a barázdafenék hullámosságát és a kapákon ébredő erő nagyságát.

A forgó szerszám numerikus analízisét VEM-SPH kapcsolt szimuláció segítségével végeztük. Meghatároztuk különböző haladási sebességnél a forgó szerszámmra ható vízszintes irányú erő nagyságát az idő függvényében, illetve a normálfeszültség eloszlását a talajban.

ABSTRACT

MECHANIZATION DEVELOPMENT FOR SOIL TILLAGE AT STUMPY FOREST AREAS

The author has surveyed the current state of mechanizations for soil tillage at stumpy areas as well as the applying technical and operating conditions. It has been concluded that level of mechanization at these sites is low and needs to be improved. The currently applied tools were mostly designed by practical considerations and lack fundamental theoretical description.

Nowadays the design and development of soil cultivation machinery is inconcievable without the throughout knowledge of the properties of the soil, yet the mechanical and physical properties of soils having abundant root systems are hitherto unknown. Thus the scope of research has focused on two distinct fields:

- description of the mechanical properties of forest soils;
- desing and investigation of a soil preparator with rotating knives suitable for the tillage of stumpy forest areas.

Investigations has focused on the establishment of the influence of the root system on the physical properties of the soil, especially on soil resistance. In order to define relationships between the mentioned parameters, soil resistance measurements have been carried out using the 3T System soil layer indicator, and soil samples have been collected and analyzed too.

The mechanical and dynamical analysis of the designed soil preparator machine has involved the measurement of the torque as well as the alterations of the swinging/vibration at the cardan shaft. In order to evaluate the quality of labour of the machine, soil resistance was measured in front of the tractor as well as in the prepared strips. By the use of kinematic analysis the width of the cut soil sections, as well as the waviness of the bottom of the furrows and the force acting upon the hoes has been determined and evaluated.

The numerical analysis of the rotating tool has been accomplished with the combined FEM/SPH simulation method. The distribution of the normal tension in the soil, as well as the amount of the horizontal force acting upon the rotating tool has been determined as a function of time with different velocities of the tractor.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bánházi J. szerk.* (1984): A szántóföldi munkagépek működésének elméleti alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bánházi J.* (2000): A talajtömorségről. Mezőgazdasági Technika, 5:6-7.
- Bánházi J. - Koltay J. - Szendrő P. - Véner I.* (1978): Szántóföldi munkagépek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bojtár I.* (1988): Mechanikai anyagmodellek. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Bondor A.* (1978): Erdészeti talaj-előkészítés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bondor A. - Radó G. - Temesi G.* (1979): Az erdőnevelés gépesítése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bui H. H. - Fukagawa R. - Sako K. - Wells J. C.* (2008): SPH-Based Numerical Simulations for Large Deformation of Geomaterial Considering Soil-Structure Interaction. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), 1:570-578.
- Csanády V.* (1993): Számítógépekre konvertált nem hagyományos regressziós eljárások faipari - erdészeti kutatási és műszaki problémákhoz. Műszaki doktori értekezés, EFE, Sopron.
- Csiha I. - Keserű Zs.* (2003): Gyökérfeltárások tapasztalatai száraz, homoki termőhelyeken. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap kiadványa, Kecskemét. 56-63.
- Czupy I. - Horváth B. - Major T. - Mouazen A. M. - Neményi M. - Sitkei Gy. - Spingár P.* (1998): Tematikus és pénzügyi zárójelentés az MKM által támogatott 397/1996. nyilvántartási számú, „Erdészeti vágásterületek talajművelés – gépesítésének fejlesztése” című kutatási programról. Kézirat, Sopron, 62 p.
- Czupy I. - Csalló R. - Horváth B. - Juhász G. - Major T.* (2000): Tanulmány (zárójelentés) az erdészeti gépesítés-fejlesztés megalapozásához, a Dr. Káldy József Gépfejlesztő Központ működésének beindításához. Sopron. 46 p. + 9 mell.
- Czupy I. - Horváth B.* (1997): ETL-3 erdészeti talajlazító. Gépesítési információ, 6. Soproni Egyetem, Sopron. 16 p.
- Czupy I. - Horváth B. - Juhász G. - Major T.* (2000): Hazai gyártású erdészeti gépek. Gépesítési információ, 15. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. 96 p.
- Divós F. - Bejő L. - 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, 71-76.

- Dózsa G. - Major T. (2000):* Tuskózás és teljes talaj-előkészítés nélküli környezet- és energiakímélő pásztás talaj-előkészítésen alapuló természetes és mesterséges erdőfelújítás. MTA Agrár-műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. Nr. 24. 1. kötet: 305-308.
- Du Hamel Du Monceau H. (1764-65):* Naturgeschichte der Bäume I-II. Winterschmidt, Nürnberg.
- Ehwald E. et. al. (1961):* Zur Ökologie von Kiefern-Buchen-Mischbeständen. Archiv f. Forstw.
- Égert J. - Pere B. (2011):* Végeelem analízis. MSC jegyzet és példatár. UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft, Győr.
- Faragó S. (1960):* Homoki cserjék gyökérfeltárása. Erdészeti Kutatások, 341-357.
- Fodor T. - Orbán F. - Sajtos I. (2005):* Mechanika. Végeelem-módszer. Elmélet és alkalmazás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Führer E. - Czupy Gy. - Kocsisné Antal J. - Jagodics A. (2011):* Gyökérvizsgálatok bükkös, gyertyános-kocsányos tölgyes és cseres faállományban. Agrokémia és Talajtan. 60 (1): 103-118.
- Gál J. - Káldy J. (1977):* Erdősítés. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Gingold R. A. - Monaghan J. J. (1977):* Smoothed Particle Hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars. Mon. Not. R. astr. Soc. 181:375-389.
- Grosskopf W. (1950):* Bestimmung der charakteristischen Feinwurzelintensität in ungünstigen Waldbodenprofilen und ihre ökologische Auswertung. Mitt. Bundesanst. Forst- und Holzw.
- Günter M. - Clemens G. (2002):* FEM für Praktiker. Band 1: Grundlagen. Expert Verlag, Renningen.
- Horváth B. (1996):* EFE-1 pásztakészítő eke. Gépesítési információ, 4. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron. 20 p.
- Horváth B. (1997):* Tuskózás nélküli erdőfelújítási technológiák gépesítése. V. Erdészeti Szakmai Konferencia (WOOD TECH) kiadványa, Sopron.
- Horváth B. (1998):* Erdészeti gépgyártás Magyarországon. Profi Erdőgazda. 1: 18-19
- Horváth B. szerk. (2002):* NKFP Erdő-fa kutatási program, 2.2. alprogram. Részjelentés 2. Csemetekerti gépsor gépei prototípusainak gyártása. Erdőtelepítési gépekkel szemben támasztott követelmények meghatározása. A már meglévő erdőtelepítési gépek körének felmérése. Erdőtelepítési gépek tervezése. Kézirat, Sopron. 51 p.

- Horváth B. szerk. (2003): Erdészeti gépek. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.*
- Horváth B. szerk. (2004): NKFP Erdő-fa kutatási program, 2.2. alprogram. Zárójelentés. Új csemetetermesztési- és erdőtelepítési géprendszer kifejlesztése az erdőtelepítési program megvalósításának elősegítésére. Kézirat, Sopron. 13 p.*
- Horváth B. - Spingár P. (1996): Talajszaggató gépek erdészeti alkalmazása. Erdészeti Lapok, CXXXI. 3:86.*
- Horváth B. - Spingár P. (1997): BPG-600 pásztázógép. Gépesítési információ, 7. Soproni Egyetem, Sopron. 24 p.*
- Járó Z. (1991): Lomberdők gyökérrendszere és gyökértömege. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 1:5-22.*
- Kaifás F. (1964): Forgatónyomaték mérése mezőgazdasági gépek kardántengelyein. Doktori értekezés, Gödöllő.*
- Kaifás F. (1998): Altalajlazító és lazítástechnológia tervezése tömörödött csernozjom talajok lazítására Magyarországon. Doktori értekezés tézisei, Gödöllő.*
- Kaifás F. (2004): Talajlazító gépcsoport méretezése. Gép, 4-5:62-63.*
- Kaifás F. (2006): Talajok (szemcsés anyagok) szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 299-304.*
- Kaifás F. - Kazakov V. - Szabó Gy. (1997): Talajlazító konstrukciók munkájának ökológiai és energetikai analízise. Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 10:361-365.*
- Kárász I. (1984a): Egy mérsékelt övi tölgyes cserjefajainak gyökérzete. Kandidátusi értekezés, Eger. 110 p.*
- Kárász I. (1984b): Az Acer campestre L. gyökérrendszerének szerkezete a síkfőkúti cseres tölgyesben. Bot. Közlemények. 71:79-100.*
- Kárász I. (1986a): A tölgyes cserjefajok gyökérzetének összehasonlító morfológiai vizsgálata. Erdészeti és Faipari Egyetem közleményei, 2:63-85.*
- Kárász I. (1986b): A cserjeszint gyökérzetének fiziognómiai szerkezete a síkfőkúti tölgyesben. Erdészeti és Faipari Egyetem közleményei, 2:89-98.*
- Kárász I. (1986c): Gyökérvizsgálatok Magyarországon. Botanikai közlemények. 73:19-23.*
- Kárász I. (1997): Ökológiai vizsgálatok erdőtársulásokban. Habilitációs tézisek, Eger.*
- Kárász I. - Juhar E. (1982): A Cornus mas L. gyökérzetének fiziognómiai struktúrája a síkfőkúti tölgyesben. Bot. Közl., 69:105-130.*
- Kárász I. (1997): Ökológiai vizsgálatok erdőtársulásokban. Habilitációs tézisek, Eger.*

- Keresztesi B.* (1969): Beszámoló a nemzetközi biológiai program (IBP) „A gyökérzet és a rizoszférában élő szervezetek produktivitásának vizsgálati módszerei” című szimpóziumáról. *Erdészeti Kutatások*, 65:329-363.
- Kerényi Gy.* (1996a): A talaj vágásának modellezése végeelem módszerrel. Doktori értekezés, Budapest.
- Kerényi Gy.* (1996b): A talaj és egyszerű szerszám kapcsolatnak modellezése végeelem módszerrel. *Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek*, 12:431-435.
- Kézdí Á.* (1977): Talajmechanika I. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Kiss P.* (2001): Terepen mozgó járművek energetikájának egyes kérdései. Doktori értekezés, Gödöllő.
- Klein B.* (1999): FEM Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau. Vieweg, 3., überarbeitete Auflage. Braunschweig/Wiesbaden.
- Komándi Gy.* (1989): Kerék és a talaj adhéziós kapcsolatának elemzése traktor gumibroncsokra. Akadémiai doktori értekezés, Bp-Gödöllő.
- Komándi Gy.* (2010): Szántóföldi gépek üzemtana. Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gödöllő.
- Kovács Á. szerk.* (2011): Végeelem módszer. Egyetemi tananyag. Typotex Kiadó, Budapest.
- Köstler J. N. - Brückner E. - Biebelriether H.* (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Kurutzné Kovács M. - Scharle P.* (1985): A végeelem-módszer egyszerű elemei és elemcsaládjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Laib L. szerk.* (2002): Terepen mozgó járművek. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Leibungut H. et. al.* (1963): Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. Schweiz. Zeitschr. Forstw.
- Magyar P.* (1929): Gyökérvizsgálatok csemetekerti és szikes talajban. *Erdészeti Kísérletek*, Sopron. 31:118-151.
- Majer A.* (1958): Bükk erdőtípusok gyökérszint vizsgálata. *MTA Agrártud. Oszt. Közl.*, 14:117-134.
- Majer A.* (1961): Gyökérösszenövések előfordulása és jelentősége. *Erdészeti Kutatások*, 165-183.
- Majer A.* (1968): Magyarország erdőtársulásai. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- Major T.* (1999): ETS-2 erdészeti sorközművelő tárcsa. Gépesítési információ, 14. Soproni Egyetem, Sopron. 20 p.
- McKyes E.* (1985): Soil Cutting and Tillage, Department of Agricultural Engineering, McDonald College of McGill University, Canada.
- Meißner U. F. - Maurial A.* (2000): Die Methode der finiten Elemente. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- Mészáros I. - Sitkei Gy. - Kégl J.* (1965): A mezőgazdasági gépek vizsgálata. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Mihály S.* (1993): A fakitermeléssel okozott károk és a kíméletes fakitermelés lehetőségei. Kandidátusi értekezés, Sopron. 106. p.
- Monaghan J. J.* (1988): An introduction to SPH. Computer Physics Communications. 48:89-96.
- Monaghan J. J.* (1992): Smoothed Particle Hydrodynamics. Annu. Rev. Astron. Astrophys. 30:543-574.
- Mouazen A. M.* (1997): Modelling the interaction between the soil and tillage tools. Candidate of Science (Doctor of Philosophy, Ph.D.) Mosonmagyaróvár.
- Mouazen A. M. - Neményi M.* (1996): Two-dimensional finite element analysis of soil cutting by medium subsoiler. Hungarian Agricultural Engineering. 9:32-36.
- Mouazen A. M. - Neményi M.* (1998): A Finite Element Model of Soil Loosening by a Subsoiler with Respect to Soil Conservation. Advances in GeoEcology. 31:549-556.
- Mouazen A. M. - Neményi M. - Horváth B.* (1998): Investigation of Forestry deep subsoiling by the finite element method. Hungarian Agricultural Engineering. 11:47-49.
- Páczelt I.* (1993): A végeelem-módszer alapjai. Miskolci Egyetemi Könyvkiadó, Miskolc.
- Páczelt I.* (1999): Végeelem-módszer a mérnöki gyakorlatban, I. kötet, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc.
- Páczelt I. - Scharle P.* (1987): A végeelem-módszer a kontinuummechanikában. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Páczelt I. - Szabó T. - Baksa A.* (2007): A végeelem-módszer alapjai. Egyetemi jegyzet, Miskolc.
- Penschuck H.* (1931): Über den Einfluß verschiedener Holzarten auf einzelne physikalische Eigenschaften leichter Waldböden. Mitt. Forstwirt. Forstwiss.
- Pfeil W.* (1860): Die deutsche Holzzucht. Leipzig.

- Popper Gy.* (1985): A végeelem-módszer matematikai alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Rachtejenko I. N.* (1952): Die Abhängigkeit des Wurzelsystems der Eiche von der Mischungsart. Sovétská Veda. Lesnictví.
- Rázsó I. szerk.* (1958): Mezőgazdasági gépek elmélete. Tankönyvkiadó, Budapest
- Reece, A. R.* (1983): A rational approach to the design of earthmoving machines. Proc. 2nd European Conf. ISTVS. Ferrara, 129-155. p.
- Sipos G.* (1972): Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Sitkei Gy.* (1967): A mezőgazdasági gépek talajmechanikai problémái. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Sitkei Gy.* (1972): A mezőgazdasági járószerkezetek méretezési módszerei. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Sitkei Gy.* (1981): A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Sitkei Gy.* (1986): Mezőgazdasági és erdészeti járművek modellezése. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Sitkei Gy.* (1991): Compaction of agricultural soils with viscoelastic behavior under confined and conditions. Proc. of 5th European Conf. of the ISTV, Budapest. 257-264.
- Spingár P.* (1996): ETB-2 erdészeti tárcsa. Gépesítési információ, 2. Soproni Egyetem, Sopron. 18 p.
- Spoor G. - Godwin R. J.* (1978): An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research, 23:243-258.
- Szalai T. - Nyárai H. F. - Holló S. - Percze A.* (1998): A talajállapot minősítése penetrométerrel. MTA Agrár-műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 2. kötet: 31-34.
- Szőlősi I. - Kovács Z. - Bíró D.* (2004): Agyagtalajok penetrációs értékei. MTA Agrár-műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. Nr. 28. 1. kötet: 134-138.
- Terzaghi K.* (1943): Theoretical Soil Mechanics. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Wiedemann E.* (1923): Zuwachsrückgang und Wuchsstockungen der Fichte in der mittleren und unteren Höhen der sächsischen Staatsforste. Tharandt
- Yli-Vakkuri P.* (1953): Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen. Act. For. Fenn.

Yong R. N. - Hanna A. W. (1977): Finite element analysis of plane soil cutting. Journal of Terramechanics, 14(3):103-125.

MELLÉKLETEK

1. *melléklet:* Az erdőgazdasági részvénytársaságok gépesítettségének kivonatolt jellemzői a részleges talaj-előkészítésre vonatkozóan
2. *melléklet:* A próbavizsgálatok helyszínrajzának részlete
3. *melléklet:* Mérési helyek a Sopron 79/A és 80 B erdőrészletekben
4. *melléklet:* Talajellenállás-mérési jegyzőkönyv
5. *melléklet:* Talajmintavételi jegyzőkönyv
6. *melléklet:* Mozgás- és erőtani diagramok

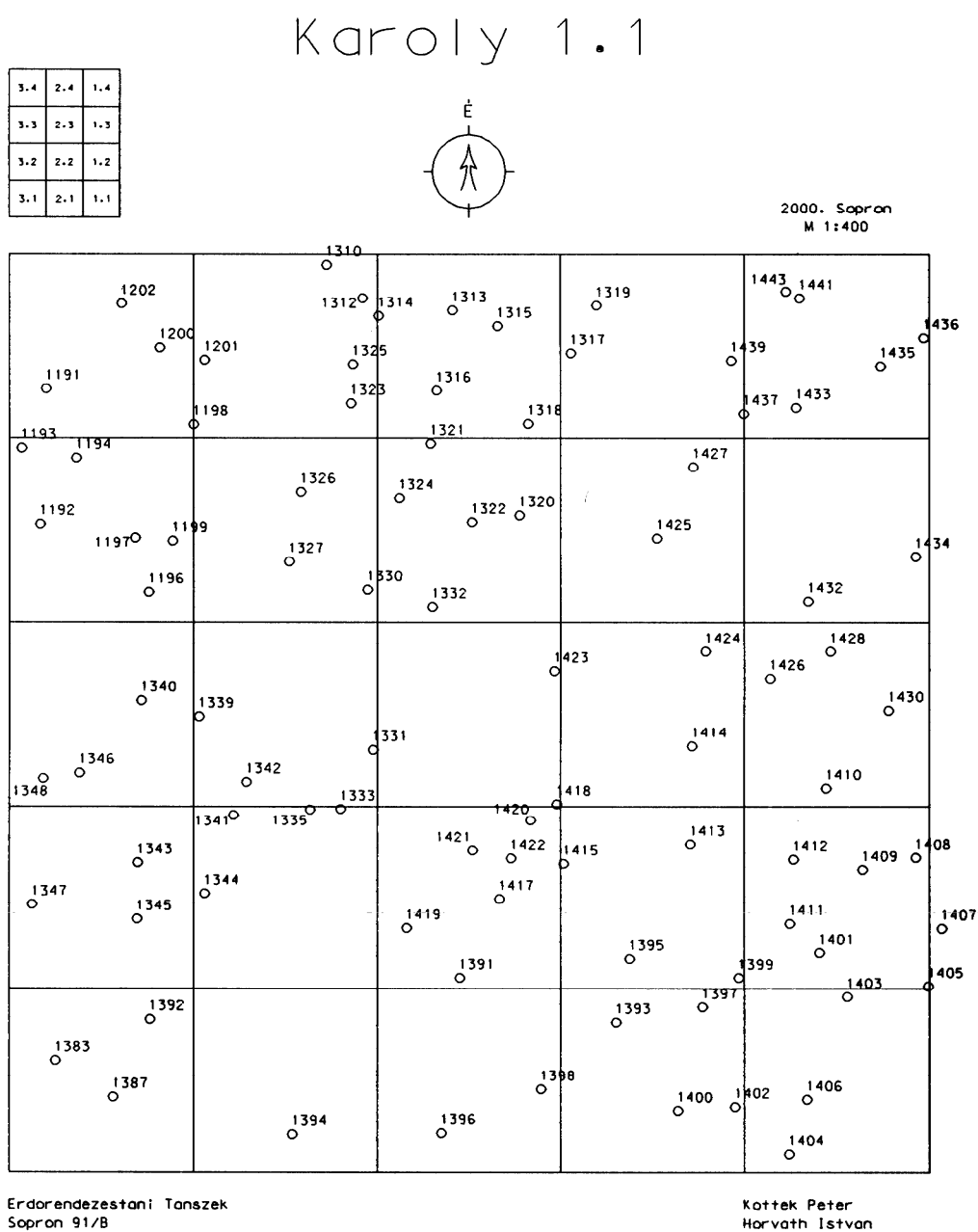
1. melléklet. Az erdőgazdasági részvénytársaságok gépesítettségének
kivonatolt jellemzői a részleges talaj-előkészítésre vonatkozóan

A gép		Az erdőgazdasági részvénytársaságok								
		rt. tulajdonú és üzemeltetésű			rt.tulajdonú, vállalkozói üzemeltetésű			vállalkozói tulajdonú és üzemeltetésű		
		gépeinek								
		mennyisége	átlagos életkora	átl. műszaki állapota	mennyisége	átlagos életkora	átl. műszaki állapota	mennyisége	átlagos életkora	átl. műszaki állapota
típusa	megnevezése	db	év	%	db	év	%	db	év	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FATERMESZTÉSI GÉPEK		1595	10	61	68	11	44	761	11	59
TALAJ-ELŐKÉSZÍTÉS-, TALAJMŰVELÉS GÉPEI										
Talajlazítók										
APSZ	mélylazító	1	13	60						
FA-3/2	mélylazító	1	20	50						
HF-3/2	mélylazító	3	12	30						
LATAR	mélylazító	1	15	30						
E-TM-1	erdészeti mélylazító	7	12	41						
E-TM-2	erdészeti mélylazító	32	14	53				4	20	40
E-TM-3	erdészeti mélylazító	25	11	60	1	9	80	1	13	30
Talajmarók										
ROTOR	talajmaró				1	1	80			
Tárcsák										
VNT-14	nehéz tárcsa	3	8	65				1	8	70
NT-6	nehéz tárcsa	13	9	64	1	6	70			
NT-3,3	nehéz tárcsa	1	5	80						
KNT-3 VV	nehéz tárcsa				1	1	90			
NARDI-6HDR	nehéz tárcsa	8	11	59	1	10	70	2	10	60
ROME-TRH-14-30	nehéz tárcsa	2	14	65						
FTC-2500	nehéz tárcsa	1	10	70						
FFT-20	nehéz tárcsa	2	12	70						
MXT-6,2	nehéz tárcsa	1	4	95						
ETB-2	erdészeti tárcsa	9	11	36						
LB-2.8	erdészeti tárcsa	14	1	100						
E-PST-1	sorköz-művelő tárcsa	11	15	47	1	14	30			
E-PST-2	sorköz-művelő tárcsa	14	12	60						
UST-2B	sorköz-művelő tárcsa	26	10	62				57	11	50
KT-2	sorköz-művelő tárcsa	4	5	75				4	5	70
ETS-2	sorköz-művelő tárcsa	2	7	85						
MEDIO-4	sorköz-művelő tárcsa	3	2	90						
MEDIO	sorművelő tárcsa	1	1	90						
AGROFER	sorművelő tárcsa	3	4	87						
GLT-8	lengőtárcsa	3	11	47	2	14	40	10	15	30
ET-8	lengőtárcsa	4	3	84						
GRT-8	rugóstárcsa	7	15	43				14	12	41
ERTI	rugós tárcsa	1	18	50				1	18	50

1. melléklet folytatása

Pásztás talaj-előkészítők										
PEN	nehéz kéttestű eke	3	5	70						
WALDMEISTER	kéttestű eke	4	4	53						
ASP-2	kéttestű eke	21	11	62	1	20	30	3	6	50
EFE-1	kéttestű eke	5	10	62						
BRUBANTI	kéttestű eke	1	18	50						
(egyedi kivitel)	kéttestű eke	2	20	40						
VÉRTES	láncos pásztakészítő	1	10	30						
BPG-600	pásztakészítő	33	3	71						
BPG-900	pásztakészítő	1	3	60						
Tányéros talaj-előkészítők										
(egyedi kivitel)	tányérozó	2	6	60						

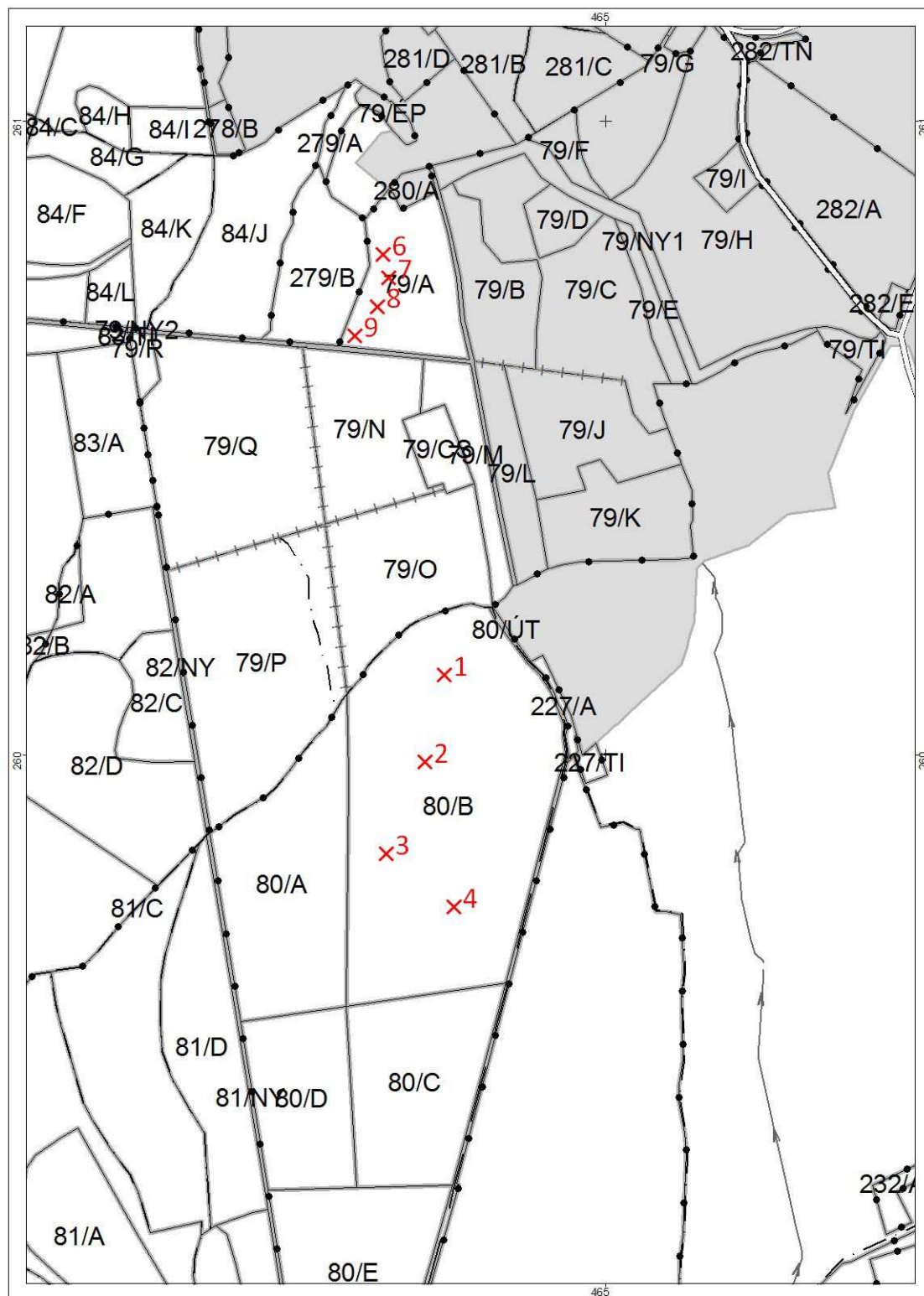
2. melléklet. A próbavizsgálatok helyszínrajzának részlete



3. melléklet. Mérési helyek a Sopron 79/A és 80 B erdőrészekben

Erdőtervi térkép

M = 1 : 10 000



Egységes Országos Vetület

[illegible]

5. melléklet. Talajmintavételi jegyzőkönyv

II.

Nedves tömeg

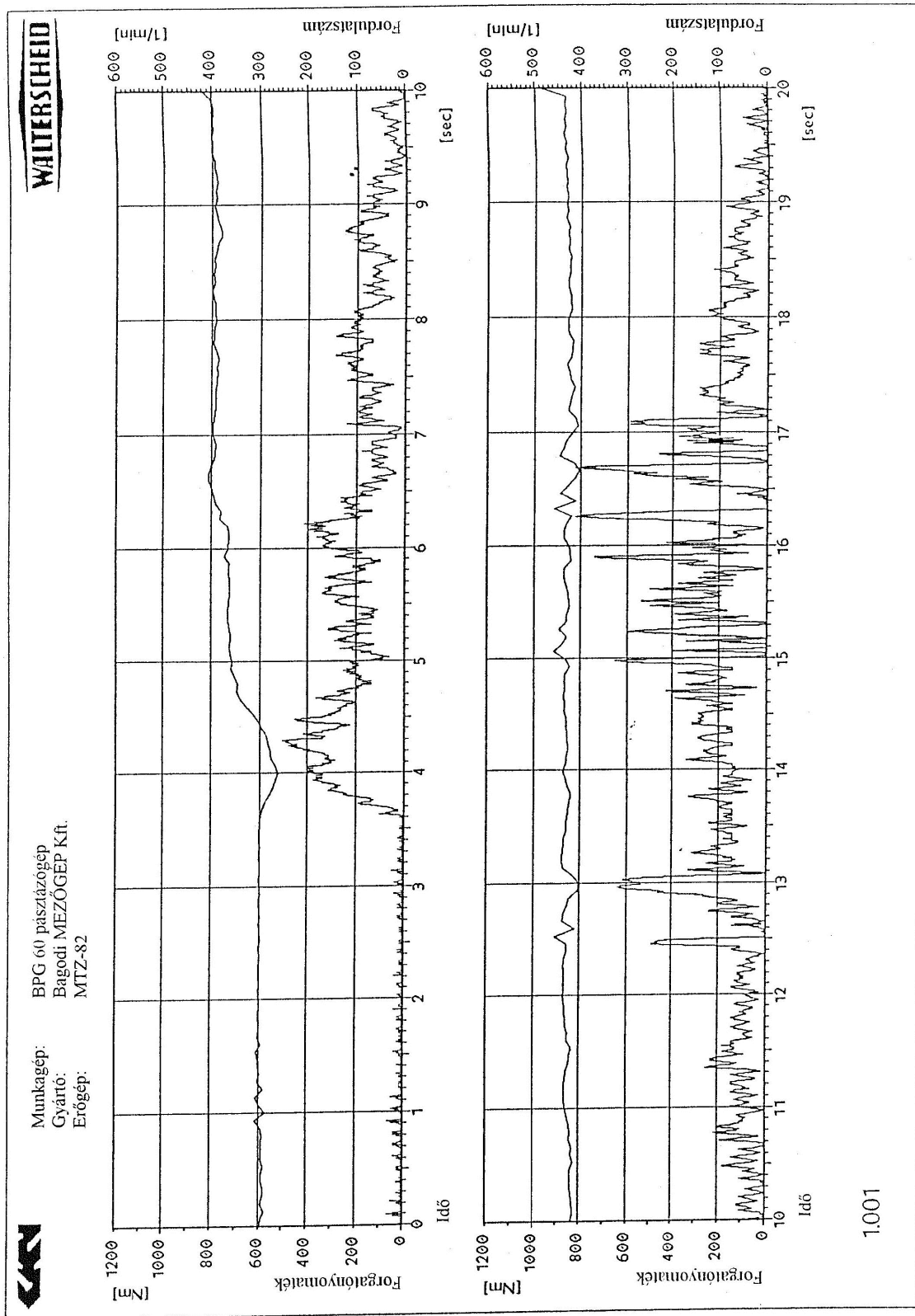
TALAJMINTA
Veér hengerek sorszáma

A mintavétel ideje:

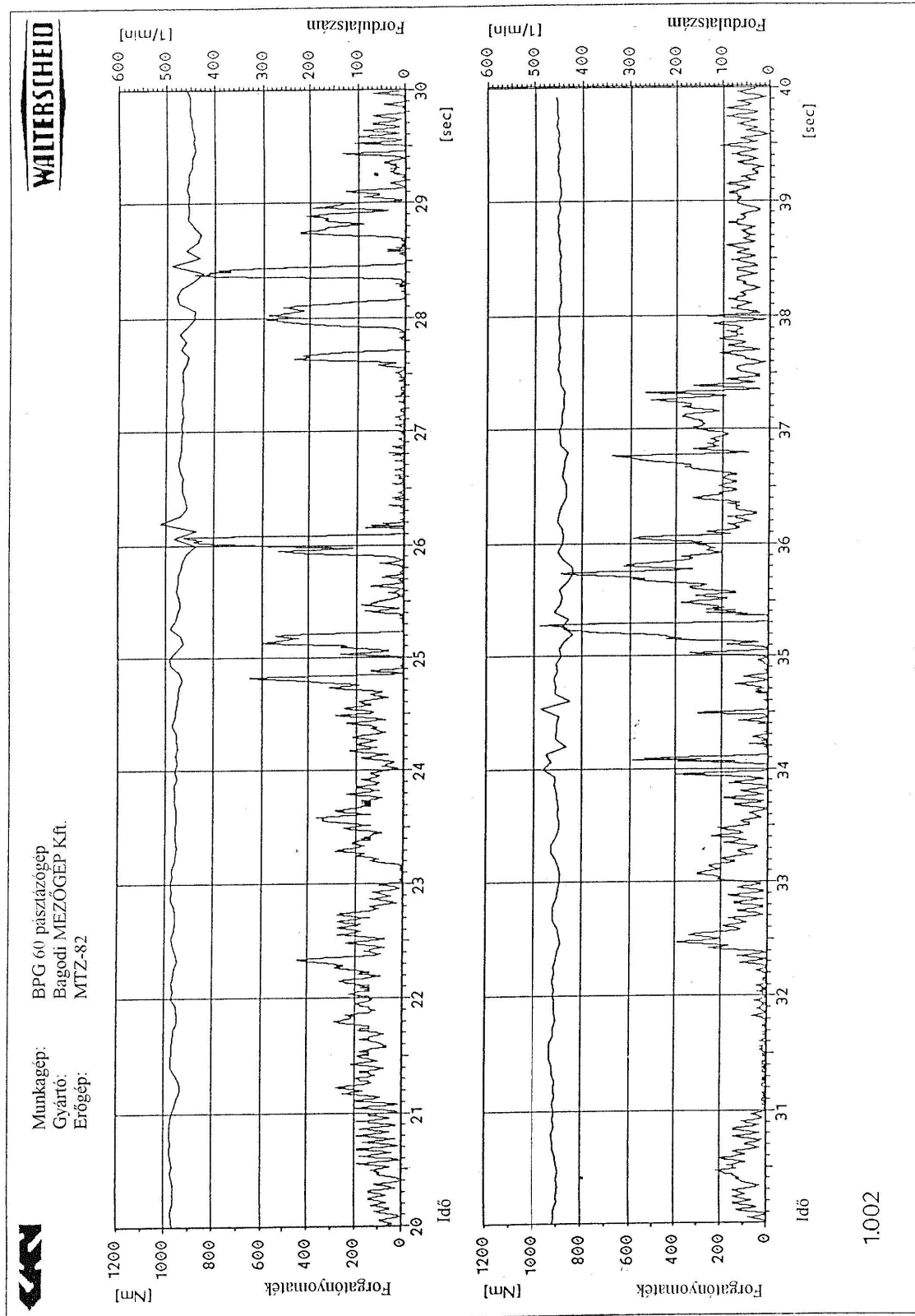
Minta helye		0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
...1.../1	1	284,66 g	297,95 g	283,01 g
	2	296,05 g	264,99 g	316,99 g
	3	320,05 g	283,75 g	282,34 g
	4	270,79 g	297,04 g	265,20 g
	5	/	/	/
...1.../2	1	285,36 g	308,77 g	276,46 g
	2	301,56 g		
	3	297,74 g	292,63 g	294,08 g
	4	/	/	/
	5	/	/	/
...1.../3	1	276,60 g	316,14 g	311,99 g
	2	293,34 g	295,29 g	314,17 g
	3	305,18 g	307,56 g	317,67 g
	4	/	/	/
	5	/	/	/
...1.../S	1	283,77 g	287,65 g	301,20 g
	2	287,62 (m _{III})	306,33 g	306,98 g
	3	289,67 g	312,20 g	293,55 g
	4	271,27 g	291,28 g	281,14 g
	5	/	/	/

← Kibontott

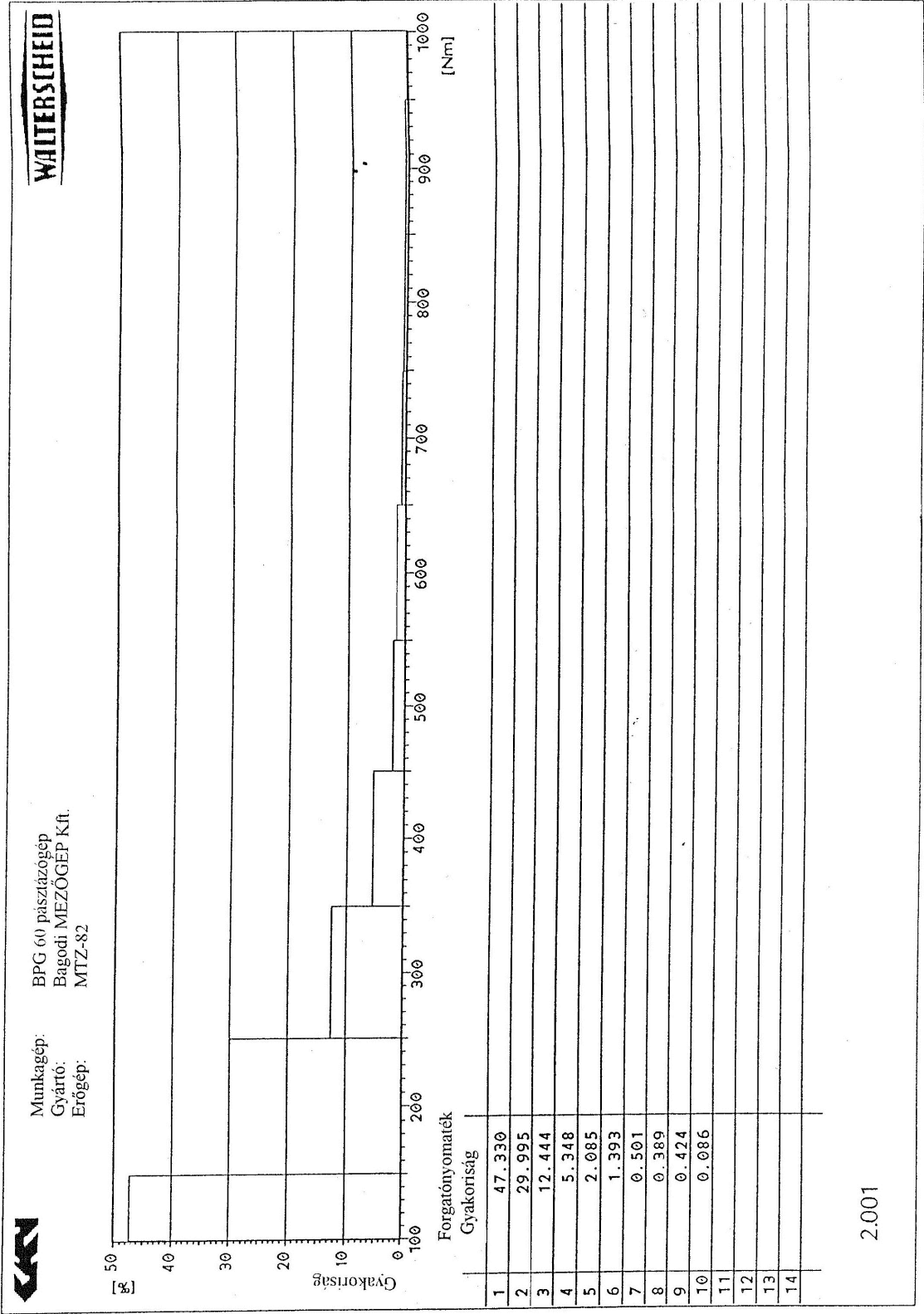
6/1. melléklet. Indítás és pásztakészítés (BPG-600)



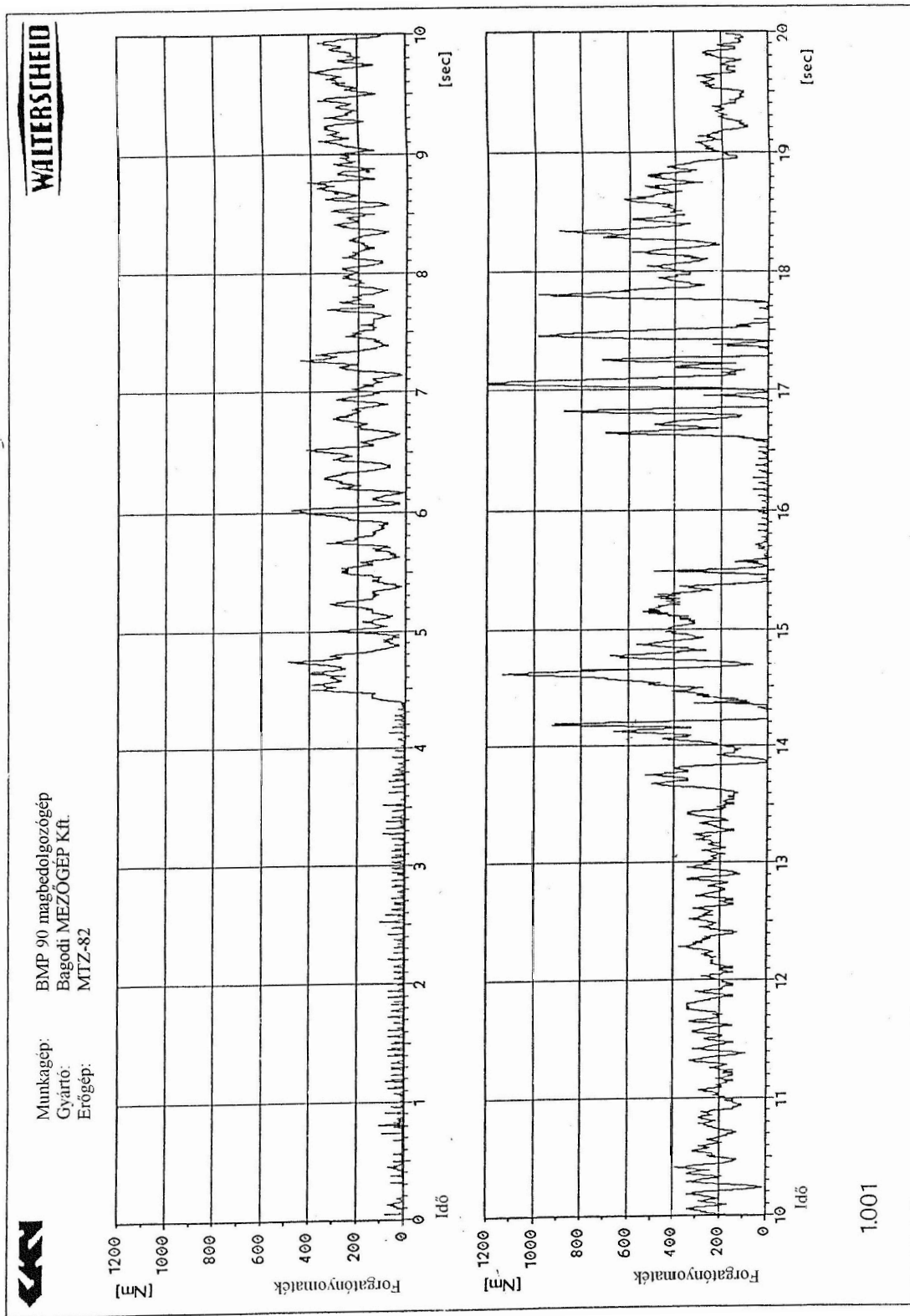
6/2. melléklet. Pásztakészítés (BPG-600)



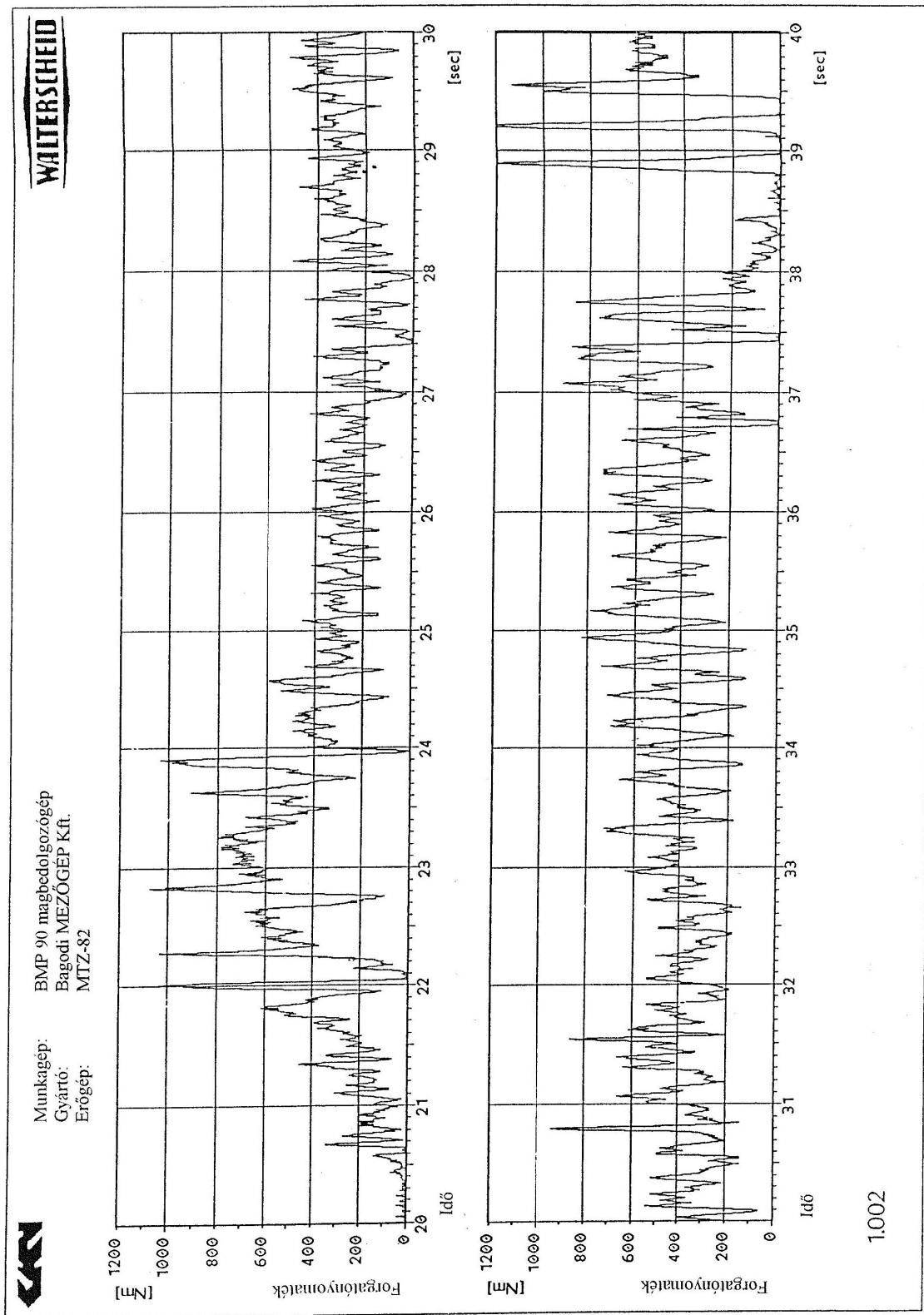
6/3. melléklet. Nyomatékigény gyakorisága BPG-600 esetén



6/4. melléklet. Indítás és pásztakészítés (BMP-900)



6/5. melléklet. Pásztakészítés (BMP-900)



6/6. melléklet. Nyomatékigény gyakorisága BMP-900 esetén

