

---

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM  
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR  
MOSONMAGYARÓVÁR**

**Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete**

**Doktori Iskola: Precíziós Növénytermesztési Módszerek Alkalmazott  
Növénytudományi Doktori Iskola**

Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Neményi Miklós (PhD) DSc

**Alprogram: Termőhelyspecifikus precíziós növénytermesztés műszaki  
feltételrendszere**

Alprogramvezető: Prof. Dr. Neményi Miklós (PhD) DSc

Témavezetők: Prof. Dr. Neményi Miklós (PhD) DSc

Dr. Kovács Attila József (PhD)

**MÉRÉSI MÓDSZEREK FEJLESZTÉSE PRECÍZIÓS  
NÖVÉNYTERMESZTÉSI TECHNOLOGIÁKNÁL**

Készítette:

**CSIBA MÁTYÁS**

**MOSONMAGYARÓVÁR**

2010

---

---

**Mérési módszerek fejlesztése precíziós növénytermesztési  
technológiáknál**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében  
a Nyugat-magyarországi Egyetem „Precíziós Növénytermesztési Módszerek  
Alkalmazott Növénytudományi Doktori Iskola” „Termőhelyspecifikus  
precíziós növénytermesztés műszaki feltételrendszere” programja

Írta: Csiba Mátyás

Témavezetők: Prof. Dr. Neményi Miklós (PhD) DSc

Dr. Kovács Attila József (PhD)

Elfogadásra javaslom (igen / nem) .....  
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ..... % -ot ért el,

Sopron/Mosonmagyaróvár .....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen /nem

Második bíráló (Dr. ....) igen /nem

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

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

Sopron/Mosonmagyaróvár,  
.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....  
.....  
Az EDT elnöke

---

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>KIVONAT</b> .....	6
<b>1. BEVEZETÉS</b> .....	7
<b>Kutatási célkitűzés:</b> .....	11
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	12
<b>2.1 A talajjellenállás mérése</b> .....	12
<b>2.1.1 Gyakorlatban használatos penetrométerek</b> .....	13
2.1.1.1 <i>Eijkelkamp kézi penetrométer</i> .....	13
2.1.1.2 <i>Termőhelyi Talaj Teszter (3T System)</i> .....	14
2.1.1.3 <i>Rimik CP40ll Penetrometer</i> .....	16
2.1.1.4 <i>Eijkelkamp Penetrologger</i> .....	16
<b>2.1.2 Traktoros erőmérők</b> .....	18
2.1.2.1 <i>A haladási sebesség és a művelési mélység befolyásoló hatásai</i> .....	22
<b>2.2 A műholdas helymeghatározás mezőgazdasági alkalmazásának áttekintése</b> .....	23
2.2.1 <i>GPS, DGPS, RTK, EGNOS</i> .....	23
2.2.2 <i>NMEA szabvány</i> .....	25
2.2.3 <i>Egységes Országos Vetület</i> .....	26
<b>2.3 A talajművelés energetikai szempontjai</b> .....	26
2.3.1 <i>Talajkímélő járószerkezetek, talajtaposás</i> .....	29
<b>2.4 Az analóg és digitális jelek fizikai tulajdonságai</b> .....	33
2.4.1 <i>Analóg jelek</i> .....	33
2.4.2 <i>Digitális jelek</i> .....	33
2.4.3 <i>Jelátalakítás</i> .....	33
<b>2.5 A talajnedvesség és annak mérési eljárásai</b> .....	36
2.5.1 <i>Szárítószekrényes eljárás</i> .....	37

---

2.5.2 Tenziométeres eljárás .....	38
2.5.3 Az elektromos ellenállás mérésén alapuló módszerek.....	39
2.5.4 Neutronszóródásos módszer.....	40
2.5.5 A $\gamma$ -sugár-gyengítési módszer .....	41
2.5.6 Hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló módszer.....	42
2.5.7 NIR spektrofotométeres talajnedvesség mérés .....	46
2.5.8 A talaj víztartalmának meghatározása becslésen alapuló módszerrel.....	47
2.5.9 Fajlagos elektromos vezetőképességen alapuló módszer .....	48
2.5.10 Talajnedvesség mérés horizontális penetrométer segítségével ...	48
<b>2.6 Precíziós gyomszabályozás .....</b>	<b>49</b>
<b>2.7 Precíziós légi (helikopteres) növényvédelem.....</b>	<b>55</b>
2.8 A termény minőségi paramétereinek mérése betakarítás során.....	56
2.8.1 A szemnedvesség mérése .....	57
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1 A talajellenállás mérése .....</b>	<b>61</b>
3.1.1 Traktoros erőmérés.....	61
3.1.2 Koordináta átalakítás .....	64
3.1.3 A művelési mélység mérése .....	66
3.1.4 A penetrációs energia meghatározása.....	68
<b>3.2 Talajnedvesség mérése .....</b>	<b>72</b>
3.2.1 Talajmintavétel, előkészítés és laborvizsgálat .....	73
3.2.2 A tömeg- és a térfogatarányos talajnedvesség kapcsolata .....	74
3.2.3 CS 616 TDR alkalmazhatósága kvázi folyamatos talajnedvesség méréséhez.....	76
<b>3.3 Precíziós gyomfelvételezés.....</b>	<b>77</b>

---



---

<b>3.4 Precíziós légi (helikopteres) növényvédelem</b> .....	80
<b>3.5 A termény minőségi paramétereinek mérése betakarítás során</b> ....	83
<b>4. EREDMÉNYEK</b> .....	88
<b>4.1 A talajellenállás mérése</b> .....	88
<i>4.1.1 Traktoros erőmérő rendszer</i> .....	88
<i>4.1.2 Művelési mélység mérése</i> .....	89
<i>4.1.3 A horizontális és vertikális talajellenállás összehasonlítása</i> .....	91
<b>4.2 Talajnedvesség mérése</b> .....	92
<b>4.3 Precíziós gyomfelvételezés</b> .....	95
<b>4.4 Precíziós légi (helikopteres) növényvédelem</b> .....	97
<b>4.5 A termény minőségi paramétereinek mérése betakarítás során</b> ....	99
<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	105
<b>TÉZISEK</b> .....	110
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b> .....	112
<b>MELLÉKLETEK</b> .....	128
<b>I. A vontatási ellenállást rögzítő program Zeus nyelvben</b> .....	129
<b>II. 2007-ben vett talajminták kiértékelése</b> .....	133
<b>III. 2008-ban vett talajminták kiértékelése</b> .....	134
<b>IV. A CR10x adatnaplózón futó program</b> .....	135
<b>V. A talajnedvességet rögzítő program Zeus nyelvben</b> .....	137
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b> .....	141

**KIVONAT**

Az értekezésben a szerző beszámol a precíziós növénytermesztésben alkalmazható műszaki fejlesztésekkel kapcsolatos kutatásairól. Ezen belül bemutatja a folyamatos talajellenállás terén elért új eredményeit, mely során az adatnaplózást modernizálja, és a mérést kiegészíti a művelési mélység rögzítésével, valamint ezeket összeveti a penetrométeres mérések eredményeivel. Ismertet egy TDR mérésre alapozott kvázi folyamatos talajnedvesség mérő rendszert. Bemutatja a precíziós növényvédelem számára kidolgozott on-line gyomfelvételező rendszert, mely segítségével a táblán belüli gyomborítottság exakt módon mérhetővé válik. Megvizsgálja a helikopteres növényvédelmi munka során alkalmazható, a földi használatban széles körben elterjedt navigációs rendszerek létjogosultságát. Felveti, majd megoldást kínál a kapacitív szemnedvesség mérők mérési hibáinak kiküszöbölésére.

**ABSTRACT**

In this dissertation the author reports his researches in technological developments for precision agriculture. This includes the new results in continuous draft measurements, where he modernizes the record of the raw data and expands the measurement on working depth, too. Presents a TDR based quasi continuous measuring system for spatial soil moisture recording. Also introduces an on-line system for weed coverage monitoring, where the spatial weed distribution could be determined in percentage. Examines the opportunities in precision crop protection to help the work of a sprayer helicopter. Raises, and gives a solution for errors occurring in continuous grain moisture sensing by capacitance sensors.

## 1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági termelés fő célja a Föld lakosságának megfelelő minőségű és mennyiségű élelmiszerrel való ellátása, pl. az élelmiszeripar számára búza, az olajipar számára az olajrepcé vagy a napraforgó, ill. egyéb ipari növények termesztése. Mivel az erre alkalmas termőterület a világon napról napra csökken, a termelés intenzitásának növelésével kell elérnünk megfelelő eredményeket a környezetünk minimális terhelése mellett. Erre nyújthat megoldást a termőhely-specifikus gazdálkodás.

A hagyományos üzemi gazdálkodás területi alapegysége a homogén művelési egységként kezelt mezőgazdasági tábla. A precíziós gazdálkodás ezzel szemben a táblák heterogenitásából indul ki és a táblákon belüli mintázathoz köthető talajművelési, trágyázási, növényvédelmi stb. feladatok optimális végrehajtását tekinti céljának. Egy termőhely-specifikus precíziós növénytermesztési rendszer kidolgozása a termőhelyi viszonyok és a termés részletes, tábla-szintű felmérését (talaj- és növényvizsgálat, terméselemzés); valamint ezek eredményeinek korszerű térinformatikai módszerekkel történő kezelését (GIS) kívánja meg a megfelelő agrotechnikai módszerek (talajművelés, vízháztartás szabályozás, növényi tápanyagellátás, növényvédelem) potenciális kidolgozása és adaptálása érdekében (*Neményi et al., 2002*). A talaj termékenységének fenntartásában, a trágyázásban már korábban kezdeményezések történtek, hogy a táblákat ne homogén egységként kezeljék, hanem különítsék el azokat a talajtani szempontból homogénnek tekinthető, táblán belüli foltokat, melyek eltérő mértékű művelést igényelnek.

A hagyományos gazdálkodás keretei között a terepi adatgyűjtés eredményei a mezőgazdasági táblára, mint térbeli objektumra

vonakoztathatók. A precíziós gazdálkodás filozófiai kulcskérdése a táblán belüli tulajdonság, mintázat térbeli meghatározása. A homogén táblarészek felvételezési (talajtani, tápanyag gazdálkodási, kártevő, kórokozó, gyom stb.) eredményeinek feldolgozását, integrált információs és irányítási rendszerbe foglalását követően – műszaki és automatizálási fejlesztések révén – a táblarészre adaptált szaktanácsadási rendszer(ek) felhasználásával termőhely-specifikus kezelésekre nyílik lehetőség. Ez nagyobb hatékonyságú, alacsonyabb ráfordítás és költség igényű, javuló termésminőségű és kisebb környezeti kockázatú gazdálkodást eredményez (*URL*<sup>1</sup>).

A precíziós gazdálkodásnak számos előnye van és a környezetvédelmi előírások fokozódó jelentősége miatt egyre nagyobb teret hódít. Az egyik legfontosabb előny, hogy a pontos termésmennyiségek ismerete, a homogén területek egyedi talajvizsgálata, okszerűbb tápanyag-utánpótlást, talajhasználatot, agrotechnikát tesz lehetővé mindamelllett, hogy a termelés is hatékonyabbá, versenyképesebbé válik. Nem szabad elfeledkeznünk arról sem, hogy a környezet változatosságához igazodó agrotechnika jelentősen csökkenti a mezőgazdasági területek környezeti terhelését. Ugyanakkor az is valószínűsíthető, hogy az EU-ban azok a gazdálkodók, akik valamilyen környezetkímélő növénytermesztési rendszert alkalmaznak, jelentős többlettámogatást kapnak majd a jövőben.

A mezőgazdasági gépek konstrukciós megoldásai elsősorban a nagy teljesítményre irányulnak, és ezért nem mindig felelnek meg a termesztési rendszert biztonságosan alapozó és fenntartó talajművelés igényeinek (*Birkás, 2001*). Ez azonban néhány esetben megkérdőjelezhető, mert a nagy teljesítményű gépek és a biztonság nem egymást kizáró kategóriák. A szilárd és vízálló talajszerkezet kialakítása a fenntartó talajművelés által nem öncélú erőfeszítés. Mivel a jelenlegi, úgynevezett hagyományos talajművelési

rendszer kedvezőtlenül befolyásolja a talaj szerkezeti állapotát, jelentősen károsodnak a rizoszféra termodinamikusan feltételei is. Ismert, hogy a szerkezetes talajok nedvességvesztése kisebb, ugyanakkor az oxigénnek a talajba és a széndioxidnak a talajból való diffúziója akadály nélkül végbemegy, emellett a talaj felszínén adiabatikus (hőcsere nélküli) állapot alakul ki (Birkás, 2001). A művelési irányzatok a gazdálkodási, növénytermesztési rendszerek változásait követve nem egyszer módosították és napjainkban is módosítják a művelés feladatait. Erre egy kiemelkedően jó példa a precíziós talajművelés, amivel a növények számára megfelelő életteret biztosítunk a lehető legkisebb talajtaposás mellett, illetve lehetőleg kisebb hajtóanyag-fogyasztás mellett, mivel csak a kifejezetten szükséges területeket műveljük (Birkás et al., 2007). Más oldalról a termőhely állapotához alkalmazkodó művelés az eredményes növénytermesztés és egyben a talajvédelem alapja. Védendő területeken a művelés idejének, irányának, mélységének gondos megválasztásával, a talómaradványok borítottságának kihasználásával csökkenthető a víz és a szél pusztító hatása. A művelési beavatkozások ésszerű korlátozásával, kímélő műveléssel pedig csökken a talajszerkezet károsodásának esélye (Nyíri, 1993).

Mezőgazdasági szempontból, akárcsak az élőlények esetében a víznek is óriási jelentősége van. Hatással van a növények anyagforgalmára, a terméshozamra, a talaj biológiai aktivitására. A talaj víztartalmának meghatározása több okból is hasznos. Ismeretében meghatározható az optimális vetésidő, a termesztendő növény fajtája, a talaj műveléséhez legmegfelelőbb időpont, ill. segítséget nyújt a precíziós öntözésben és precíziós gazdálkodásban. Speciális vetőgép alkalmazásával elérhető, hogy az agronómiai szempontok figyelembevételével, a terület minden homogén egysége más tőszámmal kerüljön elvetésre. Ha elvégeztük a

helymeghatározást is felhasználó gyomfelvételezést, akkor a gyomfoltokat speciális kezelésben részesíthetjük.

A mezőgazdaságban használatos elektronikus rendszerek alkalmazásának kezdete az 1960-as évek közepétől számolható (*Stone et al.*, 2008). Az elmúlt 20 évben az informatika ugrásszerű fejlődése, valamint a fenntartható fejlődés által megkövetelt műszaki-informatikai háttér mindezt felgyorsította. A helyspecifikus gazdálkodás nagy mennyiségű helyhez kötött adat gyűjtését és elemzését igényli, melyhez számos műszaki-elektromos berendezés szükséges (*Hummel et al.*, 1996). Ezek fejlődése, fejlesztése napjainkban is tart, és valószínűleg a jövőben még intenzívebben fog előtérbe kerülni. Fontos ezeket szem előtt tartani, mert csak ebben az esetben lehet a technológiában rejlő lehetőségeket maximálisan kihasználni.

Összegezve: a harmadik évezred új lehetősége a precíziós gazdálkodás, mely a mezőgazdasági termelés egyes fő alkalmazási területein (talajművelés, vetés, tápanyag-visszapótlás, növényvédelem, betakarítás) számos technológiai újítást kínál, amely EU-konform és gazdaságos is lehet, ha megtaláljuk az adaptáláshoz és a beruházáshoz szükséges tőke megszerzésének lehetőségeit.

**Kutatási célkitűzés:**

Kutatásaim olyan meglévő alkalmazott precíziós mezőgazdasági technológiák pontosítására, valamint új mérési módszerek kifejlesztésére irányultak, melyek a gyakorlat számára előrelépést, ill. pontosítást jelentenek. Ezen belül céloom volt:

- A talajművelő eszközre ható vontatási ellenállás egzakt mérési módszerének kidolgozása, mely segítségével egy egyszerű, univerzális mérőrendszert kívántam létrehozni.
- Megoldást találni egy TDR (Time Domain Reflectometry) elven működő talajnedvesség mérő műszer, folyamatos, ill. kvázi folyamatos szántóföldi alkalmazására.
- Mérési technológiát kidolgozni a mezőgazdaságilag művelt táblán belüli gyomnövények előfordulásának térképezésére.
- Megvizsgálni a precíziós technikák helikopteres növényvédelemben való alkalmazhatóságát magyarországi viszonylatban.
- A Zeltex Inc., AccuHarvest On-Combine Grain Analyzer mérőműszer segítségével betakarítás közben meghatározni a termés fehérje, ill. nedvességtartalmát szántóföldi körülmények között.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Várallyay (2007) munkájában a talajt, mint az egyik jelentős megújuló energiaforrást említi. Ahhoz, hogy ezt a leghatékonyabban kihasználjuk, fontos a talaj paramétereinek részletes ismerete mind térben, mind időben. A tömörödöttség az egyik legfontosabb indikátora a környezet talajkárosító hatásának és utal annak fizikai állapotára (Birkás et al., 2004). Minél pontosabb és részletesebb információk állnak rendelkezésünkre, annál hatékonyabban fogjuk tudni kihasználni a növénytermesztés alapvető közegét, a környezet minimális terhelése mellett is biztosítva a maximális hozamot. Azon információk ismerete, melyek a környezeti viszonyokat legpontosabban jellemzik, a munkagépek optimális beállítását, ezáltal számottevő megtakarítást eredményeznek (Yule et al., 1999). Alapvetően a talajparamétereket két alcsoportra oszthatjuk: fizikai, ill. kémiai tulajdonságokra. A leggyakrabban vizsgált fizikai paraméterekhez tartozik a talajjellenállás, a nedvességtartalom, a térfogattömeg, míg a kémiai tulajdonságok közül a pH, az agyagtartalom, a nitrogén-, a foszfor-, a kálium- és a humusztartalom az iránymutató értékek.

### 2.1 A talajjellenállás mérése

A penetrométerrel mért talajjellenállás az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a talaj tömörödöttségének, a tömörödött rétegek mélységbeli elhelyezkedésének, valamint a talajfizikai állapot térbeli és időbeli változásának vizsgálatára (Szöllősi, 2003). Ezen kézi mérőeszközök segítségével egy előzőleg eltervezett mintavételi stratégia szerint - ez lehet random, vagy szabályos - a mérőműszer típusától függő mélységben tudjuk megmérni a talaj penetrációs ellenállását. Egy, a kézi mérést leváltani hivatott



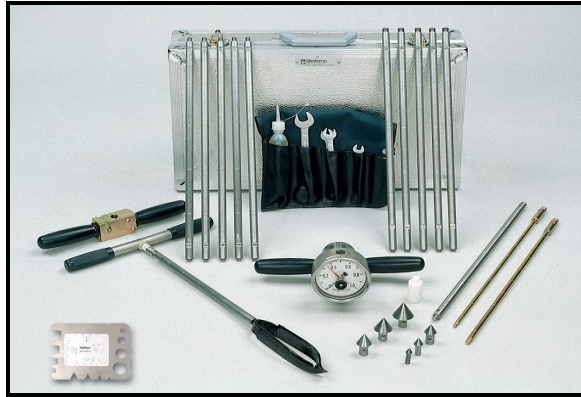
traktoros automatizált mérést *Boon et al.*, (2005) ismertetnek. *Sun et al.*, (2007) pedig az erőmérő cella Hall-szenzorra való cseréjét ajánlják, mely olcsóbb és egyszerűbb felépítéssel rendelkezik. Ha a talaj tömörödöttségére szeretnénk következtetni, akkor a talajjellenállás mellett a nedvességtartalom és térfogattömeg viszonyok ismeretére is szükségünk van (*Mouazen et al.*, 2003; *Mouazen és Ramon*, 2006). *Hemmat és Adamchuk* (2008) munkájában egy átfogó képet találunk a jelenkorra kifejlesztett, ill. alkalmazott mérési módokról. *Vaz et al.*, (2001); *Lapen et al.*, (2004); *Birkás et al.*, (2005); *Hemmat és Adamchuk* (2008) a penetrációs ellenállás és a talaj nedvességtartalma között szoros összefüggést állapítanak meg, ezért mindenképpen a két paraméter együttes mérését javasolják. Amennyiben különböző mérési körülmények közötti eredményeket szeretnénk összehasonlítani, elengedhetetlen az azonos nedvességértékekre történő ellenállásértékek átszámolása, mert csak ez esetben kapunk reprezentatív eredményeket. A talajjellenállás kifejezésére gyakran, elsősorban a külföldi irodalmakban (*Sudduth et al.*, 2006) az ún. „cone index” megnevezést használja a terminológia. Mértékét Pascal-ban adják meg, de gyakorlati szempontok miatt a kPa, ill. a MPa a használatos mértékegység.

### **2.1.1 Gyakorlatban használatos penetrométerek**

#### *2.1.1.1 Eijkelkamp kézi penetrométer*

Ez egy kézi mechanikus eszköz (1. ábra), ami 3 m mélységig használható a kapható mérő ékektől és száráktól függően. A szerkezetet a felhasználó saját testsúlyának segítségével nyomja bele a talajba megközelítőleg 2 cm/s sebességgel. Mivel a leolvasott eredmények a mérőküptől nagymértékben

függenek, egy táblázat áll rendelkezésünkre, mely segítségével egyszerűen kikereshetőek az adott kúpra vonatkoztatva a valódi penetrációs értékek.



1. ábra: Eijkelkamp kézi penetrométer (Forrás: URL<sup>2</sup>)

#### 2.1.1.2 Termőhelyi Talaj Teszter (3T System

A mérőberendezést (2. ábra) speciálisan kiképzett mechanikus és digitális elektronikai elemek felhasználásával alakították ki. A mérés egy alapkeretbe foglalt szabványos (MSZ 08-1784-83) 60°-os kúpszögű szondaszár kúpjának a talajban történő 1 cm-es rétegenkénti szakaszolt előrehaladásával történik.



2. ábra: 3T System penetrométer

A szondaszár kúpos végében szigetelten van elhelyezve a talajnedvességet érzékelő oszcillátor. A szondaszár felső része a rögzítő sínnel az alapkerethez felfogott mérőegység dobozának biztonsági házában elhelyezett erőmérő cellához csatlakozik. Itt található a nedvességmérés elektronikus egysége is. A mérőegység dobozában történik az érzékelt jelek feldolgozása, kiértékelése, a vizsgált paraméterek LCD-kijelzőn való helyszíni kijelzése. A mérőszonda folyamatos sebességű talajba juttatása, illetve a mérés befejezése után a talajból való kiemelése a léptető elemet működtető mechanizmusokkal történik. A mechanizmus az alapkeret egyik szárán pontosan 1 cm osztástávolságú kétoldali fogazással van ellátva. A fogakba illeszkedő kilincsszerű mechanikai áttétel úgy van kialakítva, hogy kézi erővel könnyen biztosítható a szonda függőleges helyzetben való talajba nyomása, illetve kiemelése a kilincsmű átváltása után. A talaj felszínére merőleges szonda behatolást és a talaj ellenállásával szembeni ellentartás a talplemez, illetve a mérést végző személy, személyek súlyerejével biztosítja. A mérőberendezés a talajjal való érintkezés révén végzi a mérést 1 másodperces elektronikus mintavételi időtartam alatt. A mérőszonda mintavételi ideje állandó és az elektronikus hardver révén biztosított. A vizsgálati adat mintavételéhez szükséges idő alatt az érzékelést végző mérőkúp elmozdulása elhanyagolhatóan kicsi (0.005-0.02 mm). A vizsgált talajrétegen belül a talajrétegre jellemző mérési értékek meghatározása törvényszerűen mindig ugyanabban a pozícióban, a rétegvastagság felénél (0.5 cm) történik. A mérővizsgálati pontatlanság az elektronikus feldolgozás segítségével  $\pm 2,5\%$ -on belül marad (Szöllősi, 2003).

### 2.1.1.3 Rimik CP40ll Penetrometer

Az előzőekhez viszonyítva egy részletesebb információkat nyújtó eszközről van szó, melyhez a helyspecifikus mérésekhez feltétlenül szükséges GPS helymeghatározó is beépítésre került, így nem csak a penetrációs értékek, hanem azok pontos helye is könnyedén rögzíthető. Egyszerre 2047 mérést tud tárolni, ezek után csatlakoztatható egy számítógéphez, amire az adatok átmásolhatók. Az erőmérő cellája 5600 kPa ellenállásig mér. Az adatokat egy digitális kijelzőn jeleníti meg. A felhasználó új mappát tud létesíteni különböző helyszíneken való méréshez, anélkül, hogy az előző mérések adatai elvesznének. A műszer 750 mm mélységig képes mérni, a felhasznált mérőkúpok, és száraik függvényében (3. ábra).

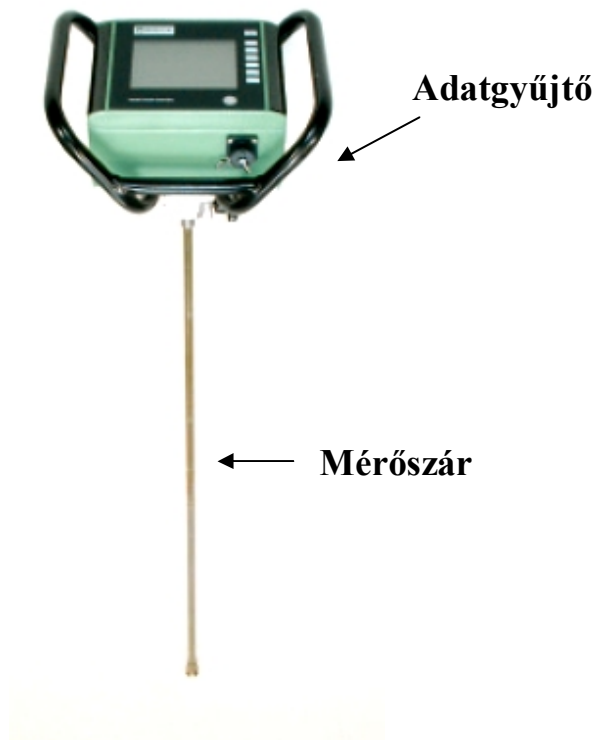


3. ábra: Rimik CP40ll Penetrometer (Forrás: [URL<sup>3</sup>](#))

### 2.1.1.4 Eijlkelkamp Penetrologger

Ebben a szerkezetben az Eijlkelkamp cég egyesített egy penetrométert és egy adatnaplózót (4. ábra). A mérés maximális mélysége alaphelyzetben 80 cm, mely a szondaszár toldásával tovább bővíthető. A mérési mélységet egy

ultrahangos szenzor állapítja meg, melynek évenkénti gyári kalibrációja szükségeltetik. A mérés megkezdése előtt vagy a hozzá kapott szoftver segítségével, vagy a mérőegységben kell beállítani a mérőkúp típusát, valamint a mélységhatárt, hogy a mért értékek pontosak legyenek, valamint bejegyezhető a mérés helyszíne, neve stb. Mérést 0-10 000 kPa közt tudjuk elvégezni. A penetrométer egy precíziós GPS-el is fel van szerelve, a mérések pontos helyének rögzítése céljából. A pillanatnyi értékeket a gép mind grafikusán, mind táblázatos formában kijelzi, valamint elmenti. A későbbiekben egy adatkábel segítségével RS-232 porton keresztül az adatok letölthetők, és egyszerű táblázatos formában kezelhetők.



4. ábra: Eijkelkamp Penetrologger (Forrás: URL<sup>4</sup>)

Ahogy a fentiekből látszik, számos, eltérő elven működő penetrométer van alkalmazásban, a gyakorlatban viszont a talajmintavétel körülményei, az egyes műszerek kialakítása, és a mérés elvégzése nem egységesített, ami sok esetben nem teszi lehetővé az eltérő területeken mért értékek összehasonlítását (*Motavalli et al., 2003*).

### **2.1.2 Traktoros erőmérők**

A talajtulajdonságok ismerete, legfőképpen a talajjellenállás az egyik fontos alapja a precíziós mezőgazdaságnak. Ezen paraméter táblán belüli helyspecifikus megoszlásának ismerete lehetőséget biztosít az optimális talajművelés elvégzésére (*Sirjacobs et al., 2002*.) A gyors és hatékony mérési módokat kell előnyben részesíteni a talaj fizikai paramétereinek mérésekor, helyettesítve a laborban elvégzendő idő- és költségigényes vizsgálatokat (*Hanquet et al., 2004*). A penetrométeres mérések pontszerűek, munka- és időigényesek, valamint nem szolgáltatnak megfelelő számú térbeli információt, ezért mind a külföldi, mind a hazai kutatóhelyek egy folyamatos mérési módszer kidolgozását tűzték ki célul. *Bentaher et al., (2008)* alapvetően három fő csoportba sorolják ezen módszereket. Az *1. csoportba* a traktorhoz kapcsolt művelőszerszámra szerelt szenzorok tartoznak. Ezek az érzékelők megfelelő pontosságú adatokat szolgáltatnak, viszont magas árak, specifikus kialakításuk, valamint egyedi felszerelésük, mely módosíthatja a művelőszerszám geometriai tulajdonságait, nem tette lehetővé a gyakorlatban való elterjedésüket. A *2. csoportba* a traktor három-pont függesztésére erősített dinamométerre kidolgozott mérési elv tartozik (*Al-Jalil et al., 2001*). A traktorra függesztett művelőszerszámon ébredő erő fontos szerepet játszik a traktor működésénél (szükséges vonóerő, stabilitás, kormányzás,

hajtóanyag fogyasztás, optimális erőgép-munkagép kapcsolat stb.). Ezen irányú kutatási eredmények összefoglalását, valamint egy saját rendszer ismertetését *Kheiralla et al.*, (2003) munkájában találjuk meg. Annak ellenére, hogy számos hibát kiküszöbölnek, rendelkeznek egyéb hátrányos tulajdonságokkal is, mint például a nehéz vázszerkezet, mely nagymértékben befolyásolja a súlyelosztást, valamint számos extra érzékelő elemre és kiegészítőre van szükség, melyek újabb hibaforrásokat eredményezhetnek.

A 3. csoportba az érzékelők közvetlenül a traktor három-pont függesztésére szerelt megoldása tartozik. Alkalmazásával lehetőség nyílik akár félig függesztett (pl. eke, tárcsa stb.) művelőeszközök vontatási ellenállásának mérésére, ugyanis az alsó két függesztőkaron ébredő erőket és a harmadik pontot is külön erőmérő cella érzékeli. *Neményi et al.*, (2006) egy a 4. csoportba is sorolható mérési elvet dolgoztak ki, mely az erőmérést a traktor gyárilag beépített elektrohidraulikus rendszerének (EHR) erőmérő cellájára alapozza. Nagy előnye, hogy bármely függesztett művelőszerszám esetében alkalmazható, nem szükséges kiegészítő szenzorok felszerelése, és mindössze az erőmérő cellára történő specifikus kalibráció után bármely EHR-t tartalmazó (a modern traktorokban ez megtalálható) traktor esetében alkalmazható. *Godwin és Spoor* (1977); *Desbiolles et al.*, (1997); *Sahu és Raheman* (2006); *Godwin et al.*, (2007); *Godwin és O'Dogherty* (2007) a folyamatos mérések helyett előzetes modellezés alapján a művelési mélység, szélesség, valamint a művelőszerszám geometriai tulajdonságai alapján különböző talajtípusokra határozzák meg a feltételezett talajellenállást. *Neményi et al.*, (2006); *Mesterházi et al.*, (2004); *Trusic et al.*, (2008) és *Whalley et al.*, (2008) vizsgálatai alapján szignifikáns kapcsolatot állapítanak meg a hozam és a talajellenállás között. Amennyiben a talajellenállás az optimális érték-tartományban mozog, sem a termény minősége sem a

mennyisége nem fog kedvezőtlenül változni ennek hatására. A tömörödöttség a mélyebb (25-30 cm) rétegekben viszont művelőtalp betegséghez vezet, mely negatív hatást gyakorol a víz és tápanyag forgalomra. Ugyanez a probléma a felső rétegekben kedvezőtlen gyökérfejlődést idéz elő, mely nagymértékben korlátozza a termesztett kultúrnövény növekedését (*Chi és Tessier, 1995; Hemmat és Adamchuk, 2008*). Kutatási eredményeik alapján a fent említett szerzők a talaj túlzott tömörödöttségét jelölik a növekedési stressz és az alacsony hozamok egyik fő befolyásoló tényezőjeként. *Gorucu et al., (2006)* szerint számos folyamatos elven működő talajjellenállás mérő rendszer van jelenleg is kidolgozás alatt, de ezek magas költsége, valamint fejlesztési stádiumuk nem teszik lehetővé a talajjellenállás pontos mérését és még mindig a penetrométeres méréseket fogadja el standard mérésnek. Továbbá kidolgoztak egy olyan algoritmust, mely segítségével a talaj penetrációs ellenállásának mérésével megállapíthatóvá válik az optimális művelési mélység, valamint a tömörödött rétegek elhelyezkedésének pontos helye. *Desbiolles et al., (1999)* a penetrométeres mérések eredményeit hasonlítják össze a művelő szerszámra ható erővel. Vizsgálatai során arra törekedett, hogy a két eltérő egységet egymásba átszámíthatóvá tegye. Bevezette a penetrációs energia ( $P_e$ ) fogalmát (5. ábra), mely egy adott mélységben mért talajjellenállás integrált értéke:

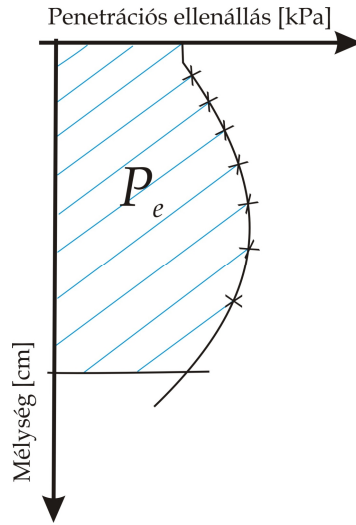
$$P_e = \int_0^d C_i \cdot dd \text{ [kJ/m}^2\text{]} \quad [1]$$

ahol:

$C_i$  – cone index [kPa];

$d$  – mélység [m].





5. ábra: Penetrációs energia

Ennek mértékegysége a  $[\text{kJ}/\text{m}^2]$ , mely megállapítása szerint már összehasonlíthatóvá válik a talajművelő szerszámot érő erőhatásokkal, melyet  $S$  (soil strength) [2] betűvel jelöl.

$$S = \frac{D}{G} \text{ [kN/m]} \quad [2]$$

ahol:

$D$  – a vontatási ellenállás [kN];

$G$  – a talajművelő eszköz geometriai viszonyozása [m].

Több talajtípuson kipróbálva arra az eredményre jutott, hogy a cone index nem hozható összefüggésbe sem a vontatási-, sem a talajellenállással, viszont a penetrációs energia és a talajellenállás között már szignifikáns kapcsolat jelentkezett. *Bölenius et al.*, (2006) egy on-line (folyamatos működésű) horizontális penetrométert ismertetnek, a talaj penetrációs ellenállásának és a hozam adatok közötti kapcsolat vizsgálata érdekében. Ezt

a műszert kiegészítették még egy NIR (Near Infrared Reflectance) elven működő talaj-textúra, nedvesség- és szerves-anyag tartalom mérő eszközzel is. Menet közben (max. 1.5 m/s) rögzíti a penetrációs ellenállást, melyekhez GPS koordináták is tartoznak, így a mérés helyspecifikussá is válik. Ebből is látható, hogy számos egyéb talajparamétert is figyelembe kell venni az egzakt eredmények elérése végett (*Watts et al.*, 2006).

#### 2.1.2.1 A haladási sebesség és a művelési mélység befolyásoló hatásai

*Rahman* és *Chen* (2001) arra a megállapításra jutottak, hogy az általuk vizsgált talajművelő eszközöknél, a művelési mélység lényegesen nagyobb mértékben befolyásolta az eredményeket, mint a haladási sebesség. Lazább talajokon 19%-kal, kötött talajon 14%-kal növekedett a vonóerő a sebesség (10 km/h) hatására, míg megközelítőleg 5 km/h sebességnél nem jelentkezett ilyen jellegű változás (*Wheeler* és *Godwin*, 1996).

A traktorokhoz kapcsolt munkagépek művelési mélység szabályozásával számos szakirodalom foglalkozik (*Weatherly* és *Bowers*, 1997; *Lee et al.*, 1998; *Sogaard*, 1998; *Condon et al.*, 2001). Legtöbbjük hibája, hogy egyedi kialakításúak, így minden egyes új eszközhöz változásokat - esetenként új érzékelőket, irányító elektronikát - kell alkalmazni, ami nagymértékben meggátolja gyakorlati alkalmazásukat. Ezen okok miatt még napjainkban is kutatások folynak egy univerzálisan alkalmazható mélységszabályozó kifejlesztésén. *Anthonis et al.*, (2004) egy mélységállító (mankó) kereket alkalmaznak. Vizsgálataik során, betonon, földúton valamint tarlón végeztek összehasonlító kísérleteket egy ultrahangos, ill. a kerekes megoldás között. *Mouazen et al.*, (2004) arra a konklúzióra jutottak, hogy a beton, ill. földúton mindkét szenzor jól teljesít, viszont a tarlómaradványok befolyásolták az ultrahangos érzékelőt, míg a talaj tömörsége a kerék által mért mélységre volt

hatással. Laza szerkezetű talajok esetén túl mélyre pozícionálódik a kerék, míg kötöttebb talajnál nem tud a valós mélységben haladni. Ennek érdekében a befolyásoló tényezők modellezésére van szükség a hibák kiküszöbölése végett. *Saeyns et al.*, (2008) tapasztalatai azt mutatják, hogy a traktor, ill. munkagép keréknyomába szerelt ultrahangos érzékelő megfelelő biztonsággal képes meghatározni a művelési mélységet, még abban az esetben is, ha növényi, ill. tarlómaradványok vannak is jelen. A kerék által letaposott felület kellően homogén és csak minimálisan torzítja az eredményeket. *Van der Linden et al.*, (2008) egy lézeres technológiára épített megoldást ismertetnek. Munkájuk során a sorközművelő kultivátor mélységállításának automatizálását vizsgálták. Az alkalmazott rendszer 1 mm pontossággal dolgozik, valamint további előnye, hogy képes a növényi részek és a talaj megkülönböztetésére is. Kérdésként merül fel, hogy ez a nagyfokú pontosság mely esetekben indokolt szántóföldi körülmények között, ill. annak ára mennyire befolyásolja az alkalmazhatóságot.

## **2.2 A műholdas helymeghatározás mezőgazdasági alkalmazásának áttekintése**

### *2.2.1 GPS, DGPS, RTK, EGNOS*

A precíziós mezőgazdaság definíciója műszaki-informatikai szempontból alapvetően a helyspecifikus, pozícionált (adott helyre vonatkozó) információ gyűjtésére és kezelésére épül. Nem szabad csupán a precíziós (precíz) fogalom értelmezésére támaszkodni, hiszen lehet egy technológia nagyon pontos, mégsem ebbe a fogalomba tartozik akkor, ha egy adott termelési egységen (táblán) belül az eltérő körülményeket nem veszi figyelembe, és nem annak megfelelően változtatja a kezeléseket.

A műholdas helymeghatározás segítségével a táblán belüli helyzetünk minden nehézség nélkül meghatározható. A kérdés a pontosság mértéke, költsége és megtérülése. Ezt a célt a ma elérhető rendszerek, pl. az EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), jelkorrekció segítségével 1-2 méteres pontossággal biztosítják. A rendszer előnye, hogy bárki számára ez a pontosság ingyenesen elérhető. Ha ettől pontosabb navigációt szeretnénk, akkor számos - a pontosság mértékétől függő - előfizetésen alapuló jelkorrekciós csomag áll rendelkezésünkre. A feldolgozási módszer a mérésekből képzett különbségekkel való számításokon alapul, melynek során bizonyos hibák eltűnnek, vagy hatásuk jelentősen csökken. Ezt a mérési módszert differenciális módszernek is nevezhetjük. A Differenciális GPS (DGPS) technikán tehát olyan valósídejű, relatív GPS-módszert értünk, amikor (elsősorban) kódmerést dolgozunk fel és nem magunk biztosítjuk az ismert ponton mérő vevő üzemeltetését, hanem a referencia-állomás adatait vesszük át szolgáltatásként (*Németh et al., 2007*). Amennyiben a mezőgazdasági felhasználásban elérhető maximális pontosságra törekszünk, akkor lehetőség van az ún. RTK (Real Time Kinematics) használatára, mely a világűrből érkező műholdjeleket egy földi bázisállomás segítségével korrigálja. Így a mezőgazdasági műveletek során 1-2 cm pontosságot tudunk elérni. Ennek elsősorban a vetésnél, tápanyag-visszapótlásnál, szántóföldi permetezésnél, a csatlakozó sorok helyének pontos meghatározásánál, illetve a mechanikus növényápolásnál van jelentősége, de természetesen az összes talajművelési munkánál is elérhető a maximális pontosság. Egy közepes, ill. nagyméretű gazdaság számára kifizetődő a saját bázisállomás telepítése, de a kisebb gazdaságok számára annak magas ára miatt ez nem lenne megvalósítható. Megoldást nyújthat a GPRS alapú rendszer használata, mely a mobil adótornyok segítségével,

előfizetéses alapon, rádióhullámok segítségével sugározza az RTK korrekciós jeleket a felhasználóknak. Az ilyen és ehhez hasonló rendszerek tesztelése és gyakorlati alkalmazása hazánkban jelenleg is folyik.

### 2.2.2 NMEA szabvány

A GPS-jelek bonyolultsága és a műholdas jellevők számának növekedése miatt szükségessé vált az adatátvitel szabványosítása. Az NMEA 0183 szabvány határozza meg az elektromos jelekkel szembeni követelményeket (*URL*<sup>7</sup>). Terepi munka során fontos, hogy a kompatibilis GPS-vevőknek ismernie kell az NMEA szabványt. Ilyen szabványok:

1. GPGGA (GPS fix adat)
2. GPGLL (földrajzi pozíció, szélesség, hosszúság)
3. GPGSA (GPS DOP értéke és az aktív műholdak)
4. GPGSV (látható GPS-műholdak)
5. GPRMC (javasolt minimális GPS/TRANSIT adat)
6. GPRRE (reziduális hibaérték)
7. GPVTG (terepi sebesség)
8. GPZDA (idő és dátum)
9. PGRME (becsült információs hiba)

A gyakorlati felhasználó számára ez annyit jelent, hogy amennyiben rendelkezik már egy GPS-vevővel, és ennek a vevőnek a jeleit továbbítani szeretné egy új szenzor felé, nem szükséges újabb GPS-vevőt vásárolnia, hiszen a szabvány miatt az egyes GPS-vevők kimeneti jeleit a szenzor bemeneti oldalának fogadnia kell. Arra azonban oda kell figyelni, hogy a kimeneti jel megfelelő formában kerüljön továbbításra (*Németh et al., 2007*).

### 2.2.3 Egységes Országos Vetület

A GPS által használt geocentrikus koordináta-rendszer és a Magyarországon alkalmazott ellipszoid koordináta-rendszer között az egymástól függetlenül kiépített hálózat miatt nem lehet szabatos kapcsolatot létesíteni. Hazánkban a polgári geodéziai feladatok végrehajtására vezették be az Egységes Országos Vetületi Rendszert (EOV), amelynek a vonatkozási rendszere HD-72 (Hungarian Datum 1972). Annak érdekében, hogy a GPS-szel meghatározott WGS-84 vonatkozási rendszerben adott koordinátákat át tudjuk számítani az EOV-be, szükségünk van olyan pontokra, amelyek koordinátái ismertek mindkét vonatkoztatási rendszerben. Ezt egy olyan GPS-hálózat kialakításával érhetjük el, amelynek pontjai ismertek az EOV-rendszerben is. Ekkor a legkisebb négyzetek módszerével meghatározhatjuk a transzformációs paramétereket, amelynek segítségével lehetőség van az újonnan meghatározott pontok GPS-koordinátáinak átszámítására az országos rendszerbe (Németh *et al.*, 2007).

### 2.3 A talajművelés energetikai szempontjai

A talajművelés során energetikai szempontból a talajkötöttségnek, a nedvességnek és a talajellenállásnak van meghatározó jelentősége (Kacz *et al.*, 2007). Ezek azok a paraméterek, amelyek a vontatási ellenállás alakulását leginkább befolyásolják. Wheeler és Godwin (1996); Onwualu és Watts (1998); Bergeijk *et al.*, (2001); Godwin (2006) számos további tényezőt, mint pl. a művelési mélység, ill. szélesség, haladási sebesség, művelőszerszám szöge stb. is felsorolnak, melyeket feltétlenül figyelembe kell venni a talajellenállás mérésekor. Fontos mutató a fajlagos talajellenállás

( $k$ ), amely egy talajművelő gép – pl. egy eke – használata során mért vonóerőnek egységnyi keresztmetszetre vonatkoztatott értéke:

$$k = \frac{F}{a \cdot b} \text{ [N/cm}^2\text{]} \quad [3]$$

ahol:

$k$  – fajlagos talajellenállás [N/cm<sup>2</sup>];

$F$  – a vontatásához szükséges erő [N];

$a$  – a művelés mélysége [cm];

$b$  – a művelés teljes szélessége [cm].

A fenti kifejezést általában a gyakorlat során, gyors számolás esetében alkalmazzuk, holott a valóságot nem nükrözi hüen. A vonóerő-szükséglet meghatározására Gorjacskin által, a valóságot sokkal jobban megközelítő kifejezés használatos (*Rázsó*, 1958).

A talajművelő gépek döntő részét traktorral üzemeltetjük. A traktor munkagép kapcsolat a jól megválasztott, energetikailag is illeszkedő traktorkiválasztás a munka minősége szempontjából is lényeges kérdés.

Az erő- és talajművelő gép között általában mechanikus és hidraulikus kapcsolatot is kell biztosítani. Vontatott talajművelő gép az erőgéphez egyetlen ponton, a vonóhorgon, a félig függesztett és függesztett gép két-, illetve három ponton kapcsolódik. A csatlakoztatás történhet teljesen kézi úton – csapok behelyezése, hidraulikus csövek összekötése – vagy úgynevezett gyors-kapcsoló keretek segítségével. Ezek fordított U-alakú vagy háromszögletű keretek, amelyek a mechanikus csatlakoztatást nagy biztonsággal megoldják. Az energetikai illesztés a traktor vontatási teljesítményének [4] jó kihasználása érdekében szükséges. Jónak mondható

az illesztés, ha a traktor vontatási teljesítményét legalább 90%-os szinten kihasználjuk. Ez egy megfelelő szélességű munkagép meghatározott sebességű vontatásával érhető el.

$$P = k \cdot a \cdot b \cdot v_h \cdot 10^{-3} \text{ [kW]} \quad [4]$$

ahol:

$P$  – vontatási teljesítmény [kW];

$k$  – a fajlagos vontatási ellenállás [ $\text{N}/\text{cm}^2$ ];

$a$  – a művelés mélysége [cm];

$b$  – a művelés szélessége [cm];

$v_h$  – haladási sebesség [m/s].

A vontatási sebességet az elvégzett munka minősége is korlátozza. Az egyes talajművelési munkafolyamatok mindemellett egy minimális sebességet igényelnek az optimális határfok érdekében. A vontatására ajánlott sebességi-intervallumok a következők:

- ekék: 6-12 km/h (ez kormánylemez formához is kötődik);
- tárcsás boronák: 6-10 km/h;
- ásóboronák: 10-14 km/h;
- magágykészítő gépek: 8-14 km/h.

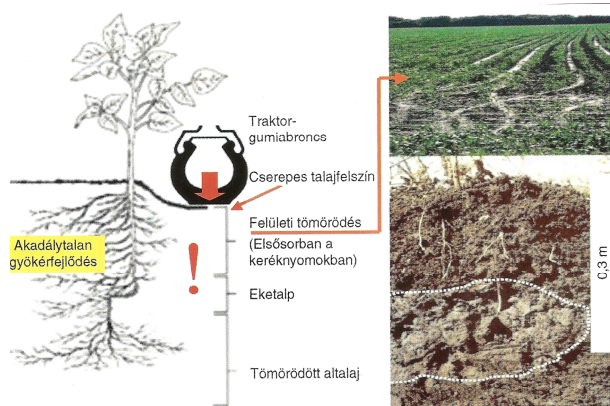
A legkedvezőbb gépkapcsolatról akkor beszélünk, ha a vizsgált sebességnél a munkagép vontatási teljesítményigénye azonos a traktor által ennél a sebességnél kifejtendő vontatási teljesítménnyel. Mindezek mellett a traktormotort nem célszerű maximális terhelésnek kitenni, szükségesszerű teljesítmény-tartalékkal rendelkezni. Ennek mértékét a terhelési tényező fejezi ki, mely optimális értéke 0.78-0.85 (Szendrő, 1993).



McLaughlin et al., (2008) beszámolnak egy három éves kutatásról, mely során nyolc különféle talajművelő eszköz (eke, tárcsás borona, középnehéz kultivátor, nehéz kultivátor stb.) energetikai vizsgálatát végezték el. Ezek magukba foglalták a vonóerő az hajtóanyag fogyasztás [l/ha], valamint egy specifikus hajtóanyag fogyasztás [l/GJ] - a legjobb indikátora a traktor eszköz kapcsolatnak - mérését. Megállapításuk szerint jelentős energia megtakarítást érhetünk el az optimális traktor művelőeszköz kapcsolata esetében (Perfect et al., 1997). Ezen adatok összevetése egyéb agronómiai, valamint talajadatokkal a helyi klimatikus viszonyok mellett lehetővé teszi a legmegfelelőbb művelési rendszer meghatározását.

### 2.3.1 Talajkímélő járószerkezetek, talajtaposás

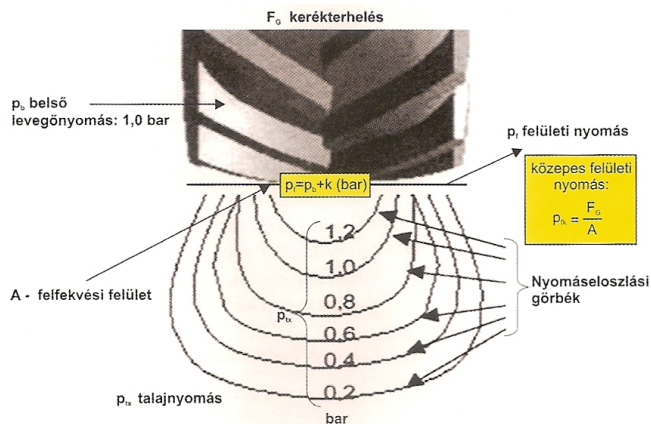
A tömörödött talaj korlátozza a víz-, a levegő- és a tápanyagmozgást az egyes rétegek között, lerontva ezzel a természetett növény fejlődésének (növekedésének) feltételeit. Káros talajtömörőségről akkor beszélünk, ha a penetrációs ellenállás meghaladja a 2 500 kPa-t, ill. a talaj térfogattömege az  $1.50 \text{ g/cm}^3$ -t. A járművek az év folyamán többször is bejárvák, tapossák a termőterületet, mely elkerülhetetlen, és ezzel párhuzamosan nagyon káros a talajszerkezetre nézve (6. ábra).



6. ábra: A tömörödött talaj jellemzői (Forrás: Jóri, 2008)

A káros talajtömörödés ellen különböző módszerekkel védekezhetünk, amelyek nagymértékben enyhítik a káros talajtaposás mértékét. Fontos, hogy olyan művelési eljárások alkalmazására törekedjünk, amelyek csökkentik a gépekkel végzendő műveletek számát, illetve ezek hatásfokát fokozzuk műveletkombinálással, barázdán kívül járva szántással, művelőnyomos technológiával, ill. TLT-hajtású művelőeszközök alkalmazásával. A tömörítés közvetlen hatását kiküszöbölhetjük nyomlazítókkal, valamint a művelt réteg alatti talaj lazításával. A mezőgazdasági gépek abroncsainak negatív hatását nagyban kiküszöbölhetjük a lánctalpas, gumihevederes, ikerkeres járószerkezet használatával, valamint az abroncsnyomás optimális megválasztásával.

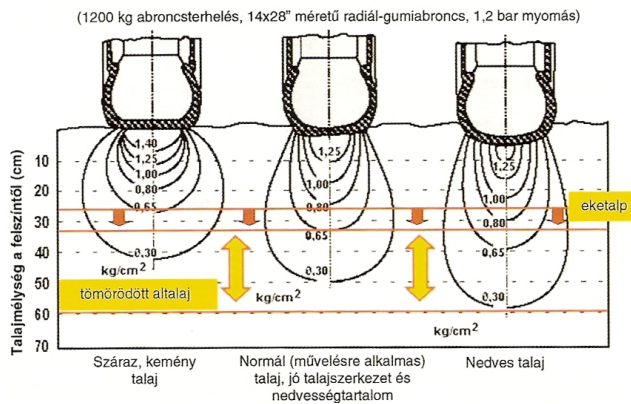
A járószerkezet és a talaj közötti erőkapcsolatból a talajra kétféle hatás származik át. Elsődlegesnek tekinthető hatás a (1.) talajnyomás, illetve különböző nyomó- és nyírófeszültségek, másodlagosnak pedig a (2.) talajtömörítés. A járószerkezet talajra gyakorolt hatása függ a talaj fizikai jellemzőitől, amelyek közül legfontosabb a talaj szemcseösszetétele, a sűrűségi állapot és a nedvességtartalom (7. ábra), valamint az abroncs belső nyomásától, az abroncsra ható függőleges terhelés mértékétől.



7. ábra: A talajnyomás kialakulása (Forrás: Jóri, 2008)

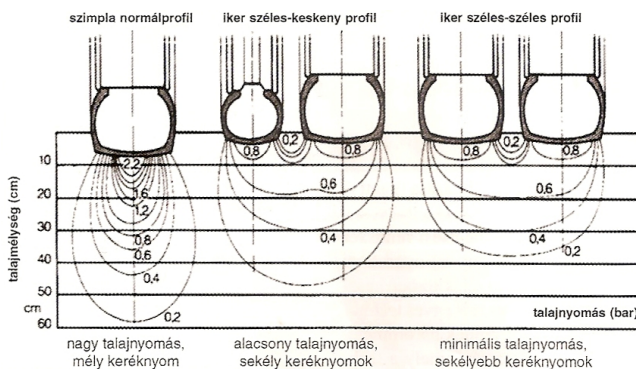
Az abroncs alatti hagymadiagram (8. ábra) nagysága, s ezzel együtt az azonos nyomásszintek mélységbe hatolásának, valamint a haladási irányra merőleges szétterjedésének mértéke egyrészt a függőleges abroncsterheléstől, illetve az abroncs belső nyomásától, másrészt a talaj hordozó képességétől függ.

A járszerkezet által okozott talajtömörítő hatás csökkentésének, illetve megelőzésének módjai, ha dupla vagy tripla abroncsozást használunk (9. ábra), a tengelyek számát növeljük, az abroncsnyomást csökkentjük, profilarányt-változtatjuk, valamint gumihevedert alkalmazunk (Jóri, 2008).



8. ábra: A járszerkezet talajra gyakorolt hatása a nedvesség függvényében

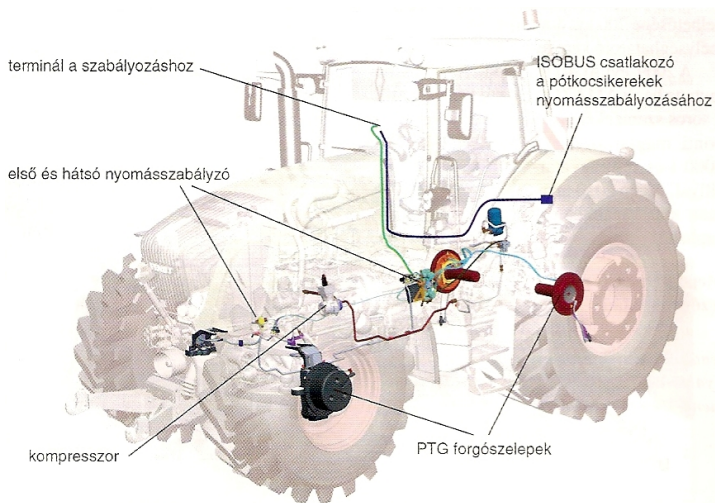
(Forrás: Jóri, 2008)



9. ábra: A talajnyomás alakulása az abroncsozás függvényében

(Forrás: Jóri, 2008)

Az optimális abroncsnyomás jelentősége közismert a szakemberek körében. *Sharifi et al.*, (2007) vizsgálatai alapján akár 25%-kal is csökkenthető a talajra gyakorolt nyomás. A szántóföldi munkáknál a nyomás csökkentésével megnövekszik a felfekvő felület, megnövelve ezáltal a vonóerő-képességet (a kerékcúszás – szlip - csökkenése miatt), és mindemellett csökken a káros talajtömörödést is. Közúti közlekedésnél viszont egy nagyobb abroncsnyomás csökkenti a gördülési ellenállást, mely által minimalizálódik az abroncskopás és a hajtóanyag-felhasználás is fajlagosan kevesebb lesz. A Fendt elsőként jelent meg a piacon a traktorba integrált nyomásszabályozó rendszerrel (10. ábra), mely lehetővé teszi az abroncsnyomás menet közbeni szabályozását (*Horváth*, 2009).



10. ábra: Traktorba épített gumiabroncsnyomás-szabályozó rendszer  
(Forrás: *Horváth*, 2009)

## 2.4 Az analóg és digitális jelek fizikai tulajdonságai

### 2.4.1 Analóg jelek

Analóg jeleknek nevezzük azokat a jeletket, amelyeknek jellemző paraméterük egy tartományon belül bármilyen értéket felvehet, térben és időben folyamatosan változik, tehát értékkészletük folyamatos (*Halász és Huba, 2003*). Általában elmondhatjuk róluk, hogy periodikusak, azaz bizonyos időközönként ismétlődnek. Nagyon fontos, hogy a nagyságuk (amplitúdó) két szélső határ között bármilyen értéket felvehet. Az ilyen jeleknek három tulajdonsága van, amely adatátvitelre felhasználható. Ezek a frekvencia, az amplitúdó és a fázisszög. Frekvenciának, vagy periódusidőnek nevezzük azt az időtartamot, amelynek elteltével a jel megismétlődik. Az amplitúdó az analóg jelek nagyságát határozza meg, és tetszőleges értéket felvehet két határérték közt. Fázisszögnek nevezzük annak az időnek az értékét, amikor az analóg jel értéke 0.

### 2.4.2 Digitális jelek

Digitális jelnek nevezzük azt a jelet, amelynek értéke csak meghatározott diszkrét értékeket vehet fel. A digitális jel valamely változó jelenségnek, vagy fizikai mennyiségnek diszkrét (nem folytonos), megszámlálhatóan felaprózott, s így számokkal felírt értékein alapul. A számítógépek digitális jelekkel bináris rendszerben dolgoznak (*Halász és Huba, 2003*).

### 2.4.3 Jelátalakítás

Mivel villamos vezetőket használunk a kapcsolat kialakításához, ezért valamilyen villamos jellemző fogja az információt hordozni. Annak alapján,

hogy ezek milyen módon képesek az információt reprezentálni, beszélhetünk analóg és digitális átvitelről. Mindkét módot használják a gyakorlatban.

A digitális átvitelt elsősorban mikroszámítógépekben és a számítógépek között valósítanak meg. A digitális jelek két állapottal rendelkeznek, a kikapcsolt állapot a logikai 0, a bekapcsolt pedig a logikai 1. Annak érdekében, hogy ezek az állapotok kezelhetők legyenek, hozzájuk a gyakorlatban legtöbbször konkrét feszültség szinteket vagy feszültség szint-tartományokat rendelnek. Fontos, hogy a két feszültség szint között a digitális jelek nem vehetnek fel értéket, a két szint közötti váltásnak pedig nagyon rövid idő alatt kell megtörténnie. Ezzel kapcsolatban még el kell mondani azt is, hogy a váltások nem történhetnek akármikor. Ennek az oka, hogy a digitális rendszerek áramkörei megadott ütemezés szerint működnek. Erre azért van szükség, hogy a megfelelő jelszinteket a vevő is megfelelő időben legyen képes értelmezni.

A digitális adatátvitel során digitális jeleket viszünk át a kialakított vonalon. Az átvitt információ legkisebb mennyisége a bit. A bit két lehetséges értéket vehet fel (0 vagy 1). Minden adat előállítható bitek sorozatából. A bitek csoportosításából nagyobb adategységek jönnek létre: 8 bit az 1 bájt, 1024 bájt = 1 kilobájt (1 kB), 1024 kB = 1 megabájt (1 MB).

A bitek továbbításának két lehetőségét különböztethetjük meg. A legegyszerűbb eset, amikor a biteket sorban egymás után egy csatornán elküldjük a vevőnek. Ezt az átviteli módot nevezik soros adatátvitelnek. A másik lehetőség, hogy az adó és a vevő között annyi vonalat alakítunk ki, amennyi bitet egyszerre át szeretnénk vinni. Ebben az esetben tehát bitsorozatok átviteléről van szó. Ezt az adatátviteli módot párhuzamos adatátvitelnek nevezik. Természetesen mindkét módszernek van előnye és hátránya egyaránt. A soros átvitel kialakítása olcsó, mivel kevés számú

kapcsolódásra van szükség, de ezzel együtt az átvitel sebessége a párhuzamos átvitelhez képest lényegesen kisebb. A soros kapcsolattal nagyobb távolság hidalható át, mint a párhuzamossal. Azt, hogy melyik módszert alkalmazzák, egyértelműen a feladat dönti el. Általában mikroszámítógépek belső áramköreinek az összekapcsolására párhuzamos módot választanak a kis távolságok és a nagy átviteli sebesség miatt.

A szinkron átvitelnél a bitsoportok kezdete, közepe és a vége csak egy megadott alapidőtartam egész számú többszörösére helyezkedhetnek el egymástól. Ebből is látható, hogy ebben az esetben azok nagyon szigorúan meghatározott sorrendben követik egymást, a kezdetük és a hosszúságuk is pontosan meg van határozva. A szinkronizációt speciális bitsoportokkal valósítják meg, amelyek a tényleges információt előzik meg. A szinkron bitsoport általában a legtöbb átmenetet tartalmazó csoport (pl. 1010101010101010), amelynek ideje alatt a vevő képes a saját működésének az ütemezését beállítani.

Az aszinkron átvitel tipikus karakter átviteli módszer. Általában ezt a módszert a soros átvitelnél használják. Az aszinkron soros átvitel nagyon elterjedt a mikroszámítógépek terén, számos speciális áramkört alakítottak ki az átvitel megvalósításának egyszerűbbé tételére. A gyakorlatban, a PC-s technikában az RS-232, az ipari környezetben pedig az RS-485 interfészt használják.

Az analóg jelet analóg/digitális (A/D) átalakítással digitális jellé alakítjuk (Fekete, 1996). Az átalakítás során a jel pillanatnyi értékét egy bináris számmal reprezentáljuk. Könnyen belátható, hogy az így kapott jel nem ugyanaz, mint az analóg jel, mivel mind értékkészletben véges felbontással rendelkezik, továbbá időben sem lesz folytonos. Azonban ez nem okoz számottevő problémát, ha megfelelő bitszámmal feleltetjük meg a

jel pillanatnyi amplitúdóját, továbbá a bemenő jel frekvenciájára egy olyan megkötést teszünk, hogy a legnagyobb mintavételezendő harmonikusa sem éri el a mintavételi frekvencia felét.

Az A/D átalakítás során kapott digitális jel feldolgozására két lehetőség és annak kombinációi adódnak. Az egyik az adatfolyamként folytonos feldolgozás, a másik pedig, hogy meghatározott hosszúságú adatblokkonként végzünk az adatokon műveletet. Alapjában véve elmondható, hogy azokat a műveleteket, amelyeket analóg áramkörökkel is végezzünk, azokat a digitális feldolgozás esetén is célszerűen adatfolyamban végezni. Néhány bonyolult műveletet azonban minden esetben adatblokkonként (pl. 1024 mintánként) végzünk a gyakorlatban.

## **2.5 A talajnedvesség és annak mérési eljárásai**

A talajnedvesség mérése több szempontból is hasznos számunkra. A mezőgazdasági vízgazdálkodás és a talajnedvesség szabályozás terén leggyakrabban alkalmazott mérési módszer. A talajok vízkészletének aktuális mennyisége és alakulása könnyűszerrel leírhatóvá válik. A kapott értékek modellezési referenciaként használhatók. Annak érdekében, hogy mérni tudjuk a talajra jellemző fizikai, ill. kémiai paramétereket, információt kell gyűjtenünk. Ezt alapvetően két módon tehetjük meg: pontszerűen, ill. folyamatos mérésekkel. Számos szenzor és mérési eljárás áll rendelkezésünkre a talaj nedvességtartalmának meghatározására. Ennek ellenére ma még nincs olyan eljárás, amellyel a teljes nedvességtartományban, zavaró tényezők nélkül, egyszerűen, gyorsan, megbízhatóan és pontosan meghatározható, folyamatos módon regisztrálható lenne a talaj nedvességtartalma (*Várallyay, 2002*). A meghatározások elvi alapjait a következőkben ismertetem.



### 2.5.1 Szárítószekrényes eljárás

A szárítószekrényes eljárás előnyei közé tartozik, hogy teljes nedvességtartományban használható, hőmérsékletre és sótartalomra nem érzékeny, pontos, ezért leggyakrabban kalibrációs standardként alkalmazzák. Legnagyobb hátránya, hogy mintavétel szükséges hozzá (felmerülhetnek mintavételi hibák), emiatt nem reprodukálható, folyamatos regisztrálásra nem alkalmas, munkaiigényes (Várallyaly, 2002). A nedves talajmintákból kb. 50-100 g mennyiséget elkülönítünk, lemérjük a tömegét (nedves tömeg), majd szárítószekrényben (11. ábra) 100 °C-on tömegállandóságig szárítjuk (Stefanovits, 1992). Ezután lemérjük ismét (száraz tömeg). A két mérés különbsége adja a talaj nedvességtartalmát.



11. ábra: Szárítószekrény

A talaj nedvességtartalmát többféle egységben lehet megadni:

- *Grammban*: a nedves és a száraz talaj tömegének különbsége.
- *Tömegszázalékban*: a talajban lévő víztömegnek a talaj száraz tömegéhez viszonyított %-os mennyisége. A külföldi (angol nyelvű)

irodalmak leggyakrabban a GSM vagy GVC (Gravimetric Soil Moisture, ill. Gravimetric Water Content) rövidítés használják.

- *Térfogatszázalékban:* Az egységnyi talajtérfogatban lévő víztérfogat %-os mennyisége. A külföldi (angol nyelvű) irodalmak a VSM vagy VWC (Volumetric Soil Moisture, ill. Volumetric Water Content) rövidítéseket használják. Fontos megemlíteni, hogy a két egység egymásba átszámításához szükséges a talaj térfogattömegének ( $\rho_{\text{bulk}}$ ) ismerete is.
- *Milliméterben:* Egy adott rétegvastagságú talajnál az 5. képlet segítségével.

$$W = \frac{\theta_v \cdot h}{10} \text{ [mm]} \quad [5]$$

ahol:

$W$  – a talaj vízkészlete [mm];

$h$  – a vizsgált talajréteg vastagsága [cm];

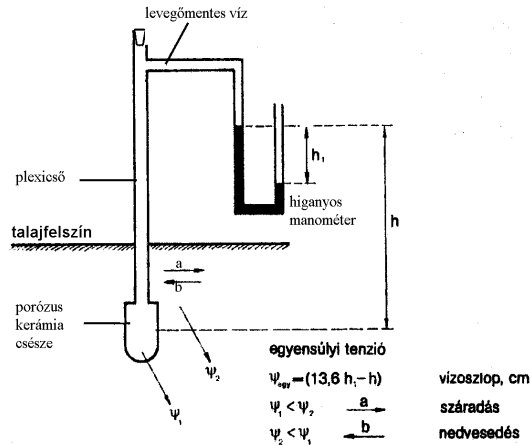
$\theta_v$  – a nedvességtartalom térfogat százalékban [%].

Leggyakrabban ezt az értéket egy hektárra vonatkoztatott vízmennyiségben adják meg  $\text{m}^3/\text{ha}$  egységben.  $1 \text{ mm}$  vízborítás  $1 \text{ ha-on} = 10\,000 \text{ liter} = 10 \text{ m}^3$ .

### 2.5.2 Tenziométeres eljárás

A tenziométer (12. ábra) tulajdonképpen egy vízzel töltött és manométerrel összeköttetésbe hozott porózus kerámiacsésze, amely permeábilis a víz, de impermeábilis a levegő számára. Méréskor az előzetesen kiforralt desztillált vízzel buborékmentesen feltöltött tenziométer kerámiacsészéjét a talajba kell helyezni. A talaj szilárd fázisának szívóereje hatására a csészén keresztül víz szívárog a talajba. Mivel a tenziométer

levegő számára zárt belső terébe kívülről nem juthat be levegő, a kiszivárgott víz miatt a belső térben vákuum keletkezik, amelynek mértékét a manométer regisztrálja.



12. ábra: A tenziométer elvi vázlatja (Forrás: Várallyay, 2002)

A tenziométer tehát tulajdonképpen a talajnedvesség „szívóerejét” kifejező, ún. „mátrixpotenciált” méri, 0-100 kPa nyomásig. A manométeren leolvasott vákuum vízoszlop-cm-re számítható át, s ennek alapján az adott talajra jellemző pF-görbéről közvetlenül leolvasható a mért tenziónak megfelelő nedvességtartalom. Ahogyan a növények gyökerei vizet vonnak el a talajból, a talajnedvesség tenzió növekedni fog, egyenes arányban a talaj fokozatos kiszáradásával. A módszer világszerte elterjedt a talaj nedvességforgalmának regisztrálására. Egy hordozható tenziométerrel relatíve gyors mérést tudunk elvégezni (Várallyay, 2002).

### 2.5.3 Az elektromos ellenállás mérésén alapuló módszerek

Az elektromos vezetőképesség általános jellemző tulajdonsága a talajoknak és ezt kihasználva meghatározható annak nedvességtartalma (Adamchuk et al., 2004). A módszer lényege, hogy a talajba gipsz-, nejlon-

vagy üvegrost „blokkba” ágyazott fémhuzal párt helyezünk, és mérjük a talaj nedvességpotenciálját átvevő blokk elektromos vezetőképességét. Az elektromos vezetőképesség annál nagyobb, minél több elektromos áram vezetésére képes ion van a talajban. Az elektromos vezetőképesség a talaj nedvességtartalmával arányos. Hátránya, hogy a talaj nagy sótartalma esetén nem a nedvességtartalmat, hanem a vízoldható sótartalmat regisztrálja, mert ebben az esetben a jól disszociáló sók jelentik az elektromos áram vezetésére alkalmas ionok fő forrását.

#### *2.5.4 Neutronszóródásos módszer*

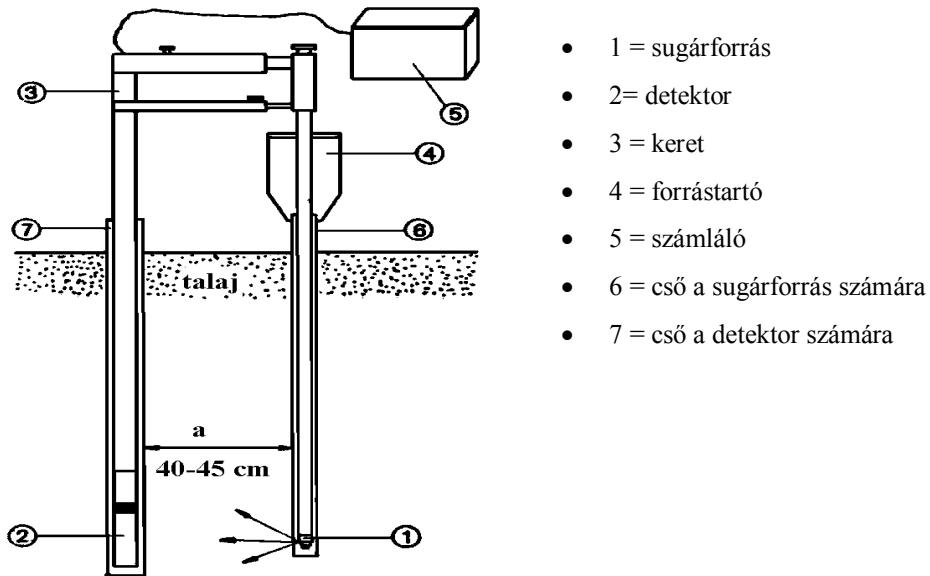
Egy talajba fúrt lyukba megfelelő csőben elhelyezett neutronforrást (5 mC Ra-Be, 30 mC Am-Be, vagy Po-Be) eresztünk le (13. ábra). Ebből gyors neutronok lépnek ki, s a talajban előforduló hidrogénatommagokkal ütközve elvesztik energiájukat. A szóródott lassú neutronok egy BF<sub>3</sub> gázzal töltött csőben abszorbeálódnak. A gáz ionizációja révén létrehozott impulzusokat egy „preamplifier” felerősíti, majd egy „scaler” regisztrálja, számlálja. A hidrogén atommagok elsősorban a vízből származnak, a regisztrált neutronok száma megközelítőleg lineárisan arányos a talaj térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalmával. Ez a módszer a neutronforrás körüli képzeletbeli gömb talajtömegének átlagos nedvességtartalmát regisztrálja. A hatvanas-hetvenes években világszerte alkalmazott módszer volt, azonban a sugárvédelmi előírások elmulasztása miatt bekövetkező egészségügyi ártalmak alkalmazását visszaszorították. Néhány ország és az EU szabványa alkalmazását egyenesen tiltja (Várallyay, 2002).



13. ábra: Neutronszóródásos módszer

### 2.5.5 A $\gamma$ -sugár-gyengítési módszer

A módszer azon a tényen alapszik, hogy a 2–30 atomszámú elemek tömegabszorpciós koefficiense azonos radiációs energia alkalmazása esetén. A sugárforrásból (25 mC  $^{137}\text{Cs}$  vagy 1 mC  $^{60}\text{Cs}$ ) kilépő  $\gamma$ -sugarak egy része a talajban elnyelődik. Az ily módon gyengült  $\gamma$ -sugárzást regisztrálja a sugárforrással párhuzamos csőben, attól 40–45 cm-es távolságban elhelyezett detektor (14. ábra). A  $\gamma$ -sugár gyengülésének mértékét a két cső közötti távolság, a talaj térfogattömege és a talaj nedvességtartalma befolyásolja.



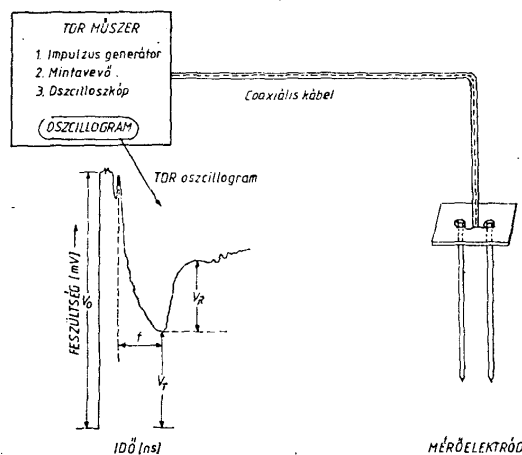
14. ábra: A  $\gamma$ -sugár-gyengítési talajnedvességtartalom-meghatározás elvi vázlatja (Forrás: Várallyay, 2002)

Az első vagy első két említett tényező stabilizálásával a talaj nedvességtartalma regisztrálható. A  $\gamma$ -radiációs módszerek a sugárterhelés fokozott veszélye miatt kevésbé terjedtek el a helyszíni nedvesség meghatározás gyakorlatában. A sugárbiztonsági előírások kizárták a talajvizsgálatok gyakorlatából (Várallyay, 2002).

#### 2.5.6 Hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló módszer

Ebben a csoportban az elektromágneses hullám terjedési sebességének meghatározásán alapuló „Time Domain Reflectometry” (TDR) módszer a legismertebb. A talajnedvesség mérésének lehetséges megoldására először *Fellner-Feldegg* (1969) mutatott rá, míg alkalmazására *Topp et al.*, (1980); *Topp és Davis* (1985) tettek sikeres kísérletet. A TDR lett a gyakorlatban

elfogadott mérési eljárás az „in-situ” talajnedvesség és elektromos vezetőképesség mérésére, annak magas alkalmazhatósága és rugalmassága révén (Robinson *et al.*, 2003). A módszer előnye, hogy helytől, időtől függetlenül használható, eltérő körülmények között. A mérés elve a víz relatív elektromos vezetőképességén alapszik. Az eljárás lényege, hogy egy precíziós elektronikus berendezéssel meghatározható, hogy egy ismert keresztmetszetű és hosszúságú elektródán a kibocsátott rádiófrekvenciás hullám (Or és Wraith, (1999) megállapítása szerint a hatékony mérési határfrekvencia 1 GHz) mennyi idő alatt halad (reflektálódik), és ez által meghatározható a hullám talajban való terjedési sebessége (15. ábra).



15. ábra: TDR elvi vázlat (Forrás: Rajkai, 2004)

A vákuumban mérhető terjedési sebességhez viszonyított lassulás egyértelmű összefüggésben van a talajvíz dielektromos állandójával. Minthogy a talajban a víz dielektromos tulajdonságai a meghatározók, az állandó értéke közvetlen összefüggésbe hozható a talaj nedvességtartalmával:

$$K_a = \frac{c^2 \cdot t^2}{L^2} \quad [6]$$

ahol:

$K_a$  – a talaj látszólagos dielektromos állandója [-];

$c$  – a fény terjedési sebessége vákuumban [m/s];

$t$  – a rádiófrekvencia jel visszatérési ideje [s];

$L$  – az elektróda hossza [m].

A kapott  $K_a$  érték adott mérőelektróda hosszúságnál csak a talaj nedvességtartalmától függ, nem befolyásolja a talaj sótartalma. *Rajkai* (2004) arra a megállapításra jut, hogy a kapacitív szonda 0-50% térfogat-százalékos nedvességtartalom tartományban használható, valamint olyan talajokban, ahol nagy az ionkoncentráció, a 0.3%-nál kevesebb sótartalmú talajoknál a módszer nem megbízható.

A nemzetközi talajfizikai gyakorlat jelenleg a TDR módszert fogadja el szántóföldi körülmények közötti talajnedvesség-mérés legpontosabb módszereként, minthogy a kalibrációja univerzális és a talajoldat kémiai összetétele a nedvességmérési eredményt nem torzítja.

A TDR fejlesztése során számos próbarudat kifejlesztettek a talajnedvesség tartalom mérésére. Ilyen például a kétrudas villa, mely két rozsdamentes acélrúdból áll, amit a talajba nyomnak le, ill. ásnak el. Széles körben használt, könnyű telepíthetősége miatt (*Sanchez-Pérez et al.*, 1999). Általában hosszabb idejű folyamatos regisztrációt végeznek velük, így kialakításuk is ennek megfelelő. A három rudas próbafej kevesebb és kisebb talajszelvény mérésére alkalmas, de a központi rúd mellett több energia koncentrálódik. Hullámvezérlő csatlakozó alkalmazásával lecsökkenthető a hullám érkezési ideje a próbafejhez és ezt a tiszta jelet könnyebb is feljegyezni. Számos esetben a mérőfej talajba juttatása problémás, mely két gyakori problémát idéz elő. Az egyik, hogy a mérőelektróda pár nem lesz párhuzamos egymással mérés közben, valamint körülötte légtér alakul ki.



Mindezek nagymértékben befolyásolják a mérés pontosságát. *Souto et al.*, (2008) ennek érdekében egy flexibilis elemmel helyettesíti a statikus kialakításút, minimalizálva az ebből adódó hibákat. A flexibilis hullámvezérlő csatlakozó gond nélkül alkalmazható számos TDR típusnál. *Walker et al.*, (2004) ismertetnek egy rozsdamentes acélból koncentrikus gyűrűket formáló szenzort (Virrib). A külső körívét alkotó hossza 28 cm, a belsőé 20 cm. A mérés a két elektróda közötti elektromágneses hullám átlagából történik, melyet a talaj kémiai összetétele nem befolyásol. A szenzor 5-55 mA közötti jelet bocsát ki, amely a 5-55% v/v talajnedvesség-tartománynak felel meg. Ezen szenzor minimális telepítési mélysége a mérésekhez 10 cm, anélkül, hogy interferenciát képezzen a levegőréteggel. Az általa végzett összehasonlító vizsgálat eredményei közül a kapcsolótípusú TDR mérési pontosságát emeli ki a többi típusú TDR-el szemben. Az elektromos talajnedvesség mérés leggyakoribb hibalehetőségei közé tartozik, hogy nem csak a talajban lévő nedvesség mennyiségét jelzi ki, hanem a gyökérét is, ill. a mért nedvességtartalom értéket a talajhézagok jelentősen csökkentik, valamint a hiszterézis hatás is nagymértékben befolyásolja a mérést. Ezen hibák kiküszöbölésére egy új típusú flexibilis csatlakozó használható.

*Thomsen et al.*, (2005) munkájukban beszámolnak egy mobil TDR műszerről, mely alkalmas a talaj nedvességtartalmának, és elektromos vezetőképesség mérésével az agyagtartalom meghatározására is. A mérési tartomány (mélység) max. 50 cm. Előnye, hogy egy munkanap alatt 500-800 mérés is elvégezhető, ugyanis a mérést a traktor három-pont függesztéséhez kapcsolt egység végzi, így automatizálva a fásasztó kézi mérést. A szerző szerint egy munkanap alatt 15-30 ha területről vehetünk elegendő mintát, ha a 25 m-es rácsméretet alkalmazzuk. A módszer lényegesen kevesebb

kézimunka igényű, viszont a mérések még mindig csak pontszerűen jelentkeznek.

#### 2.5.7 NIR spektrofotométeres talajnedvesség mérés

A NIR (Near Infrared Reflectance) egy univerzális mérési módszer, mely az iparban már számos helyen jelen van és alkalmas arra is, hogy a talaj fizikai-kémiai tulajdonságairól gyors információkat adjon. A pH, C, P, nedvesség tartalom, ásványi összetétel mind meghatározható. Az elektromágneses hullám reflexióján (visszaverődésén), illetve transzmisszióján (áthaladásán) alapuló módszer. Ha az áthaladás megegyezik 0-val a talajban, az egyensúly a reflexió és elnyelés között a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiból származtatható. A talajnedvességet már korábban sikeresen mérték egy nem hordozható NIR spektrofotométerrel (*Bowers és Hanks, 1964; Dalal és Henry, 1986; Kano et al., 1985; Slaughter et al., 2001*). Más kutatók kiterjesztették a nem hordozható NIR spektrofotométer alkalmazását egyéb fizikai és kémiai talajtulajdonságokra is (*Krischenko et al., 1991; Stenberg et al., 1995; Ben-Dor és Banin, 1995; Reeves et al., 2001; Walvoort és McBratney, 2001; Shepherd és Walsh, 2002*). *Mouazen et. al., (2007)* kifejlesztett VIS-NIR spektrofotométer alkalmas a talajnedvesség on-line mérésére homokos, agyagos és vályogos talajokon. Mérései során  $R^2 = 0.89$  összefüggést sikerült kimutatniuk.

A VIS-NIR (látható és közeli infravörös) és MIR (mid infrared) talaj analízisben betöltött szerepéről és használatáról több információt *Viscarra et al., (2006)* adtak meg. Ezen információk laboratóriumi körülményeken alapulnak, ahol különböző mezőgazdasági területekről gyűjtött talajmintákat vizsgáltak. A laboratóriumi módszer mellett a folyamatos adatszolgáltatás a talaj tulajdonságairól még nem fejlett szintű. A kutatók folyamatos mérésre

alkalmas szenzort igyekeznek kifejleszteni (*Adamchuk et al.*, 2004; *Hemmat és Adamchuk*, 2008). *Shibusawa et al.*, (2005) ismertetnek egy valós idejű multispektrális talajszenzort a talajnedvesség meghatározására, mely során  $R^2 = 0.76$  összefüggést találtak a különböző hullámhosszainak talaj általi elnyelése és a nedvességtartalom között.

#### 2.5.8 A talaj víztartalmának meghatározása becslésen alapuló módszerrel

A mezőgazdaságban a talajkötöttség adatait a hatékony talajművelés időpontjának megválasztására alkalmazzák elsősorban. A talaj tömörödését elsősorban az erőgépek talajtaposása, ill. a munkagép (pl. művelő talp betegség) okozzák, ami lecsökkenti a tápanyag és vízfelvételt a talajból a növények számára (*Bradford*, 1980; *Bauder et al.*, 1981; *Radcliffe et al.*, 1988; *Hill*, 1990; *Lowry és Schuler*, 1991). *Mielke et al.*, (1994) a talajjellenállás és a nedvességtartalom közötti összefüggéseket vizsgálta. Eredményei megfelelő pontossággal jelezték elő a talaj nedvességtartalmát a proktor tesztek során meghatározott talajjellenállás értékekből.

Ha feltesszük a kérdést, miért is van szükség a talaj nedvességtartalmának mérésére, a legkézenfekvőbb válasz, hogy: „a termesztett kultúrnövény vízigényének pontos meghatározására”. *Custovic és Vlahinic*, (2008) meglátása, hogy a különböző talajnedvesség mérő módszerek a gazdák (elsősorban a kisebb méretű gazdaságok) számára nehezen elérhetőek, kivitelezhetőek, ezért egy olyan becslési módszer kidolgozását ismerteti, mely az evapo-transzspiráció mértékéből, figyelembe véve az egyszerűen mérhető meteorológiai adatokat (hőmérséklet, relatív páratartalom, napsugárzás, szél), következtet a növény számára szükséges vízmennyiség mértékére.

### 2.5.9 Fajlagos elektromos vezetőképességen alapuló módszer

Az FD (Frequency Domain) módszert már több mint 50 éve alkalmazzák a talaj relatív permittivitásának a mérésére (Rajkai, 2004). Az eljárás technikailag egyszerűbb a TDR mérésnél. Kisebb, kb. 20 MHz frekvencián történik meg a mérés, viszont ez azt eredményezi, hogy talajspecifikus kalibrációra van szükség, ami minden esetben többletmunkát igényel.

Brevik *et al.*, (2006) eredményei is azt igazolják, hogy a talaj nedvességtartalmára szignifikáns hatást gyakorol a talaj elektromos vezetőképessége ( $EC_a$ ).

### 2.5.10 Talajnedvesség mérés horizontális penetrométer segítségével

Számos vertikális penetrométer fel van szerelve nedvességmérő oszcillátorral is, melynek segítségével a mért talajellenállás adatok a nedvességértékekkel is kiegészíthetőek. Ezen műszerek a kialakításukból eredően, nem képesek folyamatos mérésre, a pontszerű mérések viszont nem szolgáltatnak elegendő térbeli információt, ezért a kutatás a horizontális penetrométerek irányába is elkezdődött. Sun *et al.*, (2006) egy ilyen típusú penetrométert ismertetnek, amely segítségével a talajellenállás mellett a talajnedvesség is folyamatos módszerrel mérhető. A kapott eredmények biztatóak, egy olyan kombinált műszert hoztak létre, mely folyamatosan egy időben méri a talaj nedvességtartalmát, ill. mechanikai ellenállását.

A talajnedvesség meghatározásának szükségessége kritikus faktor a növénytermesztésben, amely számottevő hatással van a növényi produkcóra is. A fent említett talajnedvesség-mérési módszerek mind rendelkezésre állnak, a számunkra leginkább megfelelő, alkalmazandó módszer kiválasztását több tényező is befolyásolja: a használó által igényelt információ formája, a talaj típusa, a relatív költség, a megbízhatóság és a

kényelmes használat a szántóföldön. Annak érdekében, hogy precíz információt kapjunk, kvázi folyamatos, ill. folyamatos mérési technikákra kell a közeljövőben a legnagyobb hangsúlyt fektetni. Erre *Amer et al.*, (1995) is felhívják a figyelmet munkájukban.

## 2.6 Precíziós gyomszabályozás

A gyomszabályozási tevékenység a növénytermesztés egyik legfontosabb, nélkülözhetetlen eleme (*Berzsenyi*, 2000). Célja a gyomnövény-kultúrnövény kapcsolatban a kultúrnövény számára biztosítani az előnyösebb életfeltételeket, mely nem jelentheti feltétlenül a gyomnövényzet teljes megsemmisítését. Napjainkban elsősorban integrált növényvédelemről, vagy még pontosabban fogalmazva integrált növénytermesztésről kell beszélnünk, mely szorosan beleillik a fenntartható gazdálkodás fogalomkörébe. Alkalmazása során prioritást élvez az agronómiai, a mechanikai, ill. a biológiai védekezés a vegyszeressel szemben.

A precíziós növényvédelem célja, hogy felderítse a táblán belül változatos képet mutató, a kultúrnövényt károsító szervezetek előfordulását és olyan védekezési technológiát alkalmazzon, amely nyomon követi a heterogén előfordulást (*Reisinger et al.*, 2003). Szélsőséges esetben, ha a művelt terület egy jelentős részén nem, vagy a kártételi küszöb alatti mennyiségben található károsító tényező, a védekezés akár lokálisan el is maradhat. Ilyen esetekben jelentős költségmegtakarítást érhetünk el a fel nem használt inputok (pl. permetlé) segítségével, valamint minimalizálhatjuk a környezeti terhelést is. Mezőgazdaságilag művelt területeinken a gyomnövények előfordulása nagy faji változatosságot mutat.

Általánosságban megállapítható, hogy egy szántóföldi táblán belül heterogén a gyomnövények faji összetétele és azon belül a fajok mennyiségi megjelenése (*Gerhards et al.*, 2000; *Hamouz et al.*, 2004; *Nagy et al.*, 2004; *Nagy*, 2004; *Reisinger et al.*, 2004). A növény-együttesek összetételét többféle tényező szabályozza, melyek közül az ökológiai tényezők és az agrotechnika, mint antropogén elem tűnik a legfontosabb befolyásoló tényezőnek.

A hazai agrobotanika kiemelkedő egyénisége, *Ujvárosi* (1957) szerint a gyomirtás eredményét elsősorban az dönti el, hogy egy adott területen mennyire ismerjük a gyomfajok előfordulásának mennyiségi és minőségi viszonyait. A gyomnövények faji összetételét és tömegét a mezőgazdasági területeken különféle gyom-felvételezési módszerekkel állapítjuk meg. Ezek lehetnek pontos (egzakt) és becslésen alapuló módszerek. Ezen egzakt módszereket (gyomnövény -számlálás, -súlymérés, stb.) a tudományos kutatásoknál, a becslésen alapuló módszereket pedig a gyakorlati technológia tervezés döntés-előkészítő munkálatainál használjuk. A magyarországi gyakorlat a mezőgazdasági területek gyomfelvételezésére széleskörűen a Balázs-Ujvárosi gyomfelvételezési cönológiai módszert használja (1. táblázat).

1. táblázat: A Balázs-Ujvárosi-féle felvételezési skála (Forrás: *Balázs*, 1944)

Skála érték	Borítottság [%]
6	100.00
5	50.00
4	25.00
3	12.50
2	6.25
1	3.12
+	0.62
0	0.10

A gyomnövény borítottsági százalék kiszámításához az alábbi képletet alkalmazzuk:

$$\text{Borítási százalék} = \frac{100 \cdot D_B \text{össz.}}{D_B \text{max.}} [\%] \quad [7]$$

ahol:

$D_B \text{max.}$  – Balázs-féle dominancia-érték maximális esetben (32 = 100%);

$D_B \text{össz.}$  – Balázs-féle dominancia érték összege.

A módszer a gyomnövények felületborítottságának becslésén alapul. A közelmúltban multispektrális módszerekkel igazolták, hogy a becsült értékek szorosan korreláltak a valós (egzakt) értékekkel (*Nagy et al.*, 2004; *Tamás és Reisinger*, 2004).

A gyom-felvételezési módszerek kutatása és fejlesztése különös hangsúlyt kapott a precíziós gyomszabályozásban. Költségtényezői az eredményességre vannak jelentős hatással, eredményessége, pedig a

védekezés hatékonyságát befolyásolja. Általánosságban megállapítható, hogy az említett technika alkalmazása akkor hatékony, ha a körülmények a kezelések lokális elhagyását eredményezhetik. Gyomos, ill. erős gyomos területeken nem a precíziós eljárások jelentik a megoldást. *Kalmárt et al.*, (2004) számításai alapján legalább 50%-os arányúnak kell lennie a kezeletlen felületnek, ahhoz, hogy a járulékos költségek is megtérüljenek. A külföldi irodalomban (*Kroulik et al.*, 2008; *Gerhards et al.*, 2000) is hasonlóan arra a megállapításra jutnak, hogy a kezelés sikere azokon a területeken volt kielégítő, ahol a gyomok kis- vagy közepes mennyiségben fordultak elő. *Guthjahr et al.*, (2008) a gyomosodás mértékét négyzetméterenkénti gyomegyedszámra [ $\text{db}/\text{m}^2$ ] adják meg, mely alapján fajonként, fajtacsoportonként meghatározható az ökonómiai küszöb. Ennek eredményeként megállapítható, hogy milyen gyomborítottság esetében van szükség vegyszeres gyomirtásra. *Nordmeyer* (2006) több éves kalászos gabonákban elvégzett kísérletei alapján bizonyosságot nyert, hogy egyes esetekben akár 70-80% terület is kimaradhat a gyomirtásból, természetesen mindezekhez a kalászos gabona kellő állománysűrűsége (4-5 millió csíra/ha), az állomány homogén eloszlása, valamint jó kondíciója szükségeltetik. A precíziós gyomszabályozás tervezésének és gyakorlati alkalmazásának egyik legfontosabb eleme a gyomfelvételezés megfelelő módszerének kiválasztása vagy kidolgozása. Fontos megállapítani a gyomnövények faji összetételét és mennyiségi viszonyait. A helyspecifikusan végrehajtott gyomirtás eredménye attól függ, milyen pontos volt a táblán a gyomok lokális jelenlétének feltérképezése, és így jelentős vegyszermennyiség takarítható meg. A védekezés tervezési szakaszában valamilyen eszközzel és módszerrel fel kell mérni a gyomfajok térbeli előfordulását és a tömegviszonyokat.



A külföldi (*Sökefeld et al.*, 2002; *Gerhards et al.*, 2002; *Gerhards és Christensen*, 2003), ill. egyes hazai (*Neményi et al.*, 2001; *Mesterházi et al.*, 2003; *Csiba et al.*, 2009) kutatások az on-line, azaz valós idejű módszerek fejlesztését tűzték ki célul. A módszer lényege, hogy az adat-felvételezés menet közben történik, majd az adatelemzés és kiértékelés után azonnal létrejön az eredmény, a folyamatvezérlő parancs a védekezést végrehajtó eszköz számára. A gyakorlatban való alkalmazásnak az alacsony haladási sebesség szab határt. Amennyiben a detektáló szenzorok, a képelemző programok, valamint a kijuttatást végző permetezőgépek együttes rendszere képes lesz a szántóföldi permetezéskor alkalmazott optimális munkasebesség melletti pontos munkára, ezek az on-line rendszerek jelenthetik a legprecízebb és leghatékonyabb fenntartható vegyszeres védekezést.

A hazai precíziós gyomszabályozási kutatások nem az on-line módszerfejlesztést követik - mivel többségük nem alkalmas gyakorlati körülmények között a precíziós növényvédelem kiszolgálására, mert végrehajtásuk idő-, eszköz- és költségigényes, valamint a minták sűrűsége sok esetben csak reprezentatív - hanem adatbázisokat gyűjtenek, majd azok feldolgozásával jutnak precíziós gyomszabályozási technológiához (*Reisinger et al.*, 2002; *Reisinger et al.*, 2004). Ezen gyomészlelés és a gyomirtási technológia végrehajtása időben eltér egymástól. Ez utóbbinak számos előnye van, mint például a fejlesztési költségek alacsony volta, a célfeladatnak megfelelő, de még biztonságos adatbázisok stb.

A teljes területre vonatkozó gyomfelvételezések irodalomban említett módszerei közé a légi detektálás hiperspektrális és a látható fény tartományában végzett felvételek alapján, valamint az on-line módszerek tartoznak. Legtöbb esetben a földközeli magasságból készített színes felvételek a jelenlegi technikai eszközökkel nem alkalmasak a gyomfajok

megkülönböztetésére, míg a hiperspektrális módszer eddigi eredményei alapján remény van az egy fajból álló gyomelőfordulások megbízható kimutatására.

Az on-line módszer vitathatatlan előnye a teljes területre kiterjedő vizsgálat, emiatt az adatbázison alapuló módszerfejlesztés esetében a reprezentativitás biztonságosságára való törekvés állt a kutatás központjában. Az évelő gyomfajok foltos, körkörös (agglomerált) jelenléte egy mezőgazdasági területen más gyom-felvételezési eljárások kidolgozását követeli meg, ugyanis a szabályos, rácshálós elrendezésű gyom-felvételezési mintavétel nem alkalmas az egyes – foltokban terjedő- évelő gyomfajok térbeli ábrázolására. Nagy *et al.*, (2003); Nagy *et al.*, (2004); Reisinger *et al.*, (2007) több vizsgálatot is végeztek arra vonatkozóan, hogy miként célszerű ezen agglomerált fajok térbeli elhelyezkedésének felmérése. Ezek során a *Convolvulus arvensis* és a *Cirsium arvense* gyomfajok foltjait mérték fel DGPS eszközzel, a foltok körbejárásával. Ezt a térinformatikai információt többszöri átalakítás után permetezési utasítássá konvertálták és eredményes kísérleteket hajtottak végre.

Johnson *et al.*, (1995) szerint a gazdálkodók azért nem használják ki a technológiában rejlő lehetőségeket, mert nem létezik standardizált módszer a gyomtérképek készítésére.

Munkám során célom az volt, hogy az on-line módszeren belül olyan megoldást keressek, mely megbízhatóan, gyakorlati körülmények között is alkalmas a gyomok táblán belüli megoszlásának térképezésére.

## 2.7 Precíziós légi (helikopteres) növényvédelem

Fennállásának 50. évfordulóját ünnepelte 2009-ben a szervezett légi növényvédelem Magyarországon. Annak ellenére, hogy a fél évszázad alatt folyamatos fejlődés, átalakulás, átszerveződés volt jellemező, az intézmény 1992-ben történő megszűnése után még mindig közel 60 magánkézben lévő légi jármű szolgáltat a magyar mezőgazdaságnak. A továbbműködés érdekében a folyamatos fejlesztés tehát nem állhat meg, a gépek viszonylag idős kora ellenére sem. Mivel a 2010 év során újabb szigorítások kerülnek bevezetésre, csak egy jól dokumentált, szakmailag alátámasztott rendszerben lesz képes tovább működni a légi növényvédelem (*Hajdú, 2009*).

A jelenkori modern mezőgazdaságban - elsősorban traktorokban - alkalmazott precíziós, ill. navigációs készülékek beszerelése növényvédő helikopterekbe, illetve repülőgépekbe nem teljesen akadálymentes. Míg egy modern erőgépben az ilyen jellegű eszközök felszerelési, kábelvezetési helyei már a gyárban elkészülnek, addig a Magyarországon repülő helikopterek erre nincsenek felkészülve. Figyelembe kell venni a szigorú előírásokat, szabályokat és csak annak függvényében kerülhet sor a beszerelésre, mely során esetünkben is számos akadály merült fel. *Mesterházi (2009)* beszámol három, a traktorokban alkalmazott nyomvonal követési lehetőségről. Ennek alapján a sorvezető nélkül, ill. a vele való munka pontossága között is jelentős különbség alakul ki. Az USA-ban, ahol a mezőgazdasági parcellák nincsenek ilyen mértékben elaprózva, számos „Légi traktor” (*URL*<sup>5</sup>) teljesít szolgálatot, kihasználva a légi növényvédelem adta előnyöket. Vizsgálataik során megtérülési kalkulációkat is végeztek, mely szemben állítja egymással a földi, ill. a légi védekezés költségeit. Sikeresen alkalmazzák a VRA (Variable Rate Application) technológiát a

levegőben is, annak minden előnyével. Mindezek mellett fontosnak tartom, hogy magyarországi viszonylatokban kell gondolkoznunk, és a hazai körülmények között kell az alkalmazható technológiát kidolgozni.

## **2.8 A termény minőségi paramétereinek mérése betakarítás során**

A modern mezőgazdaság napjainkra minden területen a precíz, gyors és gazdaságos munkavégzést követeli meg az alkalmazott gépektől. A precíziós betakarítás során a termény számos tulajdonságának (mennyiség, nedvesség, fehérje, olajtartalom stb.) táblán belüli eltéréseit (heterogenitását) alkalmunk nyílik helyhez kötöten mérni, amelyhez a dinamikusan fejlődő agrárműszaki tudomány egyre több újdonságot biztosít. *Zoerb et al.*, (1993) megállapítása szerint a betakarítási munkálatokat az utómunkálatokkal kell összekapcsolni annak érdekében, hogy a legjobb minőségű és mennyiségű terményt tudjuk betakarítani. Az a döntés, hogy mikor végezzük a betakarítást, melyik területet, milyen sorrendben a heterogenitásnak megfelelően kell elvégezni, amit csak úgy tudunk kivitelezni, ha megfelelő információkkal rendelkezünk a táblán belüli eltérésekről. A termény sűrűsége, a vetés ideje, a tápanyag visszapótlás, a vetőmag tulajdonságok és az időjárási tényezők mind-mind jelentősen befolyásolják a szemből eltávozó víz mennyiségét (*Jukic et al.*, 2007). A pontos hozamok ismeretében feltétlenül szükség van a szem nedvességének mérésére, mivel jelentősen befolyásolja annak térfogatát, ill. tömegét (*Arslan és Colvin*, 2002). *Neményi és Milics* (2007) megállapítják, hogy a hozam mértéke fontos paraméter a gazdálkodók számára, viszont a fehérje- és a nedvességtartalom is legalább annyira meghatározó, mivel ezek befolyásolhatják legjobban a felvásárlási árat. Mivel a helyspecifikus mezőgazdaság arra törekszik, hogy minél több adat alapján, környezetkímélő

módon végezze el a szükséges beavatkozásokat, az adatgyűjtésre különösen nagy hangsúlyt kell fektetni. A hozammérést kiegészítve további adatokat is gyűjthetünk, mint például a szemnedvesség, az olajtartalom vagy a fehérjetartalom, amelyek nem csak a termés mennyiségéről, de minőségéről is tájékoztatnak bennünket. Ezen paraméterek labor körülmények közötti mérése megoldott és a gyakorlatban alkalmazott technika. Ezzel ellentétben a szántóföldi mérések során számos olyan befolyásoló tényező lép fel, melyek nagymértékben pontatlanná tehetik mérésünket. Ilyen tényezők lehetnek a por, a rázkódás, a meleg, a fényviszonyok, a változó térfogat, a konstans anyagáram hiánya stb.

### 2.8.1 A szemnedvesség mérése

A szemtermés mennyiségének mérése műszakilag megoldott, annak ellenére, hogy helyenként pontosításra szorul (*Mesterházi, 2004*). *Amoodeh et al., (2006)* a helyspecifikus szemnedvesség mérőket működésük alapján kapacitív, mikrohullámú, akusztikus, valamint közeli infravörös csoportokba sorolják. Az akusztikus mérést *Mexas és Brusewitz (1987)*, míg a mikrohullámú mérési elvet *Nelson et al., (1998)* ismertetik. A kapacitív és mikrohullámú mérések legnagyobb problémájaként a mérési térfogattól és hőmérséklettől való függést említi, valamint a mikrohullámú mérések magas árak miatt nem tudtak elterjedni. *Reyns et al., (2002)* biztató eredményekről számolnak be a NIR szenzoros mérésekről, mely során nedvesség és fehérjetartalom méréseket végeztek. A nedvességmérők másik nagy csoportját az elektromos módszerek alkotják. Ezek a módszerek az anyag vezetési, vagy a dielektromos tulajdonságait mérik. A gyakorlatban a dielektromos elven működő nedvességmérők terjedtek el a legszélesebb körben. A dielektromos módszer esetén a mérendő mennyiség a

nedvességtartalom és a „közvetlenül” mért fizikai jellemző a kapacitás. A módszer lényege, hogy a tesztcella, mint kondenzátor, érzékeny a lemezei között lévő anyag dielektromos állandójára. A nedvességmérést az teszi lehetővé, hogy a víz relatív dielektromos állandója 80, míg az egyéb összetevőké 5 körül van. Ez azt jelenti, hogy a cella a nedvességváltozás hatására 16-szor érzékenyebben reagál, mint a többi összetevő változására. Azt már a korábbi tanulmányokból tudjuk, hogy egy kondenzátor kapacitása annyi szorosára nő, amekkora a lemezei között lévő anyag dielektromos állandója. Így belátható, hogy a kapacitás, a dielektromos állandón keresztül, megközelítőleg lineárisan nő a nedvességtartalom növekedésével. A tényleges összefüggést a nedvességtartalom és a kapacitás között a kalibráció adja meg. A kalibrációhoz szükséges sok független gabonaminta és ezek szárítószelekrényes nedvességtartalma. Ha a mért elektromos jellemzőt ábrázoljuk az  $x$  tengelyen, és a szárítószelekrényes nedvességet az  $y$  tengelyen, akkor az erre illesztett görbe adja meg a szükséges összefüggést, a kalibrációt, amelyeket a nedvességmérőkbe beépítenek. A felhasználó által kapott eredmény természetesen mindig tartalmaz bizonytalanságot, ami a mostani nedvességmérőknél  $\pm 1\%$  körüli. Ez az érték viszont nem megfelelő kalibráció esetén akár több is lehet.

A dielektromos mérés lehetséges zavaró hatásai (*URL*<sup>8</sup>):

- **Hőmérséklet:** Hatással van a dielektromos állandó nagyságára. Magasabb hőmérsékleten a dielektromos állandó nagyobb, így az ebből számított nedvességtartalom helytelenül magasabbnak adódik. A drágább, jobb műszerekbe hőmérőt építenek be és korrigálják a hőmérséklet változásából eredő hibát.

- **A gabonahalmaz tömörödöttsége:** A gabonahalmaz tömörödöttsége alatt a levegő és a gabona arányát értjük. A betöltések folyamán ez véletlenszerűen változik. Ha a gabona tömörödöttebb, akkor magasabb dielektromos állandója lesz a halmaznak, így a számolt nedvességtartalom magasabbnak adódik a ténylegesnél. Mivel ez a legjelentősebb hatás, ezért a gyártók napjainkban arra törekcszenek, hogy a mérési térfogatot megpróbálják konstansnak venni, amit úgy érnek el, hogy a ferde felhordóból egy külön mérési térbe kerül a termés, melynek úrtartalma állandó. Amint ez megtelik, megtörténik a mérés, biztosítva így a lehető legnagyobb pontosságot. Hátrányként említhető meg a folyamatos mérés megszűnése, ugyanis a folyamat akár 10-15 másodpercig is eltarthat, ami jelen esetben már csak egy kvázi-folyamatos mérést tesz lehetővé.

- **Beltartalmi jellemzők:** Természetesen a vízen kívüli más összetevők is hatással vannak a dielektromos mérésre. A problémát igazából az jelenti, hogy egy adott gabona esetén is ezek változhatnak a termőhely és a betakarítás ideje miatt. Ez a fő oka, hogy a kereskedelemben használt berendezéseket évről évre újra kell kalibráltatni.

- **Felületi nedvesség:** A magból kipárolgó és a magok felületére kicsapódó pára jelentősen befolyásolhatja a mérés eredményét. Ezt a felhasználó kiküszöbölheti a mérési körülmények megfelelő alakításával.

A kapacitív elven működő szemnedvesség mérést a technika fejlődésével egyéb mérési elven működő rendszer egészítheti ki, illetve válthatja fel. Ilyen sokoldalú módszer lehet a közel infravörös technika, melynek alkalmazásával nemcsak a nedvességtartalom mérhető, hanem egyéb beltartalmi jellemzők is (*Wright és Hood, 1998; Norng et al., 2005. Engel et al., (1997)* vizsgálatai azt bizonyítják, hogy a fehérje- és

hozamtérképekből következtetni tudunk a N talajból való elvonásának mennyiségére. A módszer hátránya, hogy igen drága, ami a gyakorlatban való elterjedését még nem tette lehetővé.

Összefoglalva a fentieket megállapítható, hogy a különböző paramétereknek (fehérje, olaj, nedvesség, keményítőtartalom) betakarítás közbeni folyamatos mérése az egyik legfontosabb alapot képezi a döntéshozatal számára. Ebből kifolyólag nagy hangsúlyt kell rá fektetni, mert a precíziós gazdálkodás eredményessége múlhat ezen. Annak ellenére, hogy számos kereskedelemben kapható mérőműszer, szenzor van forgalomban, azok pontossága nem minden esetben kielégítő szántóföldi körülmények között, így sok esetben pontosításra szorulnak a valós idejű helyspecifikus adatok rögzítéséhez (Csiba, 2009).



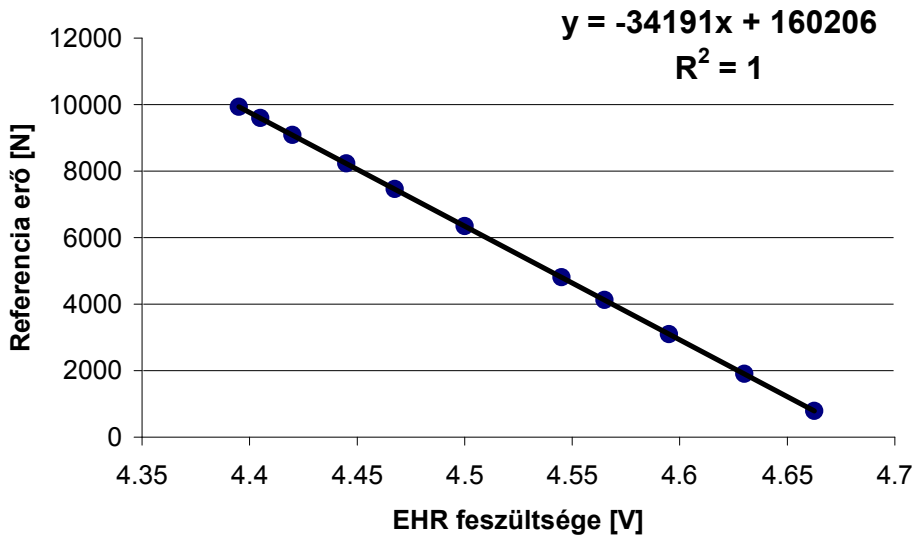
---

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1 A talajellenállás mérése

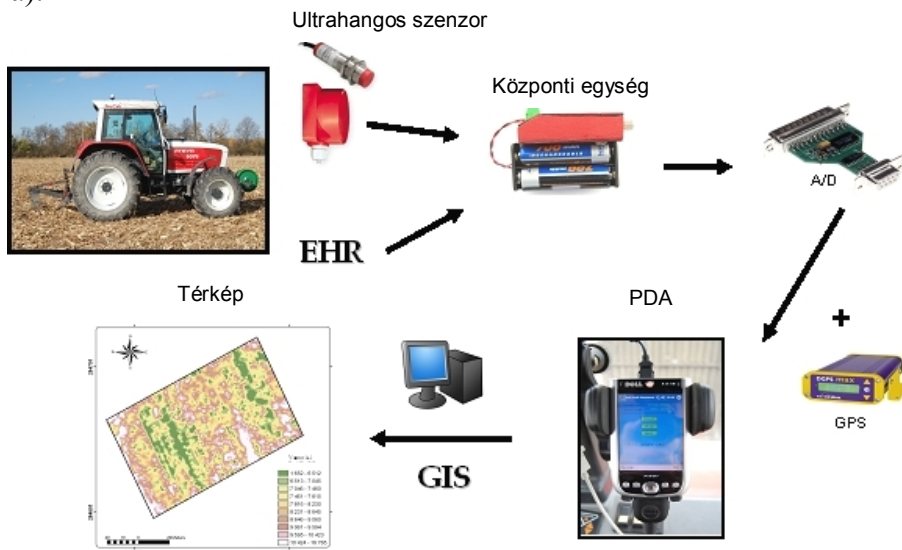
##### 3.1.1 Traktoros erőmérés

A rendszer működése a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetében korábban kifejlesztett erőmérési módszer elvein alapszik (Neményi *et al.*, 2006). Napjainkban a modern traktorokban alapfelszereltségként megtalálható az ún. Elektro Hidraulikus Rendszer (EHR). Ennek a részét képezik olyan erőmérő cellák, melyek a hidraulikus rendszert érő erőhatásokkal arányosan változó elektromos jelet adnak. A traktor vonópadjára (három-pont függesztéséhez) egy hidraulikus emelő segítségével fokozatosan különböző mértékű feszítőerővel hatottunk. Az itt ébredő erőt egy külső (10 kN maximális terhelhetőségű) erőmérő cellával összekötött - Almemo típusú - mérésadatgyűjtővel rögzítettük. Ezzel egy időben rögzítettük az erőmérő cella által arányos feszültség értéket, melyet egy multiméter segítségével olvastunk le. Annak érdekében, hogy megbizonyosodjunk a fokozatos feszítőerő növelése (0-10 kN), ill. csökkentése (10-0 kN) azonos mértékben befolyásolja-e a feszültségváltozást, mindkét esetre vonatkozóan több méréssorozatot hajtottunk végre, melynek eredményeként nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést, így ezt a tényezőt a továbbiakban figyelmen kívül hagytuk. A rögzített értékeket táblázatkezelő szoftverrel feldolgoztuk, a feszültség és a terhelési erő változásának összefüggése a 16. ábrán látható. Az így kapott egyenlet alkalmazásával már folyamatosan észlelhető a traktor három-pont függesztését érő erőhatások. Annak érdekében, hogy ezek az értékek felhasználhatóak legyenek, további műveletekre volt szükség.



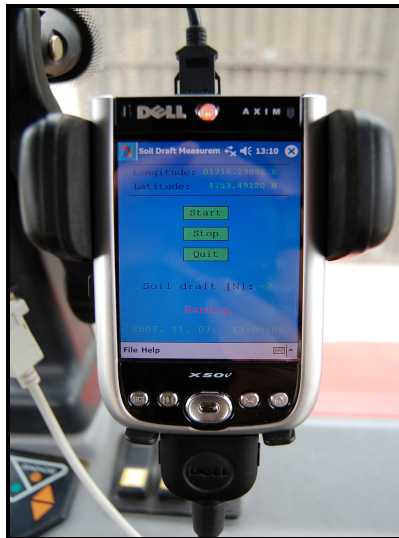
16. ábra: Az EHR-en mért feszültségváltozás és a referencia erő korrelációja

A traktor erőmérő cellájáról egy elektromos lekötést végeztünk. Az analóg feszültség jeleket egy A/D (analóg/digitális) interfészen keresztül RS-232 porttal bővített Dell Axim x50v típusú tenyérgepbe (PDA) vezettük (17. ábra).



17. ábra: Az erőmérő rendszer sematikus rajza

Az adatok rögzítésére és grafikus felületen történő megjelenéséhez a megfelelő szoftver (Melléklet I.) megírásához a „Zeus” programnyelvet (URL<sup>6</sup>) választottam. Ez egy önálló programozási nyelv, mely C/C++ és Visual Basic elemekre épül. Segítségével mind asztali számítógépekre, mind tenyérgepekre (PDA) való programfordítás könnyedén megoldható. A logikai rész megírása után, egy ergonomikus grafikus felület elkészítését valósítottam meg (18. ábra). Fontos szempontnak tartottam a koordináták kijelzését, így nem történhet meg, hogy pozíció nélkül végezzük el a mérést,



18. ábra: A vontatási ellenállást mérő program a PDA-n

mert bármely olyan hiba esetén, ami azt eredményezné, hogy megszakadt a kapcsolat, azonnal észleljük a kijelzőn. A továbbiakban három funkciógombot („Start”, „Stop”, „Quit”) építettem be, mellyel az adatnaplózás bármikor elindítható-leállítható, valamint a programból ki is tudunk lépni. A kijelző alsó harmadában helyezkedik el a talajellenállást kijelző, menet közben folyamatosan változó erő [N] mértéke, így munka közben is leolvashatjuk az aktuális értékeket. A legelső sorban a dátum és a

pontos idő (NMEA alapján számolva) kapott helyet. Az erőmérő cellák jeleit a GPS koordinátákkal együtt – melyek esetünkben egy CSI Wireless DGPS Max típusú vevővel kerültek rögzítésre – a tenyérgép saját memóriájában rögzíti (a naplózó program továbbfejlesztése esetében lehetőség van memóriakártyára történő mentésre is) \*.txt formátumban. Ez a fájlformátum a nyers adatok szűrésére és ezek után a legtöbb térinformatikai alkalmazás számára könnyen kezelhető, így a későbbi adatfeldolgozások (térképezés, statisztikai adatelemzés) egyszerűen kivitelezhetőek. Nagyságrendileg 3 másodperces csillapítást alkalmaztunk (egy kondenzátor segítségével, ami az általunk készített központi panelba került beépítésre), hogy enyhítsük, vagy esetlegesen teljesen kiiktassuk azt a fluktuációt, melyet a nem tökéletes művelési mélység és az egyenetlen felület okozhat. A nyers adatok szűrésére Microsoft Excel 2003 táblázatkezelő alkalmazást használtunk, míg a térinformatikai ábrázoláshoz ArcView 9.1-et.

### *3.1.2 Koordináta átalakítás*

A WGS-84 koordináták EOVS koordinátákká alakítása szükséges, hogy megfelelően tudjuk ábrázolni az általunk szerzett információkat a hazai térképeken is. A PDA-n futó szoftver kijelzi, és naplózza az aktuális értékeket. Így egy \*.txt formátumú nyers adatsort kapunk. A nyers adatsorban a GPS által küldött NMEA mondatban mind a GPGGA, mind a GPRMC sor megtalálható. A GPRMC csak a programon belüli koordináták kijelzésére szolgál, így szűréskor a nyers adat minden második sora törölhető, valamint az első oszlopban csak az értékekkel szereplő cellákat kell figyelembe vennünk. Első lépésként a Microsoft Excelben a naplózott fájl importálása után az „AutoSzűrő” lehetőséget alkalmaztuk. Majd a számunkra csak a fontos információt tartalmazó oszlopokat hagytuk meg.

Nyers adatsor (részlet):

```
9785$GPGGA,065241.00,4753.48472,N,01716.24650,E,2,08,1.3,124.2,M,42
.6,M,1444.0,0100*72
$GPRMC,065241.00,A,4753.48472,N,01716.24650,E,2.73,329.51,260408,,
D*51
```

Kapott (szűrt) adatsor:

```
9785 4753.48472 N 1716.24650 E 124.2
```

ahol az értékek az alábbi paramétereknek felelnek meg:

Vontatási ellenállás [N], Szélességi fok, Északi, Hosszúsági fok, Keleti, Tengersizint feletti magasság [m]

A Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) fő feladata, hogy a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Földügyi és Térinformatikai Főosztálya és az általa felügyelt Földhivatalok működéséhez kutatási háttérrel és operatív támogatást biztosítson. A WGS-84 koordinátákat EOVS koordinátarendszerbe a FÖMI EEHHTT 2.3 programja segítségével alakítjuk át. Mielőtt a megfelelő formátumot kialakítjuk, szükséges a rögzített koordináták formátumát a program (EEHHTT) által kezelt alakra hozni. Az EEHHTT programba bekerülő sor:

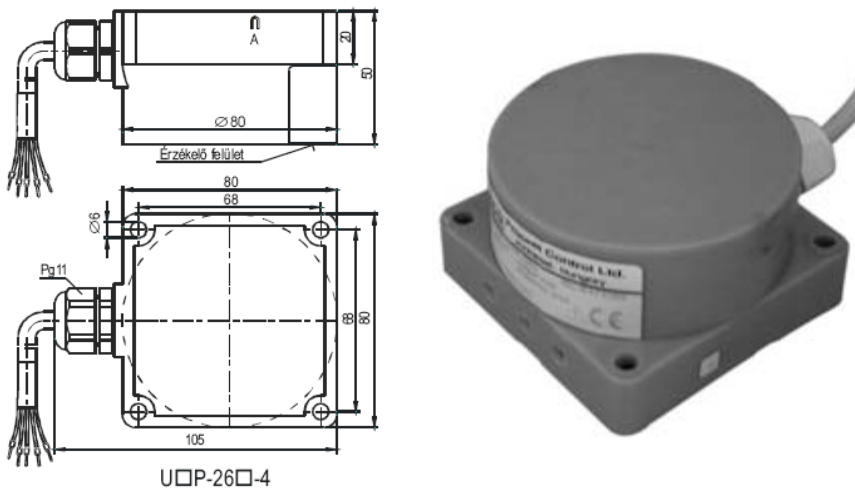
```
PONT 47.89146983 17.27158 127.7
```

A WGS-84 koordináták EOVS koordinátákká alakítása után az adatsort párosítjuk a mért erő oszloppal és \*.csv formátumban elmentjük. Az ArcView nevű térinformatika szoftverbe a következő formátum kerül:

Latitude	Longitude	Draft [N]
517206.764	284597.413	3480

### 3.1.3 A művelési mélység mérése

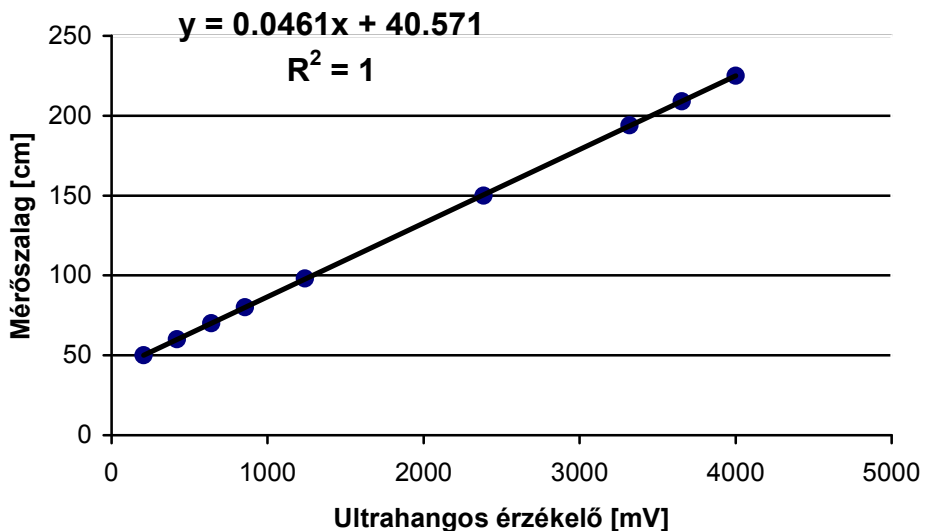
A vonóerő mérésénél két befolyásoló tényező merült fel. Az egyik a haladási sebesség számításba vétele, a másik pedig a művelési mélység. A haladási sebesség a GPS készülék szabványos NMEA mondatának GPRMC sorából nyerhető ki a nyers adatok szűrésekor (Csiba és Neményi, 2008). A művelési mélység rögzítését egy ultrahangos szenzor segítségével végeztük, mely a talajművelő eszközzel együtt mozog a traktor keréknyomában. A Nivelco Ipari Elektronikai Rt. által forgalmazott készülék (19. ábra) ultrahanggal működő, a visszhang elvén mérő távolságérzékelő, amely alkalmas sík vagy hengeres tárgyak távolságának mérésére.



19. ábra: Ultrahangos távolságérzékelő

Alkalmazhatóságának feltétele, hogy az ultrahang nyaláb akadálymentesen jusson el a mérendő tárgyhöz és az megfelelő

hangvisszaverő tulajdonságú legyen. A távolság-távadó készülék kimenő jele (4...20 mA vagy 0...10 V) a névleges méréstartomány bármely részéhez hozzárendelhető. A közelítés-kapcsoló készülék ki- és bekapcsolási pontja a teljes méréstartományon belül bárhol választható. A véletlen mérési hibák csökkentése érdekében a mérési tartomány programozható, az eredményt a felhasználó által meghatározott darabszámú, érvényes távolságmérés átlagából állítja elő. Mivel a rendelkezésünkre álló A/D átalakító analóg csatornái maximálisan 4 V feszültséget kezelnek, és a kívánt mérési tartomány sem haladta meg a 2 m-t, a jobb felbontás érdekében a 6 m mérő ultrahangos kapcsolót úgy programoztuk be, hogy 4 V feszültség esetében 320 cm legyen a távolság. A kalibrációval egyben meghatároztuk, hogy az egyes feszültségértékekhez milyen távolság tartozik (20. ábra). Referenciaként mérőszalagot használtunk.



20. ábra: A távolság meghatározása a szenzor feszültségértékeiből

A 20. ábra által megadott kalibrációs egyenes segítségével meghatároztuk a 8. számú képletet, mely esetében az ultrahangos szenzor feszültségjelét behelyettesítve kiszámítható a cm-ben megadott távolság érték.

$$d = 0.0461 \cdot U + 40.057 \text{ [cm]} \quad [8]$$

ahol:

$d$  – távolság [cm];

$U$  – ultrahangos szenzor feszültségjele [mV].

A műszer szántóföldi körülmények közötti alkalmasságát árpa- és kukorica tarlón, valamint tárcsázott talajon is egyaránt vizsgáltuk.

#### 3.1.4 A penetrációs energia meghatározása

A Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének kb. 1 ha kísérleti tábláját 15 db közel azonos méretű kezelési egységre osztottuk. Az átlós mintavételi technikát alkalmazva kezelési egységenként 14 mérést végeztünk. A lehető legnagyobb pontosság elérése érdekében a sarokpontokat háromszögelés segítségével határoztuk meg, valamint az egyes mérési helyeket mérőszalaggal határoztunk meg, így közel centiméteres helymeghatározást értük el, kiküszöbölve az esetleges pozicionálásból adódó hibalehetőségeket. A talaj penetrációs ellenállásának mérését *Beke* (2006) által részletesen ismertetett 3T System penetrométerrel végeztük el 40 cm-es mélységig, 1 cm-es felbontással. A nyers adatok ezután feldolgozásra kerültek. A 2. számú táblázatban látható egy mérőpontban rögzített adatok összesítése. A 15 kezelési egység mind a 14 mérőpontjára elvégeztük ezt számolást, ami 210 táblázatot eredményezett. *Desbiolles et al.*, (1999) által ismertetett átszámítás



szerint, a cone index ( $C_i$ ) alapján meghatároztuk a penetrációs energiát (1. képlet).

2. táblázat: A penetrációs energia kiszámítása a cone indexből

mérés	mérés	$C_i \cdot (d_i - d_{i-1})$	$\int_0^d C_i \cdot dd$
mélység [cm]	$C_i$ [bar]	$C_i$ középtérték [bar]	$P_e$ [kN/m]
-1	5	5	5
-2	7	6	11
-3	8	7.5	18.5
-4	9	8.5	27
-5	10	9.5	36.5
-6	11	10.5	47
-7	14	12.5	59.5
-8	15	14.5	74
-9	15	15	89
-10	20	17.5	106.5
-11	20	20	126.5
-12	27	23.5	150
-13	26	26.5	176.5
-14	24	25	201.5
-15	22	23	224.5
-16	22	22	246.5
-17	22	22	268.5
-18	23	22.5	291
-19	21	22	313
-20	20	20.5	333.5
-21	23	21.5	355
-22	26	24.5	379.5
-23	22	24	403.5
-24	21	21.5	425
-25	20	20.5	445.5
-26	21	20.5	466
-27	24	22.5	488.5
-28	23	23.5	512
-29	21	22	534

2. táblázat folytatása

mérés	mérés	$C_i \cdot (d_i - d_{i-1})$	$\int_0^d C_i \cdot dd$
mélység [cm]	$C_i$ [bar]	$C_i$ középérték [bar]	$P_e$ [kN/m]
-30	21	21	555
-31	19	20	575
-32	21	20	595
-33	21	21	616
-34	20	20.5	636.5
-35	21	20.5	657
-36	23	22	679
-37	26	24.5	703.5
-38	28	27	730.5
-39	26	27	757.5
-40	27	26.5	<b>784</b>

A szerző szerint így a penetrációs energia már összehasonlíthatóvá válik a traktoros vontatási ellenállással. A Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetében kifejlesztett traktoros művelési ellenállás mérő berendezést alkalmazva a traktoros méréseket is elvégeztük a kísérleti táblán. *Godwin és Spoor (1977)* számításai alapján meghatároztuk a mélylazítónkra jellemző  $\delta$  szöget, mely a talaj és a művelő szerszám súrlódási szögét határozza meg, valamint *Desbiolles et al., (1997)* számításai alapján az  $S$  (talajellenállás) értéket, mely a vontatási ellenállás ( $D_s$ ) és a művelőszerszám geometriájából adódó tényező ( $G_s$ ) hányadosa:

$$D_s = S \cdot G_s \Rightarrow S = \frac{D_s}{G_s} \text{ [N/m]} \quad [9]$$

A  $G_s$  értékének kiszámolását az alábbi képlettel adja meg az irodalom:

$$G_s = \sin(\alpha + \delta) \Rightarrow (\sin\delta + \tan\alpha \cdot \cos\delta) \cos\alpha \quad [10]$$

ahol:

$\alpha$  – mélylazító dőlésszöge [ $^{\circ}$ ];

$\delta$  – talaj és a művelő eszköz súrlódási szöge [ $^{\circ}$ ].

Az általunk használt középnyél-lazítóra jellemző  $\alpha$  szög  $30^{\circ}$ , a  $\delta$  szög pedig  $60^{\circ}$  volt. A 10. képletbe behelyettesítve ezen adatokat a 11. összefüggést kaptuk eredményként.

$$G_s = 0.75 \cdot w + 0.25 \cdot d \text{ [m]} \quad [11]$$

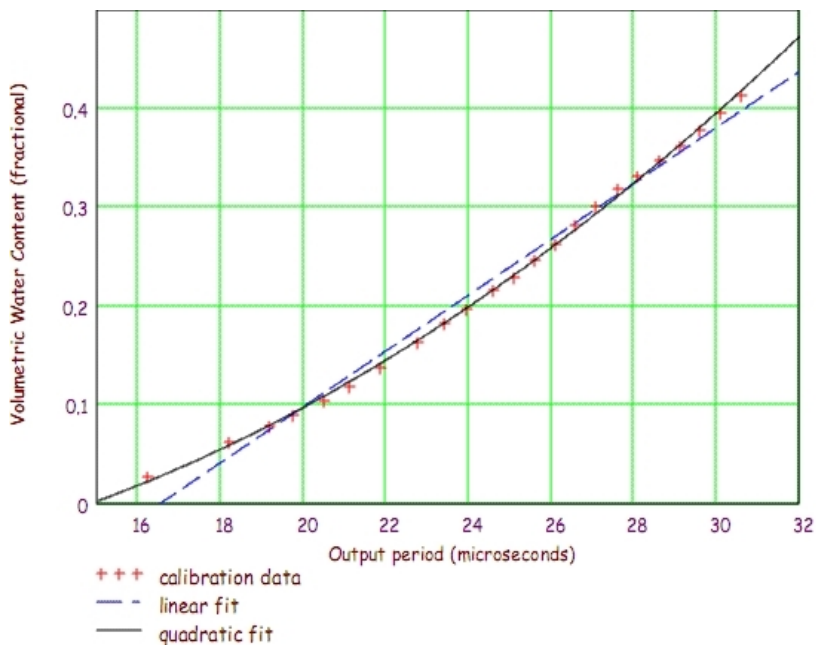
ahol:

$w$  – munkaszélesség [m];

$d$  – munkamélység [m].

### 3.2 Talajnedvesség mérése

A Campbell Scientific cég talajnedvesség mérő fejlesztésével foglalkozó munkatársai egy olyan áramköri megoldást dolgoztak ki, melynek ismeretében szükségtelenné válik a permitivitás meghatározása. Az áramkört úgy alakították ki, hogy a jelkibocsátás periódusideje a visszaverődésig eltelt idő szerint alakuljon, ami azt eredményezi, hogy a talajnedvesség tartalom mérése a periódusszámon alapszik (21. ábra). Így a mért kalibrációs adatokra (+++) egy megfelelő kalibrációs függvény segítségével a periódusidőből (x tengely) a talaj térfogatarányos nedvességtartalma (y tengely) kiszámítható.



21. ábra: A periódusidő és a térfogatarányos nedvességtartalom összefüggése

(Forrás: URL<sup>9</sup>)

A műszer gyártója a kalibrációs mérésekre egy lineáris (— —) és egy másodfokú (—) függvény illeszt:

$$VWC = -0.4677 \cdot 0.0283 \cdot p \quad [12]$$

$$VWC = -0.0663 - 0.0663 \cdot p + 0.0007 \cdot p^2 \quad [13]$$

ahol:

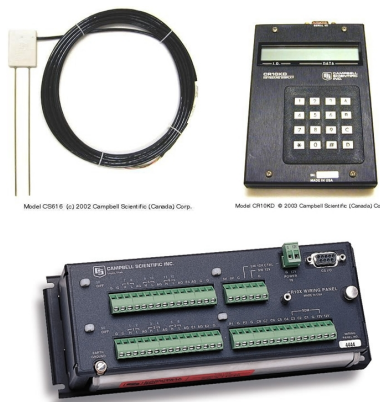
$VWC$  – térfogat arányos nedvességtartalom [g];

$p$  – periódusidő [ $\mu$ s].

A felhasználó a fenti képletek [12,13] közül a neki legmegfelelőbbet választja ki. Mivel a másodfokú egyenlet jobban illeszkedik a kalibrációs pontokra, ezért vizsgálataink során minden esetben a 13. számú egyenletet használtuk.

### 3.2.1 Talajmintavétel, előkészítés és laborvizsgálat

A talajmintákat a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének kísérleti táblájáról – szabványos talajmintavevő hengerrel – vettük 2007. május 25-én, ill. 2008. április 18-án. A táblára az agyagos öntéstalaj paramétereit a legjellemzőbbek. A méréshez a CS 616 TDR készülék (CR10x mérésadatgyűjtőhöz kapcsolva) (22. ábra) mellett alkalmaztunk még egy ismert térfogatú ( $900 \text{ cm}^3$ ) műanyag hengert, valamint egy digitális mérleget (Precisia XB 4200 C-FR).



22. ábra: CS616 próbarúd, CR10KD leolvasó egység és a CR10x adatnaplózó

Kontrollként minden esetben szárítószekrényes méréseket alkalmaztunk. A felhasznált talajminták kémiai összetételének bevizsgálására a NymE-MÉK Növénytudományi Intézetében, a Központi Laboratóriumban került sor. 12 főbb tulajdonságot vizsgáltak meg: mikro- és makro elem tartalom, továbbá a mész- és humusztartalom, a pH és az Arany-féle kötöttségi szám.

### 3.2.2 A tömeg- és a térfogatarányos talajnedvesség kapcsolata

Egy adott talajmintából (az összes mintára elvégezve) a 900 cm<sup>3</sup>-es hengert feltöltöttük talajjal és megmértük a nedves föld tömegét. Ezután a szondaszárat úgy nyomtuk a hengerben lévő talajmintába, hogy azt a talaj teljesen elfedje a levegőrések kiküszöbölése végett. Leolvastuk a periódus értéket és a térfogatarányos nedvességtartalmat. Ezután néhány tömörítő mozdulattal (a hengert az asztalhoz ütögetve) csökkentettük a talajminta térfogatát, közben növelve így a tömörségét, majd újra feltöltöttük (900 cm<sup>3</sup>-re), megmértük a tömegét és újra mértük a TDR műszer segítségével a már említett két értéket. Az egyes mintákat több ismétlésben folyamatosan változó térfogattömegek mellett vizsgáltuk. Mivel a TDR a talaj térfogatarányos- a szárítószekrényes mérések viszont a tömegarányos nedvességtartalmát adják meg, ezen különböző egységek egymásba átszámolása feltétlenül szükséges.

A talajnedvesség tömegarányos kiszámításához alkalmazott képlet:

$$\theta_g = \frac{m_{water}}{m_{soil}} = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{dry}} \cdot 100 [\%] \quad [14]$$

ahol:

$\theta_g$  – tömegarányos nedvességtartalom [%];

$m_{water}$  – víz tömege [g];

$m_{soil}$  – a talaj tömege [g];

$m_{wet}$  – a nedves talaj tömege [g];

$m_{dry}$  – tömegállandóságig szárított talaj tömege [g].

A térfogatarányos nedvességtartalom gravimetrikus víztartalomból számolva:

$$\theta_v = \frac{\text{volume}_{water}}{\text{volume}_{soil}} = \frac{\frac{m_{water}}{\rho_{water}}}{\frac{m_{soil}}{\rho_{soil}}} = \frac{\theta_g \cdot \rho_{soil}}{\rho_{water}} = \theta_g \cdot \rho_{soil} \quad [\%] \quad [15]$$

ahol:

$\theta_v$  – térfogatarányos víztartalom [%];

$\theta_g$  – tömegarányos nedvességtartalom [%];

$\text{volume}_{water}$  – a víz térfogata [ $\text{cm}^3$ ];

$\text{volume}_{soil}$  – a talaj térfogata [ $\text{cm}^3$ ];

$\rho_{water}$  – a víz sűrűsége [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ];

$\rho_{soil}$  – a talaj térfogattömege [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

Mivel a víz sűrűsége 4 °C-on 1  $\text{kg}/\text{m}^3$  a 15. számú képlet harmadik tagjában a víz sűrűsége 1-nek vehető, így egyszerűsítve a képletet, a térfogatarányos nedvességtartalom a térfogattömeg és a tömegarányos nedvesség-tartalom szorzataként adható meg.

A II. és a III. Mellékletekben található a két eltérő időpontban vett talajminták TDR-es méréseinek adatai, illetve a nedvességértékek egymásba történő átszámításának lépései.

### 3.2.3 CS 616 TDR alkalmazhatósága kvázi folyamatos talajnedvesség méréséhez

Annak érdekében, hogy a talajnedvesség mérésére az időigényes és egyben kevés mintasűrűséget biztosító kézi méréseket helyettesíteni tudjuk egy automatizált rendszerrel, a következő lépéseket végeztük el. A traktor három pont-függesztéséhez egy speciális függesztőkeretet készítettünk (23. ábra), mely segítségével a CS 616 TDR mérőszonda a hátsó függesztőkarok helyzetének változtatásával a talajba szúrható, ill. kihúzható. A CR10x adatnaplózó a traktor fülkéjében kapott helyet, melyről egy soros (RS-232) csatlakozóban végződő lekötés van annak C1 csatornájáról. Az adatnaplózót előzetesen úgy programoztam be (Melléklet IV.), hogy ezen a kimeneti csatornán, másodperces időintervallumban továbbítsa a mért nedvességértékeket. A soros port a korábbiakban már alkalmazott DellAxim típusú PDA-hoz kapcsolódik. Ahhoz, hogy az mért adatok helyspecifikusak legyenek, egy CSI Wireless DGPS típusú készüléket használ a szoftver a koordináták rögzítéséhez.



23. ábra: A speciális függesztőkeretre szerelt mérőszonda



### 3.3 Precíziós gyomfelvételezés

Vizsgálatainkat a NymE-MÉK Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének Oktató-Kutató Bázisa mellett található kísérleti táblán végeztük. Első lépésként egy tárcsás borona segítségével a megközelítőleg 1 hektár nagyságú kísérleti táblán (termelésből több éve kivonva) szabályos négyzet alakú gyomfoltokat alakítottunk ki (24. ábra) így a területen gyomos, ill. gyommentes foltok váltakoztak.



24. ábra: A tárcsás boronával kialakított gyomfoltok

A kísérletre kialakított gyomos területeken Balázs – Ujvárosi módszerrel elvégeztük a gyomfelvételezést (3. táblázat). A hagyományos módon történő gyomfelvételezésre azért volt szükségünk, hogy a későbbiekben ezen ismereteket összehasonlító alapadatokként tudjuk hasznosítani. A felvételezés során 24 különböző gyomfajt találtunk, melyek közül a *Cirsium*

*arvense* volt a domináns, egymagában az összes gyomborítottság felét adta. Tömegesen volt még jelen *Convolvulus arvensis* és *Capsella bursa pastoris*. E három gyomfaj a mintaterületek mindegyikében előfordult. Az 3. táblázatban a domináns gyomfajok borítottság értékeit és gyakoriságát szerepeltettük.

3. táblázat: A kísérleti területen előforduló gyomfajok területborítottsága és előfordulási gyakorisága.

Sorszám	Gyomnövény neve	Borítottsági %	Gyakorisági %
1.	<i>Cirsium arvense</i>	41.15	100
2.	<i>Convolvulus arvensis</i>	19.32	100
3.	<i>Capsella bursa pastoris</i>	12.86	100
4.	<i>Amaranthus chlorostachys</i>	2.55	54
5.	<i>Mercurialis annua</i>	2.49	100
6.	<i>Lamium aplexicaule</i>	1.89	77
7.	<i>Amaranthus retroflexus</i>	1.14	46
8.	<i>Echinochloa crus-galli</i>	1.14	62
9.	<i>Chenopodium album</i>	1.09	54
10.	<i>Chenopodium hybridum</i>	0.98	69
11. - 24.	Egyéb gyomfaj	3.84	
	Összesen:	88.45	

Az első méréseket a vegyes faji összetételű szabályos gyomfoltokon végeztük el, majd a többi gyomnövényt eltávolítva csak a *Cirsium arvense* gyomfaj összefüggő állományát hagytuk meg a területen.

A méréseket egy traktorra függesztett szántóföldi permetezőgéppel végeztük úgy, hogy a gyári szórókeretet átalakítottuk, és erre 2 db intelligens szórófejet (Weed Seeker, „Gyomvadász”) szereltünk (25. ábra). A szórófej az Ntech

Industries Inc., cég terméke. Működésének lényege, hogy amennyiben a lézeres érzékelő zöld színt (kloroplasztiszt) érzékel, az állandó nyomás alatt lévő rendszer egy elektromos impulzust kap, ami által egy mágnesszelep nyit, és a fűvőkán keresztül a permetlé a gyomnövényre jut.



25. ábra: Az alkalmazott szántóföldi permetező módosított szórókerettel

A jobb oldalon lévő szórófejen nem végeztünk módosítást, gyári állapotában került felszerelésre. A baloldalon elhelyezkedőre egy fototranzisztorral ellátott érzékelő áramkör került (26. ábra), ugyanis a szenzor rendelkezik egy gyárilag beépített LED diódával. Ha a szenzor gyomnövényt érzékel, működésbe lép az automatika, és ameddig a mágnes szelep nyitva van, a kontroll dióda is kigyullad. Ezt a lehetőséget kihasználva egy fototranzisztor – és a hozzá tartozó áramkör – segítségével a kapott elektromos jeleket a 3.1 fejezetben ismertetett jelátalakító rendszerrel megegyező módon GPS koordinátákkal együttesen egy tenyérgép (PDA)

segítségével naplóztuk. Amennyiben a LED dióda nem világít, az adatnaplózó szoftver a „0” számot rögzíti az 5 Hz időközönként érkező koordináták mellé, míg a dióda felvillanásakor az „1” számjegy kerül naplózásra. A talajellenállás mérésekor alkalmazott szoftver módosításával mindezek kivitelezhetővé válnak. Helymeghatározásra egy CSI Wireless DGPS Max típusú GPS készüléket használtunk EGNOS jelkorrekcióval, így a  $\pm 1$  m pontosságot értük el. A nyers adatok szűrésére Microsoft Excelt, térinformatikai megjelenítésükhöz pedig ArcGIS szoftvert alkalmaztunk.



26. ábra: WeedSeeker az adatnaplózó áramkörrel

### 3.4 Precíziós légi (helikopteres) növényvédelem

Vizsgálataink során arra kerestük a választ, hogy a jelenleg „földön” alkalmazott precíziós technikákra alapozott permetezési technológiák közül milyen eszközök alkalmazhatóak a légi növényvédelemben is, annak érdekében, hogy az adott munkát még hatékonyabban, pontosabban és könnyebben lehessen elvégezni. Célunk az volt, hogy mind az

adminisztrációs, mind a pilóta munkáját segítő lehetőségeket vizsgáljunk meg. A méréseket egy Kamov KA-26 típusú (27. ábra), növényvédelmi munkákra átalakított helikopter segítségével végeztük. A gép aktív szolgálatot teljesít, elsősorban Vas és Zala megyében.



27. ábra: Kamov KA-26 permetező helikopter

Első lépésként számos konzultáció zajlott a gépek üzemeltetőivel, hogy milyen módon valósítható meg a készülékek működtetése. A sorvezető beszerelésekor szem előtt kellett tartani a repülésbiztonsági szempontokat és a helikopter sajátosságait. A 12 V-os áramellátás biztosításán túl (a helikopterek 24 V-os rendszerrel működnek) a készülék, a kábelek és a GPS antenna elhelyezését úgy kellett megoldani, hogy ne rontsa a kilátást, ill. megfeleljenek a szigorú biztonsági előírásoknak. Az antennát a gép külsején nem célszerű elhelyezni, mivel munka közben elég sokszor belerepül az általa kipermetezett vegyszerbe, valamint az esetlegesen elszabaduló antenna bekerülhet a rotorlapátok közé, aminek beláthatatlan következményei lennének. A legmegfelelőbb helynek a hidroerősítőket takaró üvegszálás fedőlemez elejébe erősített fémlemez bizonyult. Az elhelyezés több módon

előnyünkre vált, hisz a takarólemez eleje alatt már a kabin helyezkedik el, és az oda befutó kábelek között volt bőven hely az antenna kábelnek is. A monitor helyét a pilóta határozta meg, mivel a kabinból való kilátás eredetileg sem nagyon jó a nagy műszerfal miatt, és ezt nem kívántuk tovább korlátozni. Ez az elhelyezés lényegesen kevesebb teret takar ki a pilóta látóteréből, mintha a műszerfaldoboz oldalára a pilóta elé építettük volna be. Mivel a helikopter műszerfala főként vékony alumínium lemezből, illetve üvegszálás műanyagból készült, így ezt egy merevítő lemez beépítésével kellett kiegészítenünk. A lemez már az előbbieken is használatos horganyzott acéllemez volt, ezt az általunk készített papírsablon alapján formára vágtuk, majd a vegyszerszintjelző dobozzal együtt kifűrtük a kívánt lyukakat. A két lemez együttes ereje kellően masszívnak bizonyult, még a repülés közben fellépő erős vibrációval szemben is. A rögzített adatok térképi ábrázolására két ingyenes szoftvert: GoogleEarth, KML Generatort alkalmaztuk.

A kísérletek elvégzésére két mezőgazdasági sorvezetőt biztosított az IKR Zrt. Mindkét modell a Trimble EZ-Guide termékvonalat képviseli, melyek piacvezető termékként vannak jelen a Magyarországon. Bár az EZ-Guide 500 sorvezető alkalmas a kijuttatott vegyszermennyiség szabályzására, a szórókeret automatikus szakaszvezérlésére, illetve földi munkák során automatikus járműirányításra is, továbbá akár 2 cm-ig fejleszthető a helymeghatározási pontossága, mivel jelen kísérlet során ezek a funkciók nem kerültek felhasználásra, a kisebb és könnyebb EZ-Guide 250 került alkalmazásra (28. ábra). Ez a legnagyobb darabszámban eladott ilyen készülék. A kísérletek során a gyári alapfelszereléshez tartozó patch antenna helyett a Trimble Ag15 típusú antennát alkalmaztuk, mely képes az L1 és L2 frekvencia és az EGNOS korrekciós jel vételére. E mellett, a Trimble által



kifejlesztett OnPath szűrőt is használtuk. Ez a matematikai algoritmus a bejövő GPS jelet feldolgozza; egy bizonyos küszöbértéknél nagyobb hibával terhelt pozíció információt figyelmen kívül hagy. Ezzel 15-25 cm pontosságú relatív helymeghatározási pontosság valósítható meg. Egyéb tekintetben a sorvezetőt a földi alkalmazással megegyező módon üzemeltettük. A munkaszélesség megadását követően LED soros navigációval jelezte a pilótának a követendő irányt – ez esetben egyenest. A fogások végén pedig a következő nyomvonal irányát és az attól való távolságot. A sorvezető shape formátumban rögzítette a bejárt útvonalat. Munkánk célja az volt, hogy a felmerülő problémákat megoldjuk, és a gyakorlat számára hasznos információkat nyújtsunk a technológiában rejlő lehetőségekről.



28. ábra: Az EZ-Guide 250 elhelyezése a fülkében

### 3.5 A termény minőségi paramétereinek mérése betakarítás során

A kísérleteket a NymE-MÉK 80/1. kísérleti tábláján végeztük. A betakarított növény 2008-ban kukorica, 2009-ben őszi búza volt. Az alkalmazott szenzorok: (1.) az Agrom RDS rendszer kapacitív elven

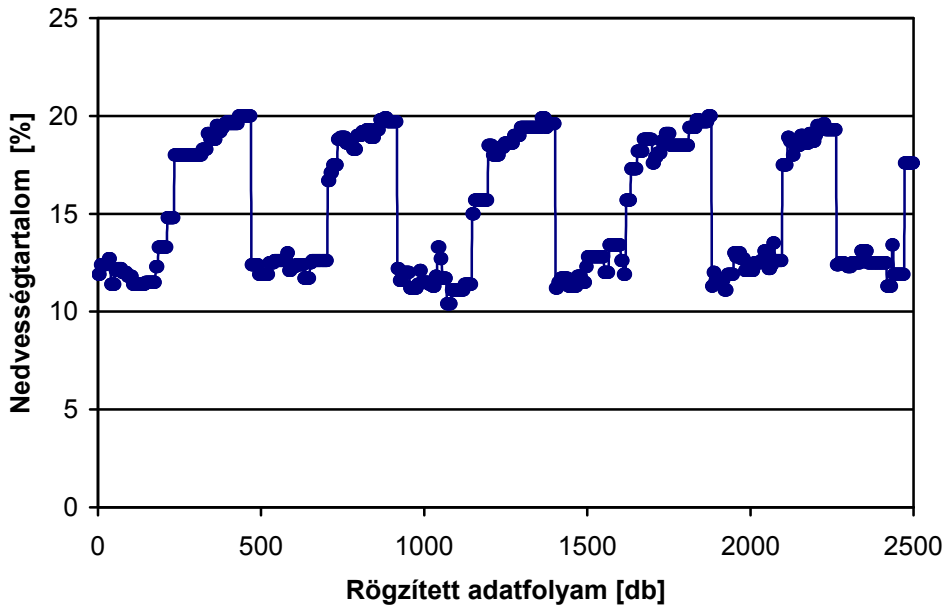
működő érzékelője, mely a kombájn (Deutz Fahr M 35.80) ferde felhordóját és magtartályát összekötő csiga végére van erősítve, valamint (2.) Zeltex AccuHarvest On-Combine Grain Analyzer, amelyet az elevátorra rögzítettünk – egy közel infravörös tartományban mérő műszer (29. ábra).



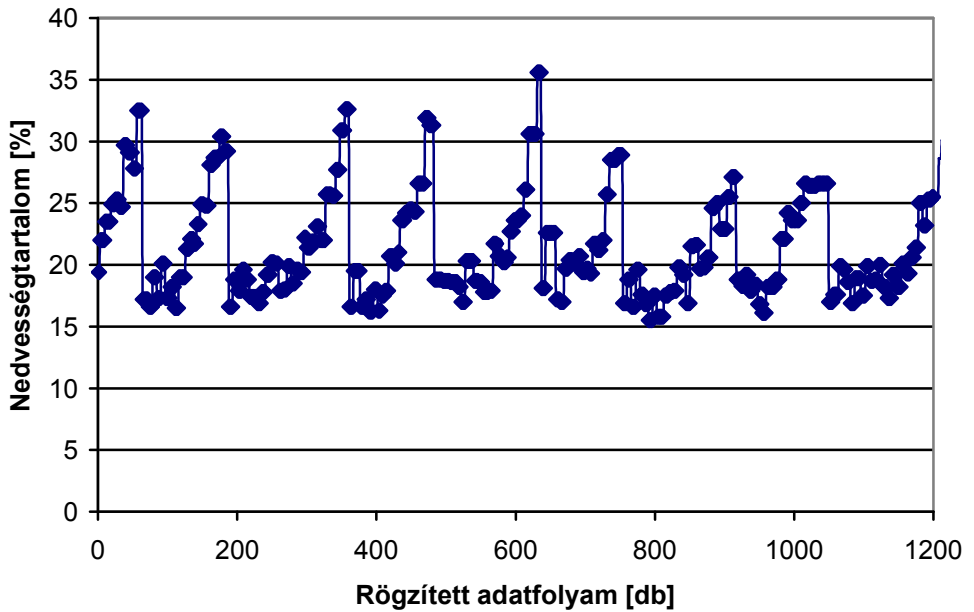
29. ábra: Zeltex On-Combien Grain Analyzer

Ahogy erre az irodalomba több helyen is említést találunk, a kapacitív elven működő szenzorok legnagyobb hátránya, hogy a mérési terület térfogatának folyamatos változása nagymértékben befolyásolja a mérési eredményeket. Az arató-cséplőgép magtartálya folyamatos telítődési és ürítési ciklusokból áll, mely során a fent említett szituáció periodikusan megjelenik. Három év (2004, 2005 és 2006) adatait feldolgozva az adatfolyam grafikus ábrázolásán ez a jelenség markánsan jelentkezik (30. ábra, 31. ábra, 32. ábra), és hasonló eredményre jutottunk a probléma megoldását célzó vizsgált években (2008, 2009) is.

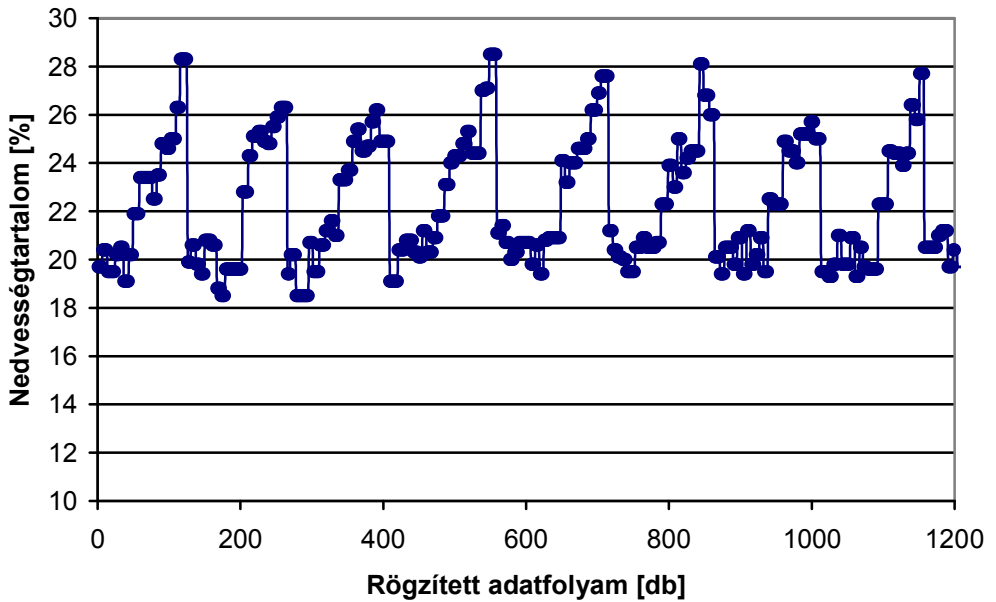




30. ábra: Az őszi búza nedvességtartalmának fluktuációja a betakarítás során

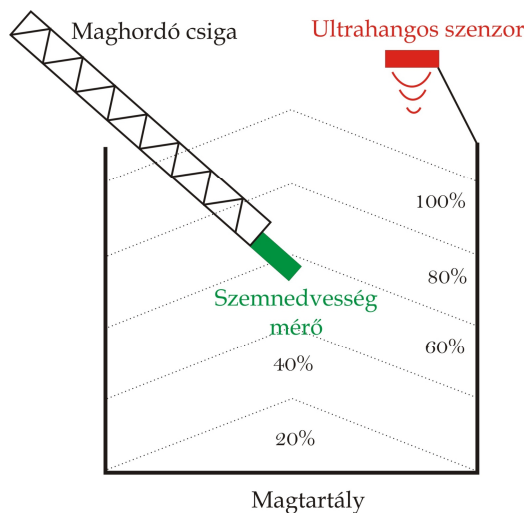


31. ábra: A kukorica nedvességtartalmának fluktuációja a betakarítás során



31. ábra: A kukorica nedvességtartalmának fluktuációja a betakarítás során

Annak érdekében, hogy a magtartály térfogatának betakarítás közbeni alakulását rögzítsük, a 3.1 pontban ismertetett ultrahangos távolságérzékelőt szereltük fel a magtartály tetejére (33. ábra).



33. ábra: A magtartály telítettségének érzékelése

Előzetesen kipróbálásra került, hogy ez mind a kukorica, mind a búza esetében mennyire megbízhatóan működik, tehát mennyire szóródnak a hullámok. Labor körülmények között egy vödörbe kukoricát, egy másikba búzát helyeztünk és állvány segítségével változtattuk a szenzor magasságát a minták fölött. A méréseket mérőszalaggal ellenőriztük. Megállapítottuk, hogy a fent nevezett szenzor maximálisan alkalmas a feladatra. A 3.1 pontban ismertetett szoftvert úgy módosítottam, hogy a kijelzett (és rögzített) érték a 7. számú képlet alapján a távolság legyen. Ez a távolság ( $d$ ) üres tartály esetében 179 cm, míg megtelt állapotban 41 cm volt. Ezekből az adatokból számolva a 16. képlet segítségével a tartály telítettsége ( $x$ ) százalékos formában megadható.

$$x = 100 - \frac{d - 41}{1.38} [\%] \quad [16]$$

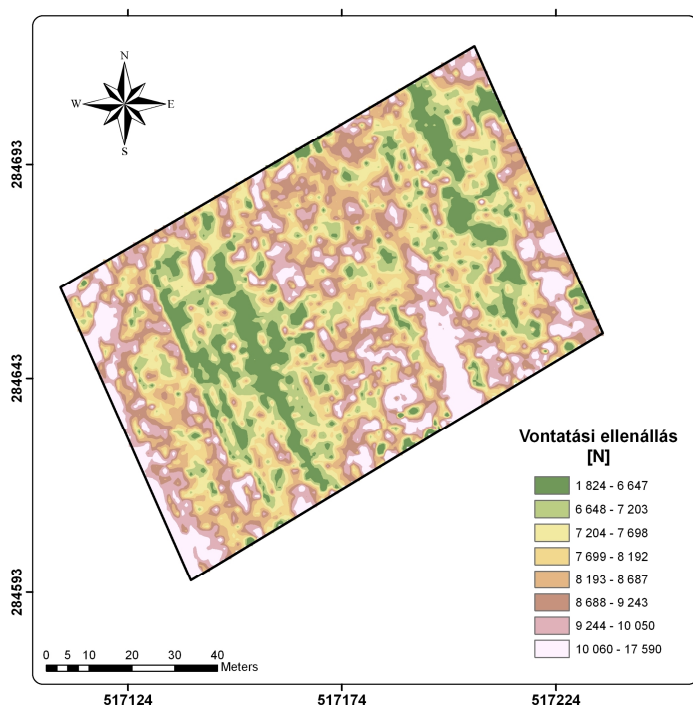
A Zeltex Inc. szenzora az előírásoknak megfelelően rögzítettük az elevátor oldalára. Mindkét évben a gyári kukorica (corn), ill. őszi búza (hrsw) kalibrációkat alkalmaztuk. A kombájn magtartályba vezető csigájából 2008-ban 20 db, míg 2009-ben 150 db mintát gyűjtöttünk be. Ezeket sorszámozott, jól zárható zacskókba helyeztük, miközben a mintavevés pillanatában megtörtént az: RDS nedvesség mérő szenzor a Zeltex cég mérőegysége, valamint az ultrahangos szenzor adatainak feljegyzése. A minták nedvességtartalmát az *ASAE* (1998) szabványnak megfelelően szárítószekrénybe lemértük.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1 A talajellenállás mérése

#### 4.1.1 Traktoros erőmérő rendszer

Az elvégzett vizsgálatokra alapozva kijelenthető, hogy a bemutatott rendszer alkalmas a talajművelő szerszámra ható vontatási (művelési) erő táblán belüli változásának folyamatos mérésére. A 34. ábrán látható a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének kísérleti tábláján egy egykéses középnyel-lazító munkája során rögzített vontatási ellenállás térkép 40 cm-es mélységben.



34. ábra: A vontatási ellenállás heterogén eloszlásának térképe

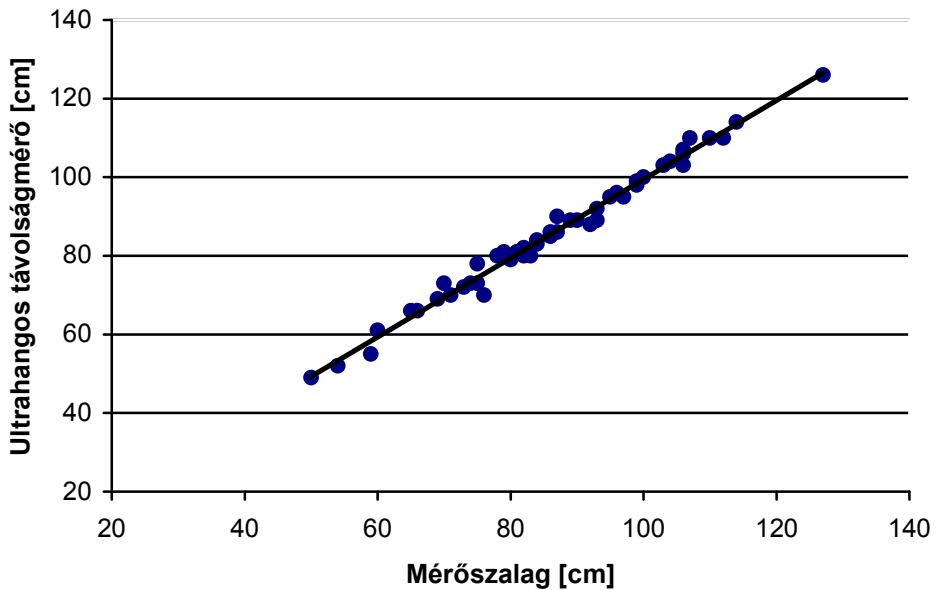
A kb. 1 ha-os táblán belül a nagyszámú mintapontnak köszönhetően élesen kirajzolódnak a különbségek.

A mérési rendszer bármely függesztett, ill. félig függesztett talajművelő eszköz (eke, tárcsás borona, kombinátorok stb.) esetében alkalmazható, nem igényel kiegészítő berendezéseket, ugyanis a traktor erőmérő cellájának terhelésének függvényében működik. Ez az új technikai megoldás a korábbi fejlesztést (Neményi *et al.*, 2006) még hatékonyabbá (a korábbi rendszer pontosságát megtartva) és a gyakorlatban történő alkalmazását egyszerűbbé teszi. Korunk fejlettségi szintjének megfelelően az alkalmazott ipari számítógépet felváltotta egy korszerű, kisméretű PDA, mely széleskörű univerzális eszközként a polgári felhasználás mellett egyre nagyobb teret hódít a mezőgazdaságban is. További előnye, hogy a rendszer elemei egyszerűek, univerzálisak – bármely EHR-rel rendelkező erőgép erőmérő cellájára bekalibrálható – és alacsony áron bárki számára elérhetőek.

#### *4.1.2 Művelési mélység mérése*

A vontatási ellenállás szántóföldi körülmények közötti mérése során mind a haladási sebesség, mind a művelési mélység befolyásoló tényezőként hat. Az általunk referenciamérésként szolgáló mérőszalaggal mért eredmények szoros korrelációban vannak az ultrahangos szenzor által mért eredményekkel. Mivel a vontatási ellenállás, a haladási sebesség, ill. a művelési mélység függvényében változhat, szükségesnek tartottuk ezen paraméterek mérését. Annak érdekében, hogy a haladási sebesség befolyásoló hatását kiküszöböljük, méréseinket viszonylag alacsony (maximum 3 km/h) sebességgel végeztük. A gyakorlatban viszont lényegesen magasabb a talajművelési munkák haladási sebessége. Mivel a nagy pontosságú GPS-ek NMEA kódjának GPRMC sorából kiolvasott sebesség értékek pontossága kielégítő, ezen értékeket a nyers adatok szűrésekor szintén feljegyeztük.

A művelési mélység változásának folyamatos rögzítésére a 3.2 fejezetben ismertetett ultrahangos távolság érzékelőt alkalmaztuk. A traktor nyomvonalában elhelyezett érzékelő enyhén gyomos, hántott tarlón is megfelelő pontossággal ( $R^2 = 0.9877$ ) működött (35. ábra).

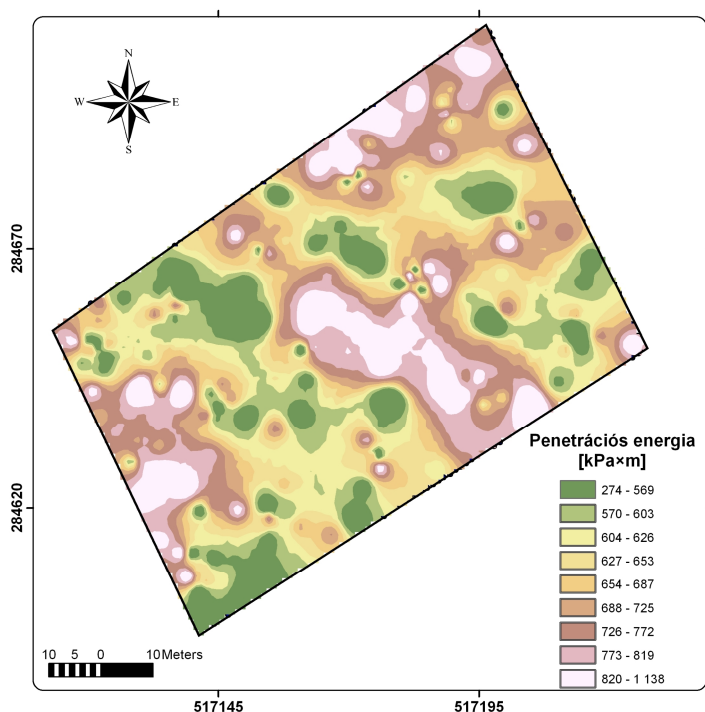


35. ábra: Az ultrahangos mélységmérő enyhén gyomos szántóföldön

A művelő eszköz, esetünkben közép-mély-lazító művelési mélységének meghatározására szolgáló ultrahangos kapcsoló működése bevált. Annak ellenére, hogy *Mouazen et al.*, (2005) munkájában az ultrahangos mélységmérésnél az általa ismertetett mankókerekes megoldás pontosabbnak bizonyult, méréseink során megfelelő pontosságot biztosított az általunk alkalmazott ultrahangos szenzor.

### 4.1.3 A horizontális és vertikális talajellenállás összehasonlítása

Annak ellenére, hogy a gyakorlat a penetrométeres méréseket fogadja el szabványosnak, számos kutatás az on-line (folyamatos) mérések irányába összpontosult, melyek a penetrométeres méréseket helyettesítő (vele egyenértékű információt adó) módszereket jelentenek. A szakirodalom véleménye jelenleg is megosztott. A rendelkezésre álló irodalmi adatok alapján elvégzett kísérleteink azt bizonyítják, hogy nincs szignifikáns kapcsolat a vonóerő és a talaj penetrációs ellenállása közt. Összehasonlító vizsgálataink során nem találtunk összefüggést a penetrációs energia és a talajellenállás között sem. A 35. ábrán látható - IDW (Inverse Distance Weighting) technikával előállított - térképek összehasonlítása alapján megállapítottuk, hogy az adatsorok térbeli összehasonlítás után mindösszesen  $R^2 = 0.17$  korrelációban voltak egymással.



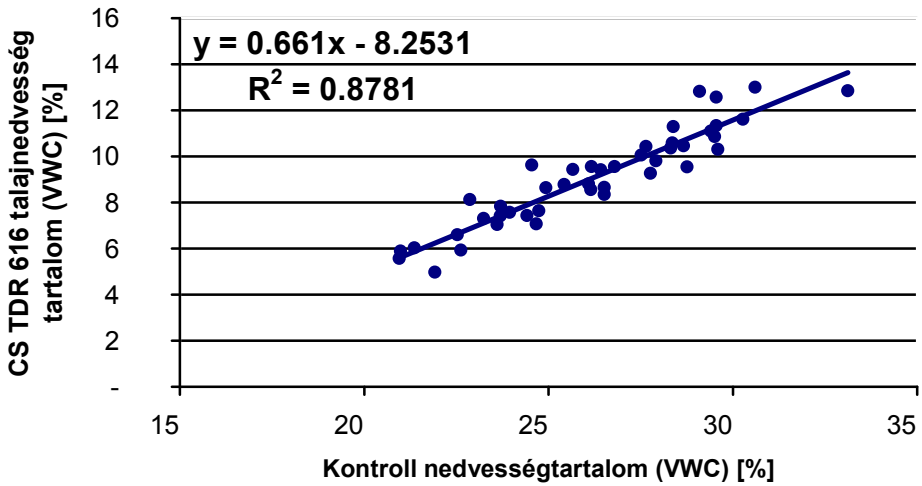
35. ábra: A penetrációs energia táblán belüli eloszlása

A két különböző erőhatást nem lehet számszerűen összehasonlítani, holott minden bizonnyal valószínűsíthető összefüggés áll fenn közöttük. Az eltérés az erők dinamikájában keresendő. A vertikális erő egy függőleges irányba ható viszonylag statikus karakterisztikájú, míg a horizontális erő vízszintes dinamikus változással van jelen.

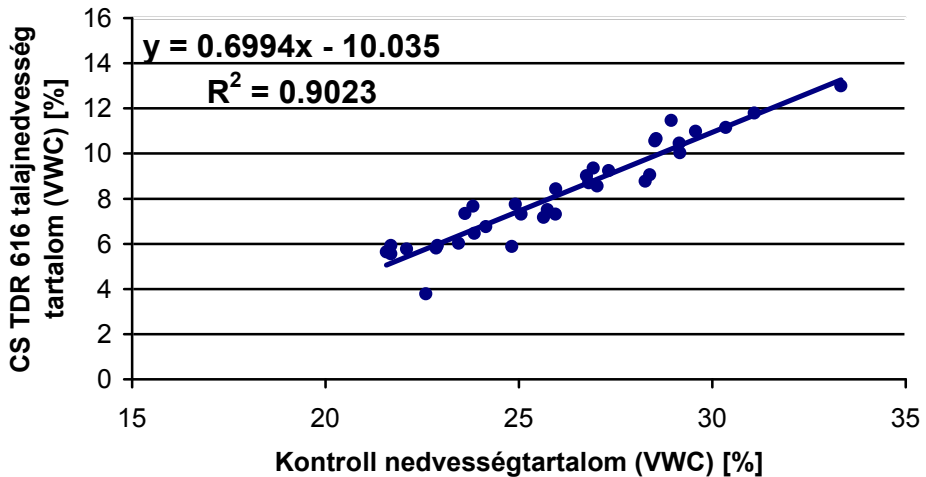
## 4.2 Talajnedvesség mérése

A két eltérő időpontban gyűjtött talajminták vizsgálata után a kontroll (szárítószekrényes) gravimetrikus nedvességtartalmat átszámoltam térfogatarányos nedvességtartalomra, így azok egymással már összehasonlíthatóvá válnak. A 36. ábra a korábban (2007. május 25-én), míg a 37. ábra a 2008. április 18-án vett minták nedvességtartalmainak összefüggését ábrázolja. Az x tengelyen a kontroll, az y tengelyen a CS 616 TDR-el mért értékek szerepelnek. Mindkét esetben szoros kapcsolatot lehet megállapítani, amiből arra lehet következtetni, hogy az általunk alkalmazott TDR-es módszerrel megbízhatóan mérhető a talaj nedvességtartalma. Amennyiben szükséges a tömegarányos nedvességtartalom ismerete, a kapott egyenleteket felhasználva a térfogattömeg mérése nélkül tudjuk a TDR által mért értékeket átszámolni.





36. ábra: A nedvességtartalmak kapcsolata a 2007. május 25. vett minták esetében



37. ábra: A nedvességtartalmak kapcsolata a 2008. április 18. vett minták esetében

Mivel a jelenleg kereskedelemben kapható TDR mérőszondák szerkezeti kialakítása nem teszi lehetővé a folyamatos haladás közbeni adatnaplózást a kvázi-folyamatos mérésekre összpontosítottunk, keresve azt a megoldást, ami

a mérést a lehető legnagyobb mértékben meggyorsítja és automatizálja. Ily módon került sor a speciális tartókerettel összekapcsolt TDR mérőszonda kialakítására. A mérőfej a traktor hátsó függesztőkarok mozgatásával kerül be, illetve ki a talajból. A fülkében helyezkedik el a mérésadatgyűjtő (CR10x), ami soros porton kapcsolatban van a PDA-val, melyen a mérést kontrolláló és naplózást végrehajtó szoftver fut (38. ábra, a programkódot az V. Melléklet tartalmazza). Segítségével az aktuális talajnedvesség értékek a kijelzőn követhetők, valamint a „RECORD” gomb megnyomásával a pillanatnyi érték a koordinátákkal együttesen egy \*.txt file-ba elmentésre kerül. A képernyőn továbbá nyomom követhetjük a koordinátákat is. Automatizálva a kézi mérést jelentős idő takarítható meg. Egy 8 órás műszak során több száz mintát is lehet rögzíteni ezúton. Maga a mérés csak 2-3 gombnyomásból áll.

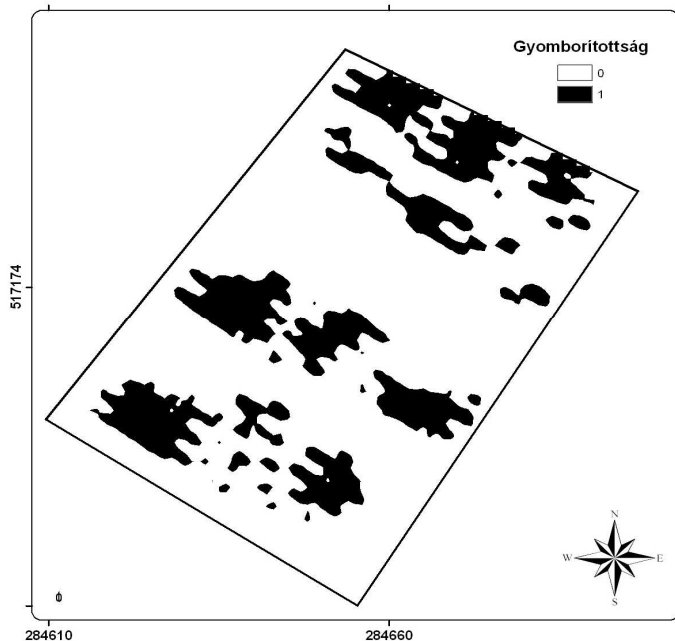
A továbbiakban sor kerül az automatikus kormányzás nyújtotta lehetőségek kihasználására, mely segítségével a táblán előre kijelölt mérőpontok robotpilótával való megközelítése és mérése lesz megvalósítható.



38. ábra: A talajnedvességet rögzítő szoftver

### 4.3 Precíziós gyomfelvételezés

A gyomfelvételezés fárasztó, időigényes, terepi munkájának helyettesítésére végzett kísérletünk során bebizonyítottuk, hogy a dolgozat 3.3 pontjában ismertetett rendszer megbízhatóan, szántóföldi körülmények között is alkalmas a gyomnövények táblán belüli előfordulásának térképezésére. Az előállított gyomtérképből a mennyiségi viszonyok (százalékos gyomborítottság) is egzakt módon mérhetők. A 39. ábrán a *Cirsium arvense* fajtiszta állományról készült gyomborítottság térkép látható, melyen jól megfigyelhetők a mesterségesen (tárcsás boronával) előállított acatfoltok. Ennek segítségével nemcsak egy vizuális képet kapunk, hanem az így létrehozott adathalmaz információ inputként is szolgál a későbbi védekezések számára.



39. ábra: A *Cirsium arvense* előfordulási térképe a mintaterületen

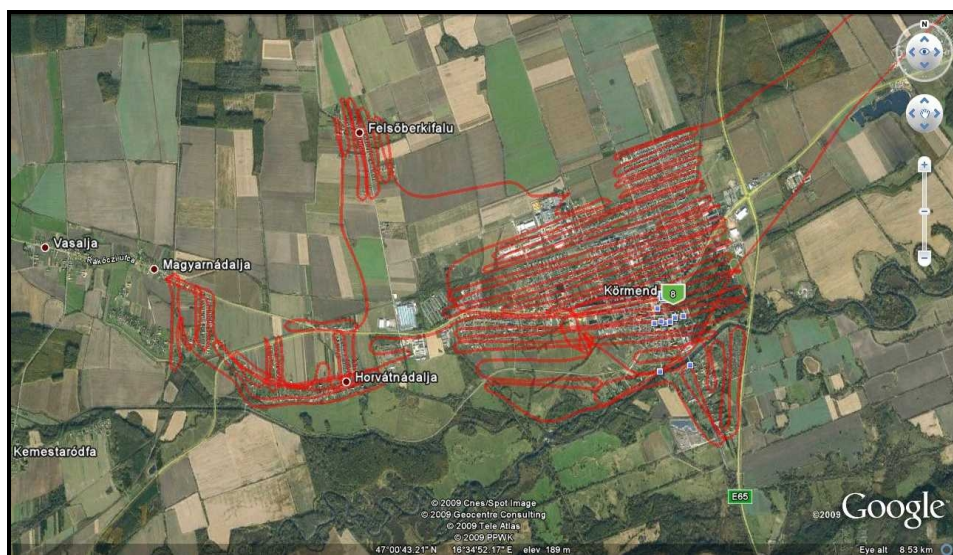
Az ArcGIS szoftver segítségével a térkép formájában való megjelenítés mellett további lehetőség nyílik a gyomborítottság számszerű, százalékos előfordulásának meghatározására. A kialakított *Cirsium arvense* borítottsága a 0.38 ha terület 22.45%-át tette ki.

A fejlesztés jelen állapotában az eszköz nem alkalmas a gyomnövények fajok szerinti felvételezésére, de vannak olyan gyakorlati esetek, amikor a gyomflórát egy faj, vagy fajcsoport alkotja. Ilyen lehet a kukorica preemergens gyomirtását követő, évelő (Geophyton) gyomokból álló flóra kialakulása. A magról kelő gyomok ellen sikeresen végrehajtott preemergens gyomirtás ellenére a táblán megjelennek az évelő gyomfajok, melyekre a preemergens alapkezelési technológia hatástalan volt. Az eredmények jól hasznosíthatók az évelő gyomfajok biológiai tulajdonságainak kutatásában és a területen alkalmazott gyomirtási technológia értékelésében. Több kutató által is megállapítást nyert, hogy egyes gyomfajok foltjai a különböző herbicidkezelések ellenére is hosszú éveken át stabilak maradnak. Ez a *Cirsium arvense*-re is bizonyíthatóan igaz.

A GPS készülék, valamint az analóg/digitális jelátalakító egység 5 Hz adatforgalmi sebessége lehetővé teszi a nagy sűrűségű információk rögzítését, ami a gyakorlatban annyit jelent, hogy egy 4 m/s sebességgel haladó szántóföldi permetező használatakor is 1 méterenként naplózunk. Alacsonyabb haladási sebesség esetén a mintasűrűség még ennél is nagyobb. Összehasonlítva a kézi gyomfelvételezés fáradtságos és kis mintaszámot nyújtó gyomkultúra felmérésével, azokban az esetekben, amikor nem feltétlenül szükséges a faj szerinti felmérés, hanem a faj, ill. fajcsoport előfordulása is elegendő, alkalmazható a fent említett fejlesztés.

#### 4.4 Precíziós légi (helikopteres) növényvédelem

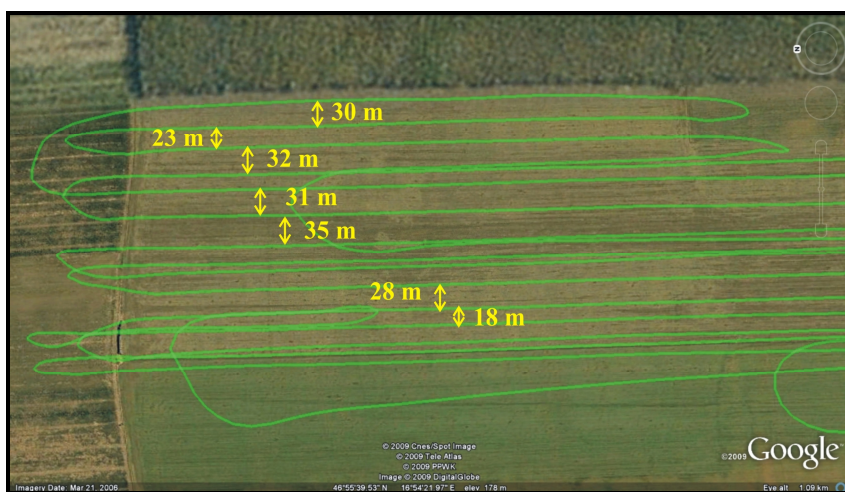
Sikeresen megoldottuk a műszerek beszerelését, ill. áramellátását a helikopter 24 V rendszeréről oly módon, hogy az megfeleljen a légügyi hatóságok által támasztott szigorú elvárásoknak. Kétségünk, hogy a helikopter rotorjai leárnyékolják majd a vételt, így a szükséges pontosság nem érhető el, nem igazolódott be, már felszálláskor 8 műhold állt rendelkezésre, ami az EGNOS nyújtotta pontosság vételéhez már elegendő. A repülési útvonal naplózásával, melyet a készülék végez, lehetőség nyílik az adminisztrációs feladatok megkönnyítésére és hiteles alátámasztására. Példaként a 40. ábrán látható Körmenđ városának szűnyogirtáskor (2009. július 19.) rögzített útvonalterképe.



40. ábra: A szűnyogirtáskor rögzített útvonal térképi ábrázolása

A 41. ábrán láthatóak a sorvezető nélkül végzett munka GPS-nyomvonalai. A pilóta a 30 m munkaszélességű szórókerettel végzett

permetezésnél láthatóan kisebb-nagyobb mértékben tér el az optimális csatlakozástól. Ez az eltérés sorvezető alkalmazásával lényegesen csökkenthető. Természetesen egy mezőgazdaságban használatos RTK pontosságú robotpilóta – ami a légi növényvédő gépeken jelenleg még elképzelhetetlen – pontosságát nem tudjuk elérni, de egy gyakorlott pilóta a sorvezető használatával minimálisra tudja csökkenteni a csatlakozósorok közötti eltérést. Mindezek létjogosultságát a 41. ábra is igazolja. Fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a sorvezető, bár traktorra, azaz földi felhasználásra lett kifejlesztve, a helikopter 100-130 km/h repülési sebességénél is alkalmas volt a navigálásra.



41. ábra: A sorvezető nélkül végzett munka GPS-nyomvonalai

Következtetésként elmondható, hogy a nehéz látási viszonyok (pl. alacsony Napállás, tájékozódáshoz szükséges tereptárgyak hiánya) mellett is a sorvezetővel az optimális munkaszélleességben tudunk repülni, mindezzel időt és vegyszert takarítunk meg mindamelllett, hogy a permetezés hatékonysága is nő. Számos kérdéses esetben, pl. az esetleges növényvédő

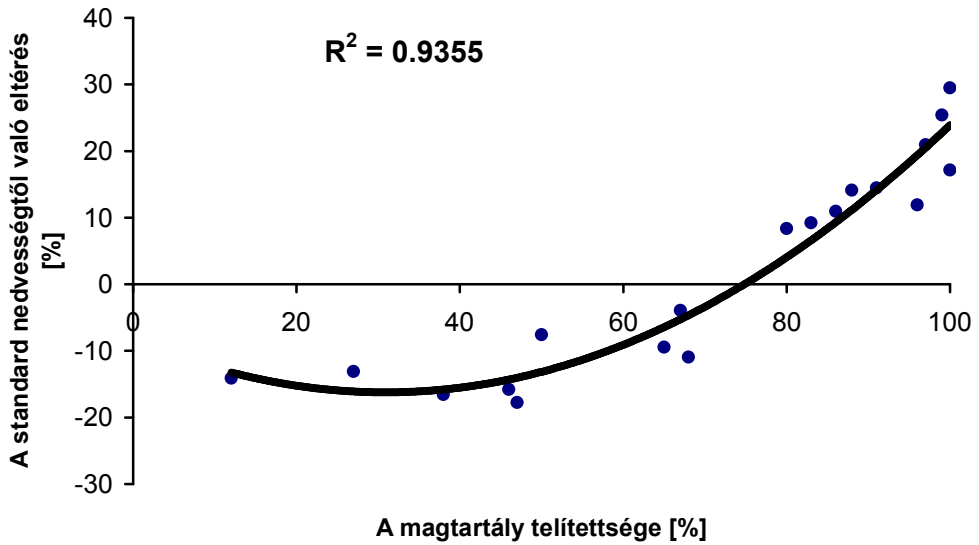
szer által okozott kár megállapíthatóságánál, vagy a megrendelő irányába igazolásként is hasznos a lerepült területről készített útvonalterkép. Megállapítást nyert továbbá, hogy a szántóföldi permetezőgépeknél alkalmazott szakaszolás iránt a levegőben nincs igény a rotorszél általi elsodródás miatt.

További vizsgálatok elvégzése szükségeltetik a VRA technológiák (vegyszer, ill. műtrágya légi kijuttatása esetén) alkalmazása terén, mely újabb gyakorlati előnyöket is hozhat.

#### **4.5 A termény minőségi paramétereinek mérése betakarítás során**

A korábbi évek betakarítási eredményei alapján egyértelműen kijelenthető, hogy az arató-cséplőgépen alkalmazott kapacitív szemnedvesség mérő a magtartály telítődése, ill. ürítése során az aktuális telítettségtől függően jelentős hibaértékeket produkál. Az egy magtartályon belül rögzített értékek átlagértékében ez nem jelenik meg, ugyanis a telítődés első harmadában jelentkező valós értéktől alacsonyabb adatokat ellensúlyozzák az utolsó harmadban rögzített irreális magasak. Viszont így a helyspecifikus adatok elfogadhatatlan mértékben hibásak. Ezen nagymértékű kilengések csillapítására sikeresen alkalmaztuk az ultrahangos távolságérzékelőt. Segítségével a tartály telíttségének helyzetét folyamatosan rögzítettük, így lehetőség nyílt az aratás után az adatok utólagos korrekciójára. A begyűjtött 20 minta alapján a 2008. évi kukorica betakarítás során kidolgoztuk a 17. számú képletet a nyers adatok korrekciójához, ahol az  $x$  a magtartály telítettségi százaléka, mely a 42. ábrán látható összefüggésből következik.

$$Agrocom(korrigált) = \frac{Agrocom(nyers)}{100 + \frac{0.0085x^2 - 1.1694x + 24.092}{100}} \quad [17]$$



42. ábra. A standard nedvességtől való eltérés (Kukorica, 2008)

Az 4. táblázatban megtalálható egy véletlenszerűen kiemelt magtartály feltöltődési szakasza és a szenzorok által rögzített értékek összehasonlítva, a korrigált, ill. szárítószekrényes mérésekkel a 2008-as évből.

A Zeltex Inc. szenzora megbízhatóan, a gyári kalibrációt alkalmazva átlagosan 1.92%-ban alacsonyabban mért, így ezen értéket hozzáadva a nyers adatokhoz a gyakorlati körülmények között is pontos eredményekkel szolgált. Az adatnaplózó mérő/kijelző egységben (Zeltex DataLogger)  $\pm 5$  értékekkel az eredmények eltolhatóak, de csak abban az esetben javasolt, ha egy standardként (pl. szárítószekrényes mérés) elismert módon meggyőződünk az eltérés pontos mértékéről. Ellenkező esetben az utólagos pontosítást célszerű alkalmazni.

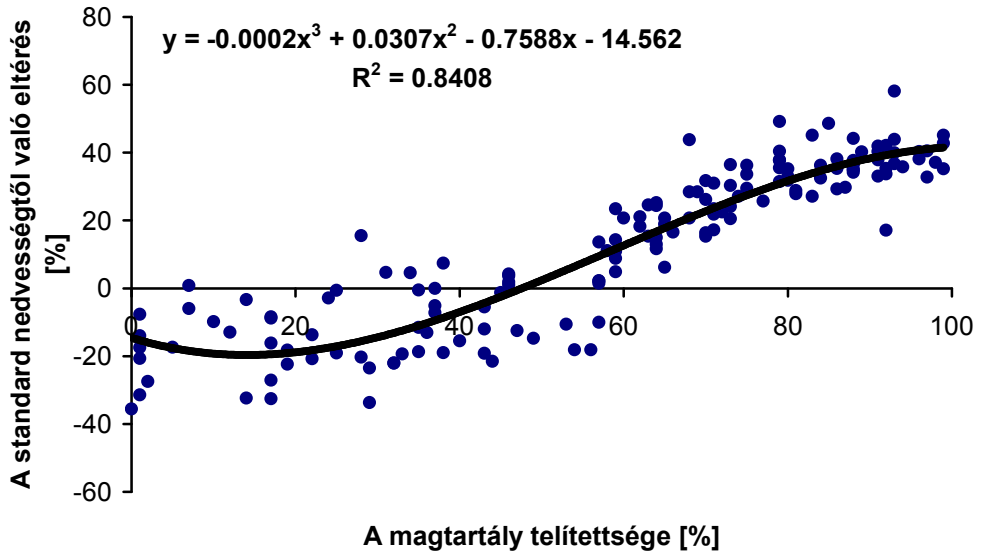


4. táblázat: Kiemelt magtartály feltöltődési szakasz (Kukorica, 2008)

Ultrah. sz. távolság [cm]	Tartály telítettsége [%]	Szárító szekrény [%]	ACT nyers [%]	ACT korrigált [%]
162	12	20.3	17.4	20.0
142	27	19.4	16.9	20.1
127	38	18.5	15.4	18.3
116	46	19.2	16.2	18.9
87	67	19.6	18.8	19.9
58	88	18.7	21.3	19.2
45	97	17.7	21.4	17.7
41	100	18.7	24.2	19.5

Az Agrocom ACT hozam, ill. szemnedvesség mérőrendszerének kapacitív RDS típusú érzékelője helyenként 4-5%-os nedvességszázalékban történő hibát mutatott, mely nem minősül elfogadható értéknek, így a gyakorlat számára pontatlannak bizonyult. Alkalmazva az ultrahangos szenzort ez az érték 1% alá szorítható.

Az őszi búza betakarítása során 2009-ben a begyűjtött 150 db minta alapján is megállapítottuk a korrekciós egyenletet (18. képlet), melyet a 43. ábrán található függvény segítségével határoztunk meg. A szűk mérési intervallum ellenére ugyanarra az eredményre jutottunk, mint a korábbi évben.



43. ábra. A standard nedvességtől való eltérés (Őszi búza, 2009)

$$Agrocom(korrigált) = \frac{Agrocom(nyers)}{100 + \frac{(0.0002x^3 - 0.0216x^2 - 1.1399x + 41.687)}{100}} [18]$$

Az 5. táblázatban megtalálható egy random módon kiemelt magtartály feltöltődési szakasz, ahol a tartály telítettsége, a mért és szárítószekrényben meghatározott nedvességértékek, valamint korrigált szemnedvesség található a 2009-es évből.

5. táblázat: Kiemelt magtartály feltöltődési szakasz (Ő. Búza, 2009)

Ultrah. sz. távolság [cm]	Tartály telítettsége [%]	Szárító szekrény [%]	ACT nyers [%]	ACT korrigált [%]
177	1	11.6	10.0	11.3
156	17	11.8	8.6	10.4
135	32	11.4	8.9	10.1
126	38	11.4	9.2	9.9
116	46	11.4	11.5	11.6
100	47	11.5	11.7	10.5
88	66	12.5	14.6	12.2
82	70	12.6	15.9	12.8
73	77	12.7	15.9	12.3
60	86	12.2	16.9	12.4
49	94	12.5	17.0	12.2
44	98	12.5	17.1	12.2

Összegezve a fentieket, bizonyítást nyert, hogy a kapacitív elven működő szenzor pontosságát nagyban befolyásolja a szem magtartályban lévő tömörsége. Amennyiben nem tudunk konstans anyagáramot és állandó mérési térfogatot biztosítani, szükségszerű kiegészítő érzékelő (pl. ultrahangos távolságérzékelő) alkalmazása. Jó megoldást jelenthet a közel infravörös technológiára épülő szenzorok alkalmazása. Vizsgálataink során bebizonyosodott, hogy a gyakorlati körülmények között is eléri a kívánt pontosságot. A 2008. év kukorica betakarítás során a gyári megadott értékek megfelelőnek bizonyultak. A 2009. év során tőlünk független okokból sem a nedvességtartalom, sem a fehérjetartalom mérése nem működött megbízhatóan. A három aratási naphól egy napon rögzített használható

értékeket. A továbbiakban egyedi kalibráció kidolgozása, ill. a kombájn műszaki állapotának javítása feltételezhetően megoldhatja ezt a problémát. Az infravörös technológiára épülő mérés széles körben való elterjedését annak magas ára jelentősen befolyásolja, viszont a jövőben az olajnövények esetében az olajtartalom, gabona esetében a fehérjetartalom, míg kukoricánál a keményítőtartalom betakarítás közbeni helyspecifikus mérésének fontos eszköze lehet, amennyiben az adott növényre hazai viszonyok mellett is megfelelő kalibrációt tudunk létrehozni. Mindenképpen további kutatásokra van szükség a gyakorlatban való alkalmazása előtt.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A precíziós mezőgazdaság számára nélkülözhetetlenek a nagyszámú helyspecifikus adatok. Ez az állítás a talajművelés esetében feltétlenül igaznak bizonyul. Ahhoz, hogy egzakt képet kapjunk a táblán belüli heterogenitásról, mindenképpen valós idejű, folyamatos mérésre van szükségünk. A helyspecifikus talajműveléshez nélkülözhetetlen alap információk méréséhez napjainkban már számos módszer létezik, viszont ezek gyakorlatban való alkalmazása jelenleg még nem használatos. Az erő- és munkagépek járószerkezete által okozott talajtaposás kedvezőtlen talajfizikai anomáliákat okoz. Ezek megszüntetése nagy energia ráfordítással jár. Amennyiben birtokában vagyunk olyan térbeli információknak, melyek segítségével ezek megszüntetése optimalizálható, jelentős energia (hajtóanyag, idő stb.) megtakarítást tudunk elérni. Továbbá elmondható, hogy a művelési ellenállás során rögzített adatok hasznos inputként szolgálnak a jövőben elvégzendő talajmunkák helyének, idejének és típusának kiválasztásában. A mezőgazdaságban alkalmazott szenzoros távolságmérő eszközök leggyakrabban mechanikus, ultrahangos, infravörös technológiára épülnek. Áruk és alkalmazási területük, illetve azon belül a pontosságuk szabhatárt a felhasználásuknak. Vizsgálataink eredményei során bebizonyosodott, hogy az ultrahangos távolságmérő egyszerűbb kialakítása, univerzális alkalmazhatósága és mérési pontossága megfelelő a talajművelő eszközök munkamélységének mérésére, ill. szabályozására. A jövőben az ultrahangos technológia szántóföldi felhasználása további lehetőségeket biztosíthat a fejlődésnek. Sok esetben felmerül a kérdés milyen input információra is van szükség a precíziós gazdálkodás számára. Mindenkori célunk a minőségi és mennyiségi termelés (hozam) megvalósítása a környezet minimális terhelése

mellett. Ennek érdekében olyan alapadatokra van szükségünk, amelyek ezt a célt biztosítják. Korábbi vizsgálatok bebizonyították, hogy szoros kapcsolat van a hozam és a művelési ellenállás között. Ennek tudatában a penetrométeres mérésekre már nincs feltétlenül szükségünk. Éppen ezért a jövőben azokra a vizsgálatokra kell összpontosítani, melyek az ilyen és ehhez hasonló összefüggéseket feltárják.

A talajnedvesség meghatározásának szükségessége jelentős faktor a növénytermesztésben, amely számottevő hatással van a növényi produkcióra. A dolgozatban ismertetett talajnedvesség-mérési módszerek mind rendelkezésre állnak, a számunkra leginkább megfelelő, alkalmazandó módszer kiválasztását több tényező is befolyásolja: a használó által igényelt információ formája, a talaj típusa, a relatív költség, a megbízhatóság és a kényelmes használat a szántóföldön. Annak érdekében, hogy precíz információt kapjunk kvázi folyamatos, ill. folyamatos mérési technikákra kell a közeljövőben a legnagyobb hangsúlyt fektetni. Mivel a jelenleg kereskedelemben kapható TDR mérőszondák szerkezeti kialakítása nem teszi lehetővé a folyamatos haladás közbeni adatnaplózást, a kvázi-folyamatos mérésekre összpontosítottam, keresve azt a megoldást, ami a mérést a lehető legnagyobb mértékben meggyorsítja és automatizálja. Ily módon került sor a speciális tartókerettel összekapcsolt TDR mérőszonda kialakítására.

A precíziós növényvédelem célja, hogy felderítse a táblán belül változatos képet mutató, a kultúrnövényt károsító szervezetek előfordulását és olyan védekezési technológiát alkalmazzon, amely nyomon követi a heterogén előfordulást. Szélsőséges esetben, ha a művelt terület egy jelentős részén nem, vagy a kártételi küszöb alatti mennyiségben található károsító tényező, a védekezés akár lokálisan el is maradhat. Ilyen esetekben jelentős költségmegtakarítást érhetünk el a fel nem használt inputok (pl. permetlé)

segítségével, valamint minimalizálhatjuk a környezeti terhelést is. Mezőgazdaságilag művelt területeinken a gyomnövények előfordulása nagy faji változatosságot mutat. A gyomnövények faji összetételét és tömegét a mezőgazdasági területeken különféle gyom-felvételezési módszerekkel állapítjuk meg. A precíziós gyomszabályozás tervezésének és gyakorlati alkalmazásának egyik legfontosabb eleme a gyomfelvételezés megfelelő módszerének kiválasztása vagy kidolgozása. Fontos megállapítani a gyomnövények faji összetételét és mennyiségi viszonyait. A helyspecifikusan végrehajtott gyomirtás eredménye attól függ, milyen pontos volt a táblán a gyomok lokális jelenlétének feltérképezése, és így jelentős vegyszermennyiség takarítható meg. A védekezés tervezési szakaszában valamilyen eszközzel és módszerrel fel kell mérni a gyomfajok térbeli előfordulását és a tömegviszonyokat. Elsődleges szempont, hogy ne csak pontszerűen, becslés segítségével, hanem az egész területről szerezzünk pontos információkat a gyomborítottság térbeli megoszlásáról. Az on-line módszer vitathatatlan előnye a teljes területre kiterjedő vizsgálat. A gyomfelvételezés fárasztó, időigényes, terepi munkájának helyettesítésére végzett kísérletünk során bebizonyítottuk, hogy a kidolgozott módszer alkalmas a mennyiségi viszonyok (százalékos gyomborítottság) egzakt módon mérésére. A fejlesztés jelen állapotában az eszköz nem alkalmas a gyomnövények fajok szerinti felvételezésére, de előfordul számos olyan gyakorlati eset, ahol nem szükségszerű a fajok elkülönítése. Az eredmények továbbá jól hasznosíthatók az évelő gyomfajok biológiai tulajdonságainak kutatásában és a területen alkalmazott gyomirtási technológia értékelésében.

A helikopteres növényvédelemmel kapcsolatos vizsgálataink során arra kerestük a választ, hogy a jelenleg „földön” alkalmazott precíziós technikákra alapozott permetezési technológiák közül milyen eszközök alkalmazhatók a

légi növényvédelemben is, annak érdekében, hogy az adott munkát még hatékonyabban, pontosabban és könnyebben lehessen elvégezni, valamint az adminisztrációs és a pilóta munkáját segítő lehetőségeket vizsgáljunk meg, a felmerülő problémákat megoldjuk, és a gyakorlat számára hasznos információkat nyújtunk a technológiában rejlő lehetőségekről. Elmondható, hogy a nehéz látási viszonyok (pl. alacsony Napállás, tájékozódáshoz szükséges tereptárgyak hiánya) mellett is a sorvezetővel az optimális munkaszélességben tudunk repülni. Természetesen ez az állítás megfelelő tájékozási pontok használatakor is fennáll.

A modern mezőgazdaság napjainkra minden területen a precíz, gyors és gazdaságos munkavégzést követeli meg az alkalmazott gépektől. A precíziós betakarítás során a termény számos tulajdonságának (mennyiség, nedvesség, fehérje, olajtartalom stb.) táblán belüli eltéréseit (heterogenitását) alkalmunk nyílik helyhez kötten mérni, amelyhez a dinamikus fejlődő agrárműszaki tudomány egyre több újdonságot biztosít. A pontos hozamok érdekében feltétlenül szükség van a szemnedvesség mérésére, mivel jelentősen befolyásolja annak térfogatát, ill. tömegét. A mezőgazdasági gyakorlatban számos kapacitív elven működő szenzort alkalmaznak. Legnagyobb hátrányuk, hogy a mérés során a mérendő anyag térfogatának folyamatos változása nagymértékben befolyásolja a mérési eredményeket. Az arató-cséplőgép munkája során magtartálya folyamatos telítődési és ürítési ciklusokból áll, mely során a fent említett eset rendszeresen előfordul. Az elmúlt öt év betakarítási adatait feldolgozva az adatfolyam grafikus ábrázolásán ez a jelenség markánsan jelentkezik. Amennyiben nem tudunk konstans anyagáramot és állandó mérési térfogatot biztosítani, szükségszerű kiegészítő érzékelő (pl. ultrahangos távolságérzékelő) alkalmazása. Jó megoldást jelenthet a közel infravörös technológiára épülő szenzorok



alkalmazása. Vizsgálataink során bebizonyosodott, hogy a gyakorlati körülmények között is eléri a kívánt pontosságot. A 2008. év kukorica betakarítás során a gyári megadott értékek megfelelőnek bizonyultak. A 2009. év során tőlünk független okokból sem a nedvességtartalom, sem a fehérjetartalom mérése nem működött megbízhatóan. Az infravörös technológiára épülő mérés széles körben való elterjedését annak magas ára jelentősen befolyásolja, viszont a jövőben az olajnövények esetében az olajtartalom, gabona esetében a fehérjetartalom, míg kukoricánál a keményítőtartalom betakarítás közbeni helyspecifikus mérésének fontos eszköze lehet, amennyiben az adott növényre hazai viszonyok mellett is megfelelő kalibrációt tudunk létrehozni. Mindenképpen további kutatásokra van szükség a gyakorlatban való alkalmazása előtt.

**TÉZISEK**

1. Átdolgoztam a korábban kifejlesztett traktoros vonóerő mérő rendszert, valamint kiegészítettem egy művelési mélységet folyamatosan rögzítő ultrahangos szenzorral.
2. Vizsgálataim során megerősítettem, hogy a penetrométeres mérések szignifikánsan nem hozhatóak összefüggésbe a talajellenállással, ezért azok a gyakorlati növénytermesztés számára nem nyújtanak kielégítő információt.
3. Automatizált módszert dolgoztam ki egy TDR elven működő talajnedvesség mérő műszer kvázi folyamatos szántóföldi használatához, felgyorsítva így a kézi mintavételezés munkáját.
4. On-line gyom-felvételezési módszert fejlesztettem ki szántóföldi gyomtársulások valós idejű detektálásához, amelynek segítségével meghatároztam a kísérleti tábla százalékos gyomborítottságát.
5. Bebizonyítottam, hogy a kapacitív elven működő, gabonakombájnra szerelt szemnedvesség mérők (abban az esetben, ha nem konstans a mérési térfogat) nagyfokú pontatlansággal bírnak.

**A GYAKORLATNAK ÁTADHATÓ EREDMÉNYEK**

1. Megvizsgáltam a hazai helikopteres növényvédelemben alkalmazható precíziós technikák alkalmazhatóságát, különös tekintettel a sorvezetésre, mely során bizonyosságot nyert, hogy az optimális csatlakozósorok eléréséhez a sorvezető automatika ugyanolyan hasznos eszköz a levegőben, mint a földön.
2. Kalibrációs függvényeket hoztam létre kukorica és őszi búza terményekre a kapacitív elven működő gabonakombájnra szerelt szemnedvesség mérők pontosítása érdekében. A magtartály telítettségének folyamatos érzékelésével a mért adatokat utólagos feldolgozással korrigálni tudtam.

---

**IRODALOMJEGYZÉK**

1. Adamchuk, V. I. - Hummel, J. W. - Morgan, M. T. - Upadhyaya, S. K. (2004): On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. **44**. pp. 71-91.
2. Al-Jalil, H. F. - Khadir, A. - Mukahal, W. (2001): Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer. *Soil and Tillage Research*. **62**. pp. 153-156.
3. Amer, A. S. - Keefer, O. T. - Weltz, A. M. - Goodrich, C. D. - Bach, B. L. (1995): Soil moisture sensors for continuous monitoring. *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*. **31**. (6) pp. 1131-1137.
4. Amoodeh, M. T. - Khoshtaghaza, M. H. - Minaei, S. (2006): Acoustic on-line grain moisture meter. *Computers and Electronics in Agriculture*. **52**. pp. 71-78.
5. Anthonis, J. - Mouazen, A. M. - Saeys, W. - Ramon, H. (2004): An Automatic Depth Control System for Online Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction, Part 3: Design of Depth Control System. *Biosystems Engineering*. **89**. (1) pp. 59-67.
6. Arslan, S. - Colvin, S. T. (2002): Grain Yield Mapping: Yield Sensing, Yield Reconstruction, and Errors. *Precision Agriculture*. **3**. pp. 135-154.
7. ASAE (1998): Moisture Measurement – Unground Grain and Seeds. *ASAE S352.2 DEC97* p. 551.
8. Balázs, F. (1944): A növénycönológiai felvételek készítésének újabb módja. *Botanikai Közlemények*. **41**. pp. 18-33.
9. Bauder, J. W. - Randall, C. W. - Swan, J. B. (1981): Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of clay loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **45**. pp. 802-807.

10. Beke, D. (2006): Talajtömörödés és - nedvességtartalom vizsgálata szántóföldi tartamkísérletekben. Doktori (PhD) értekezés, Keszthely. Veszprémi Egyetem, Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola. pp. 39-42.
11. Ben-Dor, E. - Banin, A. (1995): Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **59**. pp. 364-372.
12. Bentaher, H. - Hamza, E. - Kantchev, G. - Maalej, A. - Arnold, W. (2008): Three-point hitch-mechanism instrumentation for tillage power optimization. *Biosystems Engineering.* **100**. pp. 24-30.
13. Bergeijk, van J. - Goense, D. - Speelman, L. (2001): Soil Tillage Resistance as a Tool to map Soil Type Differences. *J.Agric. Engng Res.* **79**. (4) pp. 371-387.
14. Berzsenyi, Z. (2000): Gyomszabályozási stratégiák a fenntartható növénytermesztésben. *Magyar Gyomkutatás és Technológia (Hungarian Weed Research and Technology).* **1**. pp. 3-21.
15. Birkás, M. (2001): Talajművelés a fenntartható mezőgazdaságban. ISBN 963 9256 307. pp. 47-57.
16. Birkás, M. - Jolánkai, M. - Gyuricza, Cs. - Percze, A. (2004): Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil and Tillage Research.* **78**. pp. 185-196.
17. Birkás, M. - Bencsik, K. - Stingli, A. - Percze, A. (2005): Correlation between moisture and organic matter conservation in soil tillage. *Cereal Research Communication.* **33**. pp. 25-28.
18. Birkás, M. - Kalmár, T. - Fenyvesi, L. - Földesi, P. (2007): Realities and beliefs in sustainable soil tillage systems – A research approach. *Cereal Research Communications.* **35**. (2) pp. 257-260.
19. Bölenius, E. - Arvidsson, J. - Rogstrand, G. - Stenberg, B. - Thylén, L. (2006): On-to go measurements of soil penetration resistance on a Swedish eutric cambisol. 8<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, ME. *Book of Abstracts.* p. 14.

20. Boon, N. E. - Yahya, A. - Kheiralla, A. F. - Wee, B. S. - Gew, S. K. (2005): A Tractor-mounted, Automated Soil Penetrometer–shearometer Unit for Mapping Soil Mechanical Properties. *Biosystems Engineering*. **90**. (4) pp. 381-396.
21. Bowers, S. A. - Hanks, R. J. (1964): Reflection of radiant energy from soils. *Soil Sci.* **100**. (2) pp. 130-138.
22. Bradford, J. M. (1980): The penetration resistance in a soil with well-defined structure units. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **44**. pp. 601-606.
23. Brevik, E. C. - Fenton, T. E. - Lazari A. (2006): Soil electrical conductivity as a function of soil water content implications for soil mapping. *Precision Agric.* **7**. pp. 393-404.
24. Csiba, M. - Neményi, M. (2008): Continuous tillage force measurements - New Developments. *Hungarian Agricultural Engineering*. **21**. pp. 19-20. HU ISSN 0864-7410
25. Csiba, M. (2009): Comparison between capacitance and NIT sensing technology to continuously evaluate grain moisture during harvest. *Cereal Research Communications. Akadémiai kiadó.* **37**. pp. 73-76.
26. Csiba, M. - Reisinger, P. - Neményi, M. - Kőmíves, T. (2009): Szenzoros vizsgálatok a gyomnövények valós idejű detektálására. *Magyar Gyomkutatás és Technológia. X. évfolyam* **2**. pp. 63-70.
27. Chi, L. - Tessier, S. (1995): A portable micro-penetrometer for measuring seed row compaction. *Soil and Tillage Research*. **34**. pp. 27-39.
28. Condon, S. F. - Ward, S. M. - Holden, N. M. - McGee, A. (2001): The development of a depth control system for a peat milling machine, part II: system optimization and analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **80**. (2) pp. 127–137.
29. Custovic, H. - Vlahinic, M. (2008): Method for soil moisture monitoring. *Cereal Research Communication*. **36**. pp. 1115-1118.
30. Dalal, R. C. - Henry, R. J. (1986): Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50**. pp. 120-123.

31. Desbiolles, J. M. A. - Godwin, R. J. - Kilgour J. - Blackmore, B. S. (1997): A novel approach to the prediction of tillage tool draught using a standard tine. *J. Agric. Engng Res.* **66.** pp. 295-309.
32. Desbiolles, J. M. A. - Godwin, R. J. – Kilgour, J. – Blackmore, B. S. (1999): Prediction of Tillage Implement Draught using Cone Penetrometer Data. *J. Agric. Engng Res.* **73.** pp. 65-76.
33. Engel, R. - Long, D. - Carlson, G. (1997): On-to-go grain protein sensor is near. *Better Crops.* **81.** pp. 20-23.
34. Fekete, A. (1996): Méréstechnika és automatizálás az élelmiszergazdaságban. *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.* pp. 30-31.
35. Fellner-Feldegg, H. (1969): The measurement of dielectrics in the time-domain. *J. Phys. Chem.* **73.** pp. 616-623.
36. Gerhards, R. - Sökefeld, M. - Timmermann, C. - Krohmann, P.-Küchbach, W. (2000): Precision weed control – more than just saving herbicides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft.* **17.** pp. 179-186.
37. Gerhards, R. - Sökefeld, M. - Nabaut, A. - Thergurg, R. - Kühbauch, W. (2002): Online weed control using digital image analysis. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft.* **18.** pp. 421-427.
38. Gerhards, R. - Christensen, S. (2003): Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugar beet, winter wheat and winter barley. *Weed Research.* **43.** pp. 385-392.
39. Godwin, R. J. - Spoor, G. (1977): Soil Failure with Narrow Tines. *J. agric. Engng Res.* **22.** pp. 213-228.
40. Godwin, R. J. (2006): A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research.* **97.** pp. 331-340.

- 
41. Godwin, R. J. - O'Dogherty, M. J. - Saunders, C. - Balafoutis, A. T. (2007): A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystems Engineering*. **97**. pp. 117-129.
  42. Godwin, R. J. - O'Dogherty, M. J. (2007): Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics*. **44**. pp. 3-14.
  43. Gorucu, S. - Khalilian, A. - Han, Y. J. - Dodd, R. B. - Smith, B. R. (2006): An algorithm to determine the optimum tillage depth from soil penetrometer data in coastal plain soils. *Transactions of ASABE*. **22**. (5) pp. 625-631.
  44. Guthjahr, C. M. - Weis, M. - Sökefeld, C. - Ritter, J. - Möhring, A. - Büchse, H. - Piepho, pp. - Gerhards, R. (2008): Erarbeitung von Entscheidungsalgorithmen für die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft*. **21**. pp. 143-148.
  45. Hajdú, J. (2009): 50 éves a szervezett légi növényvédelem Magyarországon. *Mezőgazdasági Technika*. 2009. július, pp. 38-39.
  46. Halász, G. - Huba, A. (2003): *Műszaki Mérések*. Műegyetem Kiadó. ISBN 963 420 744 8. pp. 134-135.
  47. Hamouz, P. - Soukup, J. - Holec, J. - Novakova, K. (2004): Field-scale variability of weed distribution on arable land. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz Sonderheft*. **19**. pp. 445-452.
  48. Hanquet, B. - Sirjacobs, D. - Destain, M. F. - Frankinet, M. - Verbrugge, J. C. (2004): Analysis of soil variability measured with a soil strength sensor. *Precision Agriculture*. **5**. pp. 227-246.
  49. Hemmat, A. - Adamchuk, V. I. (2008): Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*. **63**. pp. 89-103.
  50. Hill, R. L. (1990): Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Soc. Am. J.* **54**. pp. 161-166.



- 51.** Horváth, A. (2009): AGCO-FENDT eredmények, tervek. Mezőgazdasági Technika. 2009. november, p. 37.
- 52.** Hummel, J. W. - Gaultney, L. D. - Sudduth, K. A. (1996): Soil property sensing for site-specific crop management. Computers and Electronics in Agriculture. **14.** pp. 121-136.
- 53.** Johnson, G. A. - Mortensen, D. A. - Martin, A. R. (1995): A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. Weed Research. **35.** pp. 197-205.
- 54.** Jóri, J. I. (2008): Talajkímélő járószerkezetek a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Technika. 2008. November, pp. 32-35.
- 55.** Jukic, Z. - Janusic, V. - Matin, A. - Tomic, F. (2007): Water release rate from corn kernel affected by cropping intensity. Cereal Research Communication. **35.** pp. 569-572.
- 56.** Kacz, K. - Csiba, M. - Kocsis, S. (2007): Az erőgépek teljesítményének és a talajművelő eszközök munkaminőségének összehangolása a talajellenállás figyelembe vételével. Agro Napló, Országos Mezőgazdasági Szakfolyóirat, XI. évfolyam. **9.** pp. 38-40.
- 57.** Kalmár, S. - Salamon, L. - Reisinger, pp. - Nagy, S. (2004): Possibilities of applying precision weed control in Hungary (A precíziós gyomszabályozás üzemi alkalmazhatóságának vizsgálata). Gazdálkodás. **48.** (8) pp. 88-94.
- 58.** Kano, Y. - McClure, W. F. - Skaggs, R. W. (1985): A near infrared reflectance soil moisture meter. Transact. ASAE. **28.** (6) pp. 1852-1855.
- 59.** Kheiralla, A. F. - Yahya, A. - Zohadie, M. - Ishak, W. (2003): Design and development of a three-point hitch dynamometer for an agricultural tractor. AJSTD. **20.** (3&4) pp. 271-288.
- 60.** Krischenko, V. P. - Samokhvalov, S. G. - Fomina, L.G. - Novikova, G. A. (1991): Use of infrared spectroscopy for the determination of some properties of soil. Proceedings of the Fourth International Conference on NIR, Advances in Near Infrared Spectroscopy 19-23 August, Aberdeen, Scotland.

61. Kroulik, M. - Slejska, A. - Mirma, M. - Prosek, V. - Kumhalova, J. - Kokosovka, D. - Jarosava, S. - Vykoukalova, L. (2008): Mapping of *Cirsium arvense* infestation and site specific herbicide application. Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz Sonderheft. **21**. pp. 171-176.
62. Lapen, D. R. - Topp, G. C. - Edwards, M. E. - Gregorich, E. G. Curnoe, W. E. (2004): Combination cone penetration resistance/water content instrumentation to evaluate cone penetration–water content relationships in tillage research. Soil and Tillage Research. **79**. pp. 51-62.
63. Lee, J - Yamazaki, M. - Oida, A. - Nakashima, H. - Shimizu, H. (1998): Electro- hydraulic tillage depth control system for rotary implements mounted on agricultural tractor design and response experiments of control system. Journal of Terramechanics. **35**. pp. 229–238.
64. Lowry, B. - Schuler, R. T. (1991): Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth. Soil Sci. Soc. Am. J. **55**. pp. 216-223.
65. McLaughlin, N. B. - Drury, C. F. - Reynolds, W. D. - Yang, X. M. - Li, Y. X. - Welacky, T. W. - Stewart, G. (2008): Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in clay loam soil. Transaction of the ASABE. **51**. (4) pp. 1153-1163.
66. Mesterházi, P. Á. - Neményi, M. - Maniak, S. - Kacz, K. - Kovács, A. J. - Stépán, Zs. (2003): A legújabb fejlesztések a precíziós növénytermesztés műszaki feltételrendszerével kapcsolatban. MTA-AMB XXVII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. jan. 21-22. **1**. pp. 84-88.
67. Mesterházi, P. Á. (2004): Development of measurement technique for GPS-aided plant production. PhD Dissertation. West Hungarian University, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Mosonmagyaróvár.

- 
68. Mesterházi, P. Á. - Kovács, A. J. - Maniak, S. - Neményi, M. (2004): Újabb fejlesztések a precíziós-helyspecifikus növénytermesztési technológiák műszaki feltételrendszerének javítására. Agrártermelés – Harmóniában a természettel. XXX. Nemzetközi Óvári Tudományos Napok. 2004. október 7. Mosonmagyaróvár. CD.
69. Mesterházi, P. Á. (2009): A nagy pontosságú helymeghatározás hatása a növénytermesztési munkák minőségére. Mezőgazdasági Technika, 2009. május. p. 12.
70. Mexas, S. - Brusewitz, G. H. (1987): Acoustic grain moisture meter. Transactions of the ASAE. **30.** (3) pp. 853-857.
71. Mielke, L. N. - Powers, W. L. - Badri, S. - Jones, A. J. (1994): Estimating soil water content from soil strength. Soil and Tillage Research. **31.** pp. 199-219.
72. Motavalli, P. P. - Anderson, S. H. - Pengthamkeerati, P. - Gantzer, C. J. (2003): Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. Soil and Tillage Research. **74.** pp. 103-114.
73. Mouazen, A. M. - Ramon, H. - De Baedemarker, J. (2003): Effects of bulk density and moisture content on selected mechanical properties of sandy loam soil. Biosystems Engineering. **83.** (2) pp. 217-224.
74. Mouazen, A. M. - Anthonis, J. - Ramon, H. (2004): An Automatic Depth Control System for Online Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction, Part 1: Sensor Design for Measurement of Frame Height Variation from Soil Surface. Biosystems Engineering. **89.** (2) pp. 139-150.
75. Mouazen, A. M. - Anthonis, J. - Ramon, H. (2005): An Automatic Depth Control System for Online Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction, Part 4: Improvement of Compaction Maps by using a Proportional Integrative Derivative Depth Controller. Biosystems Engineering. **90.** (4) pp. 409-418.
76. Mouazen, A. M. - Ramon, H. (2006): Development of an on-line measurement system of bulk density based on on-line measured draught, depth and soil moisture content. Soil and Tillage Research. **86.** pp. 218-229.
-

77. Mouazen, A. M. - Maleki, M. R. - Baerdemaeker, J. D. - Ramon, H. (2007): On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. *Soil and Tillage Research*. **93**. pp. 13-27.
78. Nagy, S. - Reisinger, P. - Antal, K. (2003): Mapping the distribution of perennial weed species for planning precision weed control. *Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Plant Protection Symposium, Debrecen University*. pp. 300-306.
79. Nagy, S. - Reisinger, P. - Antal, K. (2004): Mapping of perennial weed species distribution in maize. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz Sonderheft*. **19**. pp. 467-462.
80. Nagy, S. (2004): A gyomfelvételezési módszerek fejlesztése a precíziós gyomszabályozási technológiák tervezéséhez. PhD disszertáció. Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság -és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár.
81. Nelson, S. O. - Trabelsi, S. - Kraszewski, A. (1998): Advances in sensing grain moisture content by microwave measurements. *Transactions of the ASAE*. **41**. (2) pp. 483-487.
82. Neményi, M. - Pecze, Zs. - Mesterházi, P. Á. - Németh, T. (2001): A precíziós-helyspecifikus növénytermesztés műszaki és térinformatikai feltételrendszere. *Növénytermelés*. **50**. (4) pp. 419-430.
83. Neményi, M. - Mesterházi, P. Á. - Pecze, Zs. – Stépán, Zs. (2002): The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. **40**. pp. 45-55.
84. Neményi, M. - Mesterházi, P. Á. - Milics, G. (2006): An Application of Tillage Force Mapping as a Cropping Management Tool. *Biosystems Engineering*. **94**. (3) pp. 351-357.
85. Neményi, M. - Milics, G. (2007) Precision agriculture technology and diversity. *Cereal Research Communication*. **35**. pp. 829-832.
86. Németh, T. - Neményi, M. - Harnos, Zs. (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATEPress MTA TAKI 2007. ISBN 978 963 482834 1.

- 
87. Nordmeyer, H. (2006): Teilflächenunkrautbekämpfung im Rahmen des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz. Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz Sonderheft. **20**. pp. 165-172.
88. Norng, S. - Pettitt, A. N. - Kelly, R. M. - Buttler, D. G. - Strong, W. M. (2005): Investigating the Relationship Between Site-specific Yield and Protein of Cereal Crops. Precision Agriculture. **6**. pp. 45-51.
89. Nyíri, L. (1993): Földműveléstan. Mezőgazda kiadó. ISBN 963 7362 49. p. 96.
90. Onwualu, A. P - Watts, K. C. (1998): Draught and vertical forces obtained from dynamic soil cutting by plane tillage tools. Soil and Tillage Research. **48**. pp. 239-253.
91. Or, D. - Wraith, J. M. (1999): Temperature effects on soil bulk electric permittivity measured by time domain reflectometry: a physical model. Water Resources Research. **35**. (2) pp. 371-383.
92. Perfect, E. - McLaughlin, N. B. - Kay, B. D. (1997): Energy requirements for conventional tillage following different crop rotations. Transactions of the ASABE. **40**. (1) pp. 45-49.
93. Radcliffe, D. E. - Tollner, W. W. - Hargrove, W. L. - Clark, R. L. - Golabi, M. H. (1988): Effect of tillage practises on infiltration and soil strength of a typic hapludult soil after ten years. Soil Sci. Soc. Am. J. **52**. pp. 798-804.
94. Rahman, S. - Chen, Y. (2001): Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbanceresulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. Soil and Tillage Research. **58**. pp. 19-29.
95. Rázsó, I. (1958): Mezőgazdasági gépek elmélete. I. kötet. Tankönyvkiadó, Budapest. p. 164.
96. Rajkai, K. (2004): A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest.
97. Reeves, J. B. - McCarthy, G. W. (2001): Quantitative analysis of agricultural soils using near infrared reflectance spectroscopy and a fibre-optic probe. J. Near Infrared Spectrosc. **9**. (1) pp. 25-34.

- 
98. Reisinger, P. - Lehoczky, É. - Kőmíves, T. - Pálmai, O. (2002): Vizsgálatok és megoldások a kukorica precíziós gyomszabályozásában. EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság Konferencia, Debrecen.
99. Reisinger, P. - Kőmíves, T. - Nagy S. (2003): A gyomfelvételezés mintasűrűségére vonatkozó vizsgálatok a precíziós gyomszabályozás tervezéséhez. *Növényvédelem*. **39.** (9) pp. 413-419.
100. Reisinger, P. - Lehoczky, É - Nagy, S. - Kőmíves, T. (2004): Data base precision weed management. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz Sonderheft*. **19.** pp. 467-472.
101. Reisinger, P. - Éles, E. - Ósz, F. (2007): A precíziós gyomszabályozás lehetőségének vizsgálata a *Convolvulus arvensis* L. ellen. MTA IV. Növénytermesztési Tudományos Nap, Mosonmagyaróvár.
102. Reyns, P. - Missotten, B. - Ramon, H. - De Baerdemaeker, J. (2002): A Review of Combine Sensors for Precision Farming. *Precision Agriculture*. **3.** pp. 169–182.
103. Robinson, D. A. - Jones, S. B. - Wraith, J. M. - Or, D. - Friedman, S. P. (2003): A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry. *Vadose Zone Journal*. **2.** pp. 444-475.
104. Saeys, W. - Engelen, K. - Ramon, H. - Anthonis, J. (2008): An automatic depth control system for shallow manure injection, Part 1: Modelling of the depth control system. *Biosystem Engineering*. **98.** pp. 146-154.
105. Sahu, R. K. - Raheman, H. (2006): An approach for draft prediction of combination tillage implements in sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*. **90.** pp. 145-155.
106. Sanchez-Pérez, J. M. - Laurent, J. P. - Bohy, M. - Auzet, A. V. - Thony, J. L. (1999): Assessment of a new method for characterising soil water profile based on the inversion of a single TDR signal. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. ICIA. Tenerife.

- 
- 107.** Sharifi, A. - Godwin, R. J. - O'Dogherty, M. J. - Dresser M. L. (2007): Evaluating the performance of a soil compaction sensor. *Soil Use and Management*. **23**. pp. 171-177.
- 108.** Shepherd, K. D. - Walsh, M. G. (2002): Development of reflectance spectra libraries for characterization of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **66**. (3) pp. 988-998.
- 109.** Shibusawa, S. - Ehara, K. - Okayama, T. - Umeda, H. - Hirako, S. (2005): A real-time multi-spectral soil sensor: predictability of soil moisture and organic matter content in a small field. *Precision Agriculture '05*. Wageningen Academic Publishers. pp. 495-502.
- 110.** Sirjacobs, D. - Hanquet, B. - Lebeau, F. - Destain, M. F. (2002): On-line soil mechanical resistance mapping and correlation with soil physical properties for precision agriculture. *Soil and Tillage Research*. **64**. pp. 231-242.
- 111.** Slaughter, D. C. - Pelletier, M.G. - Upadhaya, S. K. (2001): Sensing soil moisture using NIR spectroscopy. *Appl. Eng. Agric.* **17**. (12) pp. 241-247.
- 112.** Sogaard, H. T. (1998): Automatic control of a finger weeder with respect to the harrowing intensity at varying soil structure. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **70**. pp. 157-163.
- 113.** Sökefeld, M. - Gerhards, M. - Therburg, R. D. - Nabout, A. - Jacobi, R. - Lock, W. - Kühbauch, W. (2002): Multispektrale-Bildanalyse zur Erfassung von Unkraut und Blattkrankheiten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft*. **18**. pp. 437-442.
- 114.** Souto, F. J. - Dafonte, J. - Escariz, M. (2008): Design and air-water calibration of a waveguide connector for TDR measurements of soil electric permittivity in stony soils. *Biosystems Engineering*. **101**. pp. 463-471.
- 115.** Stefanovits, P. (1992): *Talajtan. Mezőgazda kiadó*. p. 137.
- 116.** Stenberg, B. - Nordkvist, E. - Salmonsson, L. (1995): Use of near infrared reflectance spectra of soils for objective selection of samples. *Soil Sci.* **159**. (2) pp. 109-114.
-

- 
- 117.** Stone, M. L. - Benneweis, R. K. - Bergejik, J. (2008): Evolution of Electronics for Mobile Agricultural Equipment. Transactions of the ASABE. **51.** (2). pp. 385-390.
- 118.** Sudduth, K. A. - Chung, S. O. - Drummond, S. T. - Kitchen, N. R. (2006): Relating spatial variations in soil compaction to soil physical properties and crop yield. 8<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, ME. Book of Abstracts. p. 15.
- 119.** Sun, Y. - Ma, D. - Lammers, P. S. - Schmittmann, O. - Rose, M. (2006): On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer. Soil and Tillage Research. **86.** pp. 209-217.
- 120.** Sun, Y. - Lin, J. - Ma, D. - Zeng, Q. - Lammers, P. S. (2007): Measurement of penetration force using a Hall-current-sensor. Soil and Tillage Research. **92.** pp. 264-268.
- 121.** Szendrő, P. (1993): Mezőgazdasági géptan. Mezőgazda kiadó. ISBN 963 8160 83 7. p. 169.
- 122.** Szöllősi, I. (2003): A 3T SYSTEM készülékkel mért penetrációs ellenállás és nedvességtartalom összefüggése vályog fizikai féleségű talajokon. Agrokémia és Talajtan. **52.** pp. 263-274.
- 123.** Tamás, J. - Reisinger, P. (2004): Széles spektrumú kézi kamera alkalmazhatósága a terepi gyomfelvételezés során. Magyar Gyomkutatás és Technológia. **5.** pp. 43-51.
- 124.** Thomsen, A. - Drøsher, P. - Steffensen, F. (2005): Mobile TDR for geo-referenced measurement of soil water content and electrical conductivity. In Stafford J.V. (ed), Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers. pp. 481-486.
- 125.** Topp, G. C. - Davis, J. L. - Annan, A. P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. Water Resource Research. **16.** pp. 574-582.
- 126.** Topp, G. C. - Davis, J. L. (1985): Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): A field evaluation. Soil Soc. Am. J. **49.** pp. 19-24.



- 127.** Trusic, I. - Hunsnjak, S. - Mesic, M. - Zalac, S. (2008): Soil compaction as one of the cause of lower tobacco yields in the republic of Croatia. VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna, Slovakia. Poster.
- 128.** Ujvárosi, M. (1957): Gyomnövények, gyomirtás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 78-80.
- 129.** Van der Linden, S. - Mouazen, A. M. - Anthonis, J. - Ramon, H - Saeys, W. (2008): Infrared laser sensor for depth measurement to improve depth control in intra-row mechanical weeding. Biosystems Engineering. **100**. pp. 309-320.
- 130.** Várallyay, Gy. (2002): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest Kiadó.
- 131.** Várallyay, Gy. (2007): Soil resilience (Is soil a renewable natural resource?). Cereal Research Communications. **35**. (2) pp. 1277-1280.
- 132.** Vaz, C. M. P. - Bassoi, L. H. - Hopmans, J. W. (2001): Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. Soil and Tillage Research. **60**. pp. 35-42.
- 133.** Viscarra, R. A. - Walvoort, D. J. J. - McBratney, A. B. - Janik, L. J. - Skjemstad, J. O. (2006): Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma. **131**. (1-2) pp. 59-75.
- 134.** Walker, J. pp. - Willgoose, J. D. - Kalma J. D. (2004): In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. Journal of Hidrology. **293**. pp. 85-99.
- 135.** Walvoort, D. J. J. - McBratney, A. B. (2001): Diffuse reflectance spectrometry as a proximal sensing tool for precision agriculture. Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture and Food Industries. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA. pp. 145-169.

- 
- 136.** Watts, C. W. - Clark, L. J. - Poulton, P. R. - Powlson, D. S. - Whitmore, A. P. (2006): The role of clay, organic carbon and long-term management on mouldboard plough draught measured on the Broadbalk wheat experiment at Rothamsted. *Soil Use and Managemt.* **22.** pp. 334-341.
- 137.** Weatherly, E. T. - Bowers, C. G. (1997): Automatic depth control of a seed planter based on soil drying front sensing. *Transaction of the ASAE.* **40.** pp. 295–305.
- 138.** Whalley, W. R. - Watts, C. W - Gregory, A. S. - Mooney, S. J. - Clark, L. J. - Whitmore, A. P. (2008): The effect of soil strength on the yield of wheat. *Plant Soil.* DOI 10.1007/s11104-008-9577-5.
- 139.** Wheeler, P. N. - Godwin, R. J. (1996): Soil Dynamics of Single and Multiple Tines at Speeds up to 20 km/h. *J.of Agric. Engng Res.* **63.** pp. 243-250.
- 140.** Wright, S. L. - Hood, C. F. (1998): Near infrared spectrometer used in combination with a combine for real time grain analysis. USA Patent no. 5.751.421.
- 141.** Yule, I. J. - Kohen, G. - Nowak, M. (1999): A tractor performance monitor with DGPS capability. *Computers and Electronics in Agriculture.* **23.** pp. 155 -174.
- 142.** Zoerb, G. C. - Moore, G. A. - Burrow, R. pp. (1993): Continuous measurement of grain moisture content during harvest. *Transaction of the ASAE.* **36.** pp. 5-9.
- 143.** URL<sup>1</sup> <http://www.otk.hu/cd03/1szek/Pasztor-Szabó.htm>
- 144.** URL<sup>2</sup> <http://www.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Images/normal/p1.50-1.jpg>
- 145.** URL<sup>3</sup> <http://www.ictinternational.com.au/cp40ii.htm>
- 146.** URL<sup>4</sup> <http://www.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Files/AP-0615e Penetrologger.pdf>
- 147.** URL<sup>5</sup> <http://www.airtractor.com/fastprotection>
-

**148.** URL<sup>6</sup> <http://www.krmicros.com/Development/ZeusPro/ZeusPro.htm>

**149.** URL<sup>7</sup> <http://nmea.org>

**150.** URL<sup>8</sup> [http://physics2.kee.hu/\\_Mertech/mer\\_2.pdf](http://physics2.kee.hu/_Mertech/mer_2.pdf)

**151.** URL<sup>9</sup> [ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing//uk/leaflets/cs616\\_jul08.pdf](ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing//uk/leaflets/cs616_jul08.pdf)

**MELLÉKLETEK**

---

**I. A vontatási ellenállást rögzítő program Zeus nyelvben**

```
func main()

Main_DisplayForm()
Main_CheckButtons()

Console(1)

dim x as integer
dim y as integer
dim tstr as string
dim tsts as string
const Channel1 1
const Channel2 2
const Channel3 3

CreateForm()

loop:

FileWrite(2,tstr)
FileWrite(2,y)
Pause(897)

    if FormButton(Main_Quit,0) > 0 then
End
    endif

    if FormButton(Main_Stop,0) > 0 then
FormLabel(12,-1,-1,-1,-1,"Stopped")
ComClose(2)
FileClose(2)

    endif

    if FormButton(Main_Start,0) > 0 then
FormFont("-",12,1)
FormTextColor(255,0,0)
FormLabel(12,80,205,90,23,"Runnig...")
FileOpen(2,"log.txt",Append)
```

---

```

ComOpen(Channel1,baud=19200,port=6)
ComOpen(Channel3,baud=115200,port=4)
endif

    if ComOpen(Channel3,baud=115200,port=4) > 0 then
ComOutput(3,"a0")
Pause(20)
x = ComBuff(Channel3)
tsts = ComInput(Channel3)
x = val("&h"+tsts)
y = 125113-(34*x)
FormLabel(11,-1,-1,-1,-1,y)
endif

tstr = ComInput(Channel1)
GPSload(tstr)
tsts = ComInput(Channel3)

.....
FormTextColor(0,0,0)
FormFont("-",8,1)
FormLabel(2,18,10,84,20,"Latitude:")
FormLabel(3,19,30,90,20,"Longitude:")

FormTextColor(0,255,0)
FormLabel(7,118,10,100,20,GPSlatitude()+" "+GPSlatitudehem())
FormLabel(8,114,30,100,20,GPSlongitude()+" "+GPSlongitudehem())
FormLabel(9,8,241,225,20,GPSdate()+" "+GPStime())

goto loop
endfunc

func CreateForm()

FormFont("-",12,1)
FormLabel(10,10,176,160,20,"Soil draft [N]:")
FormTextColor(0,200,0)
FormSettings(AlignCenter)
FormLabel(11,166,176,65,40,"")

endfunc

```

---

```
'-----  
<FormBuilderStart(Main)>  
'-----  
func Main_DisplayForm(FormSizeX as integer,FormSizeY as integer)  
  
    Form Generated by Zeus FormBuilder  
  
    if getargs() = 0 then  
        FormRes(240,268)  
        FormSizeX=240  
        FormSizeY=268  
    else  
        FormRes(FormSizeX,FormSizeY)  
    endif  
    FormNew()  
    FormBGColor(33,82,182)  
    FormCLS()  
  
'--- Pen ---  
  
FormPen(0,0,0)  
    FormLine(15,50,225,50)  
        gconst Main_HLine0X 15  
        gconst Main_HLine0Y 50  
        gconst Main_HLine0W 225  
        gconst Main_HLine0H 50  
        gconst Main_HLine0FCR 0  
        gconst Main_HLine0FCG 0  
        gconst Main_HLine0FCB 0  
    FormLine(15,6,225,6)  
        gconst Main_HLine1X 15  
        gconst Main_HLine1Y 6  
        gconst Main_HLine1W 225  
        gconst Main_HLine1H 6  
        gconst Main_HLine1FCR 0  
        gconst Main_HLine1FCG 0  
        gconst Main_HLine1FCB 0  
'--- Buttons ---  
    gconst Main_Stop 0  
    gconst Main_Quit 1  
    gconst Main_Start 2
```

```
FormTextColor(0,0,0)
FormBGColor(0,200,0)
FormFont("-",9,1)
FormButton(Main_Stop,86,96,60,20,"Stop")
FormButton(Main_Quit,86,126,60,20,"Quit")
FormButton(Main_Start,86,66,60,20,"Start")
```

```
FormBGColor(33,82,182)
```

```
endfunc
```

```
func Main_CheckButtons() as integer
  dim tret as integer
  tret=-1

  if FormAllButtons() = 1 then

    '----- Stop Handler -----
    if FormButton(Main_Stop,0) > 0 then
      tret = Main_Stop
    endif

    '----- Quit Handler -----
    if FormButton(Main_Quit,0) > 0 then
      tret = Main_Quit
    endif

    '----- Start Handler -----
    if FormButton(Main_Start,0) > 0 then
      tret = Main_Start
    endif

  endif
  exit(tret)

endfunc
```



## II. 2007-ben vett talajminták kiértékelése

Bemért föld [g]	$\theta_g$	Víz [g]	Száraz föld [g]	Száraz föld térfogata [cm <sup>3</sup> ]	$\rho_{\text{bulk}}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\theta_v$ ref. [%]	$\theta_v$ TDR [%]
789.43	28.0	221.04	568.39	678.96	0.84	23.44	6.03
851.54	28.0	238.43	613.11	661.57	0.93	25.95	7.31
935.75	28.0	262.01	673.74	637.99	1.06	29.57	10.99
1017.00	28.0	284.76	732.24	615.24	1.19	33.32	13.00
804.30	25.0	201.08	603.23	698.93	0.86	21.58	5.63
841.80	25.0	210.45	631.35	689.55	0.92	22.89	5.93
919.80	25.0	229.95	689.85	670.05	1.03	25.74	7.51
988.40	25.0	247.10	741.30	652.90	1.14	28.38	9.06
859.28	24.0	206.23	653.05	693.77	0.94	22.59	3.78
923.05	24.0	221.53	701.52	678.47	1.03	24.82	5.88
983.58	24.0	236.06	747.52	663.94	1.13	27.02	8.56
1039.84	24.0	249.56	790.28	650.44	1.21	29.16	10.03
832.77	24.0	199.86	632.91	700.14	0.90	21.70	5.93
904.19	24.0	217.01	687.18	682.99	1.01	24.15	6.77
976.32	24.0	234.32	742.00	665.68	1.11	26.75	9.02
1034.18	24.0	248.20	785.98	651.80	1.21	28.94	11.47
895.91	23.0	206.06	689.85	693.94	0.99	22.86	5.81
960.66	23.0	220.95	739.71	679.05	1.09	25.05	7.31
1010.52	23.0	232.42	778.10	667.58	1.17	26.81	8.70
1074.38	23.0	247.11	827.27	652.89	1.27	29.14	10.46
860.16	23.0	197.84	662.32	702.16	0.94	21.70	5.55
924.29	23.0	212.59	711.70	687.41	1.04	23.81	7.67
1013.68	23.0	233.15	780.53	666.85	1.17	26.92	9.36
1058.39	23.0	243.43	814.96	656.57	1.24	28.55	10.66
843.58	26.0	219.33	624.25	680.67	0.92	23.84	6.47
890.81	26.0	231.61	659.20	668.39	0.99	25.64	7.17
956.84	26.0	248.78	708.06	651.22	1.09	28.27	8.78
861.80	25.0	215.45	646.35	684.55	0.94	23.60	7.34
925.40	25.0	231.35	694.05	668.65	1.04	25.95	8.43
991.80	25.0	247.95	743.85	652.05	1.14	28.52	10.56
1055.00	25.0	263.75	791.25	636.25	1.24	31.09	11.80
896.09	28.0	250.91	645.18	649.09	0.99	27.83	5.55
981.93	28.0	274.94	706.99	625.06	1.13	31.67	7.45
1039.88	28.0	291.17	748.71	608.83	1.23	34.43	9.64
1087.42	28.0	304.48	782.94	595.52	1.31	36.81	11.55
819.30	25.0	204.83	614.48	695.18	0.88	22.10	5.76
897.54	25.0	224.39	673.16	675.62	1.00	24.91	7.76
961.19	25.0	240.30	720.89	659.70	1.09	27.32	9.24
1037.03	25.0	259.26	777.77	640.74	1.21	30.35	11.16

## III. 2008-ban vett talajminták kiértékelése

Bemért föld [g]	$\theta_g$	Víz [g]	Száraz föld [g]	Száraz föld térfogata [cm <sup>3</sup> ]	$\rho_{\text{bulk}}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\theta_v$ ref. [%]	$\theta_v$ TDR [%]
899.61	21.00	188.92	710.69	711.08	1.00	20.99	5.89
951.08	21.00	199.73	751.35	700.27	1.07	22.53	6.59
988.79	21.00	207.65	781.14	692.35	1.13	23.69	7.42
1028.03	21.00	215.89	812.14	684.11	1.19	24.93	8.64
1066.20	21.00	223.90	842.30	676.10	1.25	26.16	9.56
919.92	22.00	202.38	717.54	697.62	1.03	22.63	5.93
983.05	22.00	216.27	766.78	683.73	1.12	24.67	7.07
1025.22	22.00	225.55	799.67	674.45	1.19	26.08	8.80
1070.62	22.00	235.54	835.08	664.46	1.26	27.65	10.43
1099.26	22.00	241.84	857.42	658.16	1.30	28.66	10.46
839.85	26.00	218.36	621.49	681.64	0.91	23.71	7.84
913.19	26.00	237.43	675.76	662.57	1.02	26.52	8.34
957.97	26.00	249.07	708.90	650.93	1.09	28.32	10.36
987.87	26.00	256.85	731.02	643.15	1.14	29.55	12.56
1070.24	26.00	278.26	791.98	621.74	1.27	33.12	12.84
961.02	22.00	211.42	749.60	688.58	1.09	23.95	7.57
1037.88	22.00	228.33	809.55	671.67	1.21	26.52	8.65
1078.27	22.00	237.22	841.05	662.78	1.27	27.92	9.81
1124.00	22.00	247.28	876.72	652.72	1.34	29.55	11.33
1152.82	22.00	253.62	899.20	646.38	1.39	30.60	13.00
849.78	23.00	195.45	654.33	704.55	0.93	21.36	6.03
942.13	23.00	216.69	725.44	683.31	1.06	24.42	7.43
999.60	23.00	229.91	769.69	670.09	1.15	26.42	9.42
1053.90	23.00	242.40	811.50	657.60	1.23	28.38	11.29
1081.40	23.00	248.72	832.68	651.28	1.28	29.41	11.09
950.49	22.00	209.11	741.38	690.89	1.07	23.61	7.04
1027.19	22.00	225.98	801.21	674.02	1.19	26.15	8.55
1074.08	22.00	236.30	837.78	663.70	1.26	27.77	9.27
1111.45	22.00	244.52	866.93	655.48	1.32	29.10	12.82
1143.84	22.00	251.64	892.20	648.36	1.38	30.27	11.61
895.89	23.00	206.05	689.84	693.95	0.99	22.86	8.12
971.41	23.00	223.42	747.99	676.58	1.11	25.43	8.78
1030.23	23.00	236.95	793.28	663.05	1.20	27.52	10.06
1064.00	23.00	244.72	819.28	655.28	1.25	28.76	9.54
1086.50	23.00	249.90	836.61	650.11	1.29	29.60	10.31
839.49	24.00	201.48	638.01	698.52	0.91	21.92	4.97
920.87	24.00	221.01	699.86	678.99	1.03	24.74	7.64
977.52	24.00	234.60	742.92	665.40	1.12	26.80	9.55
1019.15	24.00	244.60	774.55	655.40	1.18	28.36	10.58
1048.80	24.00	251.71	797.09	648.29	1.23	29.51	10.87

---

#### IV. A CR10x adatnaplózón futó program

```

;{CR10X}
;

```

```

*Table 1 Program

```

```

01: 1      Execution Interval (seconds)

```

```

1: Do (P86)

```

```

1: 41      Set Port 1 High

```

```

2: Period Average (SE) (P27)

```

```

1: 1      Reps

```

```

2: 4      200 kHz Max Freq @ 2 V Peak to Peak, Period Output

```

```

3: 1      SE Channel

```

```

4: 100    No. of Cycles

```

```

5: 1      Timeout (0.01 sec units)

```

```

6: 1      Loc [ period ]

```

```

7: 1.0    Mult

```

```

8: 0.0    Offset

```

```

3: Polynomial (P55)

```

```

1: 1      Reps

```

```

2: 1      X Loc [ period ]

```

```

3: 2      F(X) Loc [ vwc ]

```

```

4: -0.0663 C0

```

```

5: -0.00663 C1

```

```

6: 0.0007 C2

```

```

7: 0.0    C3

```

```

8: 0.0    C4

```

```

9: 0.0    C5

```

```

4: Z=X*F (P37)

```

```

1: 1      X Loc [ period ]

```

```

2: 100    F

```

```

3: 2      Z Loc [ vwc ]

```

```

5: Do (P86)

```

```

1: 51      Set Port 1 Low

```

## 6: Port Serial I/O (P15)

1: 1 Reps  
2: 1 8-Bit, RS-232 ASCII, 1200 Baud  
3: 1 Delay (0.01 sec units) before TX  
4: 10 C1 TX/RX, No RTS/DTR (OS>1.14)  
5: 1 Start Loc for TX [ period ]  
6: 1 -- Number of Locs to TX  
7: 256 Termination Character for RX  
8: 0 Max Characters to RX  
9: 1 Time Out for CTS (TX) and/or RX (0.01 sec units)  
10: 5 Start Loc for RX [ Input ]  
11: 1.0 Multiplier for RX  
12: 0.0 Offset for RX

## 7: If time is (P92)

1: 0 -- Minutes (Seconds --) into a  
2: 10 Interval (same units as above)  
3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

## 8: Real Time (P77)^29168

1: 1220 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

## \*Table 2 Program

02: 0.0000 Execution Interval (seconds)

## \*Table 3 Subroutines

End Program

---

**V. A talajnedvességet rögzítő program Zeus nyelvben**

```
func main()

Main_DisplayForm()
Main_CheckButtons()

    dim x as single
    dim y as single
    dim tstr as string
    dim tsts as string
    dim tsss as string
    const Channel1 1
    const Channel2 2
    const Channel3 3

FileOpen(1,"log_nedvesseg.txt",Create)

CreateForm()

loop:

if FormButton(Main_exit,0) > 0 then
End
endif

if FormButton(Main_record,0) > 0 then
FileWrite(1,tstr)
FileWrite(1,tsss)
endif

ComOpen(Channel2,baud=1200,port=4)

x = ComBuff(Channel2)

if x > 0 then

tstr = ComInput(Channel2)
tsts = mid(tstr,3,6)

FormLabel(2,-1,-1,-1,-1,tsts)
```

```
Pause(500)
endif

ComOpen(Channel3,baud=9600,port=7)

tsss = ComInput(Channel3)
GPSload(tsss)

FormFont("-",8,1)
FormTextColor(255,255,255)
FormLabel(5,118,10,100,20,GPSlatitude()+" "+GPSlatitudehem())
FormLabel(6,114,30,100,20,GPSlongitude()+" "+GPSlongitudehem())
FormLabel(7,30,241,225,20,GPSdate()+" "+GPStime())

goto loop

endfunc

func CreateForm()

FormTextColor(0,0,0)
FormFont("-",8,1)
FormLabel(3,18,10,84,20,"Latitude:")
FormLabel(4,19,30,90,20,"Longitude:")

FormFont("-",12,1)
FormLabel(1,55,60,160,20,"Soil moisture")
FormTextColor(0,0,0)
FormFont("-",18,1)
FormLabel(2,80,90,80,43,"")

endfunc

'-----
'<FormBuilderStart(Main)>
'-----
func Main_DisplayForm(FormSizeX as integer,FormSizeY as integer)

    Form Generated by Zeus FormBuilder

    if getargs() = 0 then
```

```
FormRes(240,268)
FormSizeX=240
FormSizeY=268
else
FormRes(FormSizeX,FormSizeY)
endif
FormNew()
FormBGColor(128,128,0)
FormCLS()

'--- Pen ---
FormPen(0,0,0)
FormLine(15,50,225,50)
gconst Main_HLine0X 15
gconst Main_HLine0Y 50
gconst Main_HLine0W 225
gconst Main_HLine0H 50
gconst Main_HLine0FCR 0
gconst Main_HLine0FCG 0
gconst Main_HLine0FCB 0
FormLine(15,6,225,6)
gconst Main_HLine1X 15
gconst Main_HLine1Y 6
gconst Main_HLine1W 225
gconst Main_HLine1H 6
gconst Main_HLine1FCR 0
gconst Main_HLine1FCG 0
gconst Main_HLine1FCB 0

'--- Buttons ---
gconst Main_record 0
gconst Main_exit 1

FormTextColor(0,0,0)
FormBGColor(255,255,255)
FormFont("-",12,1)
FormButton(Main_record,71,135,97,52,"RECORD")
FormFont("-",10,1)
FormButton(Main_exit,85,207,70,19,"Quit")
```

```
FormBGColor(128,128,0)

endfunc

func Main_CheckButtons() as integer
    dim tret as integer
    tret=-1

    if FormAllButtons() = 1 then

        '----- record Handler -----
        if FormButton(Main_record,0) > 0 then
            tret = Main_record
        endif

        '----- exit Handler -----
        if FormButton(Main_exit,0) > 0 then
            tret = Main_exit
        endif

    endif

    exit(tret)

endfunc
```



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik segítségükkel, és szakmai tanácsaikkal hozzájárultak ahhoz, hogy ez a dolgozat elkészülhessen.

Elsősorban köszönettel tartozom témavezetőimnek, Prof. Dr. Neményi Miklósnak és Dr. Kovács Attila Józsefnek tanácsaikért és szakmai támogatásukért.

Külön köszönet opponenseimnek, Prof. Dr. Horváth Bélának, Prof. Dr. Csizmazia Zoltánnak és Dr. Nagy Sándornak, valamint Prof. Dr. Szűcs Mihálynak, azért hogy a dolgozat jobbá tételéhez mindenre kiterjedő javaslataikkal, tanácsaikkal, értékes bírálatukkal hozzájárultak.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Reisinger Péternek és Dr. Mesterházi Péter Ákosnak, hogy a precíziós növényvédelmi kutatások során biztosították a vizsgálatokhoz szükséges feltételeket, és szakmai javaslataikkal támogattak.

Ugyancsak kifejezem köszönetemet a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének dolgozóinak, hogy munkám során mindig készségesen segítettek. Külön köszönöm Ásványi Lászlónak és Stépán Zsoltnak, hogy a kísérletek elvégzéséhez szükséges műszaki háttérrel biztosították, és tanácsaikkal, ötleteikkel támogatták munkámat.