

SZAKDOLGOZAT

Radics Tamás

2024.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Környezettudományi Intézet

**Precíziós mezőgazdasági szakmérnök szakirányú
továbbképzési szak**

TALAJSZKENNER ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

Belső konzulens:	Dr. Szegi Tamás Egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Környezettudományi Intézet Talajtani Tanszék
Külső konzulens:	Dr. Láng Vince ügyvezető
Készítette:	Radics Tamás

Gödöllő

2024.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	4.
2. Szakirodalmi áttekintés	5.
2.1. Precíziós gazdálkodás	5.
2.2. Talaj és osztályozási rendszerek	6.
2.3. Zónalehatárolási módszerek	9.
2.3.1. <i>Talajvizsgáló szenzorok</i>	10.
2.3.1.1. <i>Soil Optics sensor működése</i>	11.
2.4. Változó dózisu kijuttatás	12.
3. Anyag és módszer	14.
3.1. Kistáj bemutatása	14.
3.1.1. <i>Területi elhelyezkedése</i>	14.
3.1.2. <i>Domborzati adatok</i>	14.
3.1.3. <i>Éghajlat</i>	15.
3.2. Gazdaság bemutatása	17.
3.3. Tábla bemutatása	18.
3.4. Mintavételi/felmérési módszerek	19.
3.4.1. <i>Talaj szkennelés</i>	19.
3.4.2. <i>Talajmintavétel és laboratóriumi mérések</i>	20.
3.4.3. <i>Statisztikai módszerek</i>	21.
4. Eredmények és értékelésük	22.
4.1. A feltárt szelvények bemutatása	22.
4.1.1. <i>– 1. talajszelvény</i>	22.
4.1.2. <i>– 2.- talajszelvény</i>	24.
4.1.3. <i>– 3. talajszelvény</i>	26.
4.1.4. <i>– 4. talajszelvény</i>	28.
4.1.5. <i>– 5. talajszelvény</i>	30.
4.2. A talajszkennelés és grid mintavétel statisztikai összehasonlítása	32.
4.2.1. <i>Szerves-anyag tartalom értékeinek vizsgálata</i>	33.
4.2.2. <i>pH értékek vizsgálata</i>	35.
4.2.3. <i>P₂O₅ értékek vizsgálata</i>	37.

<i>4.2.4. K₂O értékek vizsgálata</i>	39.
<i>4.2.5. MgO értékek vizsgálata</i>	41.
<i>4.2.6. Na értékek vizsgálata</i>	43.
<i>4.2.7. S értékek vizsgálata</i>	45.
5. Következtetések javaslatok	47.
6. Összefoglalás	50.
Irodalmi jegyzék	52.
Ábrák jegyzéke	57.
Táblázatok jegyzéke	58.

1. Bevezetés és célkitűzések

Dolgozatom témaválasztását az indokolta, hogy a kísérleti eredményekből választ kaphassak arra, hogy egy gyors, sok mérési ponttal rendelkező talaj szkennelési-, mintavételezési módszer hiteles képet ad-e a gazdálkodásunkba vont területről, a hagyományosnak tekinthető mintavételezéshez, és laboratóriumi kiértékeléshez képest.

Az biztos, hogy a jelen mezőgazdaságában a minél gyorsabb, minél több adat a gazdálkodást segíti. Feltéve hogy élünk is a lehetőséggel. A talajszkennelés erre egy kiváló módszer lehet, főleg azért, mert a terület összességét lefedő, nagy mintahalmazzal dolgozik, ami egy sokkal kiegyenlítettebb képet adhat a területről.

A hagyományosnak tekinthető mintavételezési módszerek, sem hagyományosak már. A mintahelyek meghatározása műholdfelvételek, hozamtérképek, növényi állományfelvételek elemzése, magassági térképek alapján stb. történnek. Ha a kötelező öt évente, 5 hektáronként egy minta sűrűséget besűrítjük, akár a térben, akár az időben akkor egy komplexebb képet kaphatunk üzemünk tápanyag gazdálkodásával kapcsolatban. Fontos kiemelni, hogy az adott mintavételi ponthoz rendelt laboratóriumi minta, illetve annak eredménye egzakt. Ha a mintavételezés mellett még talajszelvények elemzését is elvégezzük, képet kapunk a talajszerkezet kialakulásáról, állapotáról, gazdálkodásunk, talajművelésünk helyességéről.

Ezen két adatszolgáltatási módszert szerettem volna összehasonlítani, hogy objektív választ kaphassak arra, hogy a célkitűzésként meghatározott legmagasabb hozamot, és a lehető legkiválóbb minőséget érhessem el a gazdaságunkban, miközben megőrizzük a talajok termékenységét és tápanyag szolgáltató képességét.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Precíziós gazdálkodás

A precíziós gazdálkodás célja a természeti, emberi és mechanikai erőforrások potenciáljának maximalizálása az agroökoszisztéma minimális károsítása mellett. A precíziós gazdálkodás alkalmazásával - különösen napjainkban, amikor a peszticidek, gyomirtó szerek és vetőmagok ára folyamatos emelkedő tendenciát mutat -, segíteni lehet a gazdálkodókat azáltal, hogy a különböző dózisu kijuttatásoknak köszönhetően kevesebb inputanyagot juttatnak ki a szántóföldjeikre, ezáltal pedig nagyobb profitra tehetnek szert. A mezőgazdasági termelők teljes vertikumának a világ népességének robbanásszerű növekedésével és a bizonytalan világpiaci helyzettel kell szembenéznie. Éppen ezért a precíziós gazdálkodási technikák gyakorlatba történő integrálása lehet az egyik módja e problémák megoldásának (ZHANG ÉS MTSAI 2002).

Zhang et al. (2002) és Hakkim et al. (2016) szerint a precíziós mezőgazdaság biztosíthatja az egész világ számára szükséges élelmiszerellátást, ugyanis egyre nagyobb az igény a jobb minőségű élelmiszerekre, amelyeket eddig fenntarthatatlan mezőgazdasági gyakorlatokkal állítanak elő. További problémát jelent az éghajlatváltozás és a városok növekedése, amelyek felgyorsítják a rendelkezésre álló szántóterületek csökkenését, emellett pedig a termelékenység visszaesését eredményezik (GEBBERS ÉS MTSAI 2010, SHARMA ÉS MTSAI 2021).

A precíziós gazdálkodás számos forrásból érkező adatot használ fel a terméshozamok növelése, valamint a növénytermesztési stratégiák (műtrágya és növényvédő szer felhasználás, öntözés) költségeinek csökkentése érdekében. Napjainkban már drónokkal, műholdakkal mezőgazdasági gépekre szerelt szenzorokkal figyelik folyamatosan a szántókat, valamint a gyümölcsösöket (VRCJOTA ÉS MTSAI 2022). Azáltal, hogy a gazdálkodók helyspecifikus kijuttatást végezhetnek és hatékonyabban használhatják fel a rendelkezésre álló erőforrásokat, nő a termelés volumene, javul a gazdasági hatékonyság, valamint minimálisra csökkenthetők a környezetre gyakorolt káros hatások (PERAKIS ÉS MTSAI 2020).

Európában a műtrágyaszórókat és permetezőket vontató járművek 70%-a precíziós eszközökkel ellátottak, továbbá intelligens vagy ISOBUS-kompatibilis rendszerekkel vannak felszerelve (ARMAGAN ÉS MTSAI 2016.). Ennek ellenére a precíziós gazdálkodás kínálta megoldások széles skálája ellenére, az Európai Unióban csak a gazdaságok mindössze 25%-a használ precíziós technológiákat (ERPS, 2016). A precíziós technológiákat először alkalmazók körében azonban általánosan elmondható, hogy a gazdák birtokában lévő kevés adat miatt,

szinte minden esetben a talajok vizsgálata jelenti az első lépést, mivel a különböző talajtípusok, talajtulajdonságok alapján határoznak meg egy-egy talajmintavételezési stratégiát vagy éppen a zónákra kijuttatandó műtrágya, illetve vetőmag mennyiségét.

2.2. Talaj és osztályozási rendszerek

A talaj egy háromfázisú polidiszperz rendszer, amely magába foglalja még a mikroszkopikustól a makroszkopikus méretig terjedő élő szervezeteket (LIN, 2012a). A talaj szerkezete nagymértékben befolyásolja a víz és tápanyagok szállítását, valamint hatással van a növények növekedésére és a végső terméshozam mennyiségére, ezért nagy értéket képvisel a művelt földterületek minőségének meghatározásakor (MA ÉS MTSAI 2017).

A talajban történő vízmozgások vizsgálatához és modellezéséhez egydimenziós (1D) (JURY ÉS MTSAI 2004, LIN ÉS MTSAI 2012b), és háromdimenziós (3D) modellekre lenne szükség, amelyek segítségével sokkal jobban előrejelezhető a talajokban történő vízeloszlások és vízmozgások folyamata (CARTWRIGHT ÉS MTSAI 2006, FAN ÉS MTSAI 2020, REZAEI ÉS MTSAI 2017). Továbbá a talaj architektúrájának ismeretében fontos információk nyerhetők ki a termőföldek víz- és tápanyaggazdálkodásáról, sótartalmáról, illetve a vízben lévő szennyeződésekről (OR ÉS MTSAI 2021, ŠIMUNEK ÉS MTSAI 2016, ZHU ÉS MTSAI 2012).

A talaj szerkezetének térbeli változékonysága általában nem olyan nagy, mint a talaj egyéb tulajdonságainak (pl. textúra vagy tápanyagok) változatossága, azonban regionális vagy táblaszintű léptékekben semmiképpen sem elhanyagolható. A talajok szerkezetének térképezése méretektől függően különböző módszereket alkalmaznak. A nagyléptékű térképek készítéséhez a hagyományos, destruktív mintavételi módszereket - talajfúrás vagy talajszelvények ásása - használnak. Az adatok begyűjtését követően egy durvább leképezésű térkép készíthető a hagyományos háromdimenziós interpolációs módszerekkel (pl. kriging vagy az inverz-távolság súlyozási interpoláció) (ARROUAYS ÉS MTSAI 2021, LIN 2012a).

Az elkészült térképek minőségének javítása érdekében különböző adatfúziós módszereket is használnak, amely során műholdas adatokat vagy egyéb változókat vonnak be a pontosabb eredmények elérése érdekében (KURIAKOSE ÉS MTSAI 2009, WANG ÉS MTSAI 2021). Mindezek ellenére az előzőekben taglalt módszerek nem hasonlíthatók össze a szántóföldön történő precíziós térképezéssel. Ugyanis rendelkezésre áll számos kíméletesebb geofizikai térképészeti eszköz, mint például az elektromos ellenállás tomográfia (ERT), az elektromágneses indukció (EM) vagy a talajradar (GPR), amelyek óriási fejlődésen mentek

keresztül az elmúlt évtizedekben, valamint teljesen új lehetőségeket kínálnak a szántóföldek talajainak precíziós térképezésére (BHARTI ÉS MTSAI 2016, TURNER ÉS MTSAI 2018).

Az elektromágneses indukció a talaj elektromos vezetőképességét meglehetősen gyorsan mérí és széles körben alkalmazzák a talaj bizonyos tulajdonságainak, például só-, víz- vagy agyagtartalmának térbeli változékonyságának feltérképezésére a szántóföldektől kiindulva a különböző vízgyűjtő területeken át (TRANTAFILIS ÉS MTSAI 2005, YAO ÉS MTSAI 2010). Az elektromágneses indukciós eljárást a közelmúltban a digitális talajtérképezés javításánál (ZHU ÉS MTSAI 2010), a túltrágyázott területek és a hozamokat korlátozó talajtulajdonságok (DANG ÉS MTSAI 2011, WOODBERY ÉS MTSAI 2009), valamint a tápanyag-felhalmozódás vizsgálatánál is sikeresen alkalmazták (CORDEIRO ÉS MTSAI 2011).

A menedzsment zónák kialakításának másik ígéretes eszközét a talajradar (GPR) jelentheti, amely a talaj dielektromos tulajdonságait mérí nagyfrekvenciás elektromágneses hullámok segítségével. A közelmúltban felszíni talajradaros méréseket végeztek nagy térbeli felbontással a talaj víztartalmának (HUISMAN ÉS MTSAI 2003, LUNT ÉS MTSAI 2005), a felszín alatti áramlási útvonalak (GISH ÉS MTSAI 2002) és a talaj mélységének meghatározásához (SUCRE ÉS MTSAI 2010).

Azonban a felvételezési módszerek meghatározását több tényező is befolyásolja. A hagyományos felméréseknél párhuzamos vonalakat alkalmaznak a teljes terület lefedésére. A sortávolságot általában szubjektíven, a térbeli változékonyság függvényében határozzák meg. Mezőgazdasági területeken az elektromos vezetőképesség-mérés 5 méteres távolságok kihagyásával is jól működik a talaj sótartalmának feltérképezéséhez (CORWIN ÉS MTSAI 2003). A nagy térbeli variabilitású talajok GPR-rel történő feltérképezése sokkal sűrűbb felvételezési vonalakkal kell megvalósítani (PAN ÉS MTSAI 2012). Ebből adódóan meglehetősen időigényes, de pontosabb eredmény kapható kisebb távolságok használatával.

Az imént bemutatott technikai és technológiai fejlődésnek is köszönhetően folyamatos emelkedő tendencia figyelhető meg a talajok vizsgálatát végző szenzorok kínálatában. Ennek következményeként hatalmas mennyiségű információ nyerhető ki egy-egy szántóföldi terület talajáról, amely magával hozta az idejétmúlt talajosztályozási rendszerek megreformálását is. Nemzetközileg elfogadott diagnosztikai szemléleten alapul a Taxonomy (Soil survey Tax, 1999) vagy a World Reference Base for Soil Resources (IUSS working group WRB, 2015) rendszer.

Magyarországon a genetikai és talajföldrajzi osztályozási rendszerben a talajtípusok képezik az osztályozás egységeit, amelyek különböző főtípusokba egyesülnek (STEFANOVICS 1963, 1972, 1999). Az elmúlt évtizedekben ez a genetikai rendszer nagyban segítette a mezőgazdasági termelést, azonban sok szubjektív elemet tartalmaz, amely miatt napjainkban már ezzel a megközelítéssel nehéz a talajokat elnevezni, elkülöníteni és a nemzetközi meghatározásokkal összevetni (MICHÉLI ÉS MTSAI 2006).

Az előzőekben taglaltak alapján, mindenképpen érdemes hazánkban is egy új osztályozási rendszert kialakítani, amely már megfelel a modern kor követelményeinek, általa pedig a magyarországi talajok is összehasonlíthatóvá válnak a nemzetközileg alkalmazott rendszerekkel. A megreformált rendszer a rokonságfokok pedometriai vizsgálatát (LÁNG ÉS MTSAI 2013, MICHÉLI ÉS MTSAI 2014) a Talajvédelmi és Információs Monitoring Rendszer (TIM) adatbázisát (VÁRALLYAY ÉS MTSAI 2010), valamint a terepi és laboratóriumi vizsgálati adatokat is magába foglalják, míg nemzetközi összehasonlíthatóság alapját a FAO útmutató a talajok leírásához című kiadvány (FAO, 2006) és a Világ Talaj Referencia Bázis (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) kiadvány szolgáltatta.

Mindezek figyelembevételével a megújított talajosztályozási rendszert 15 különböző talajtípusra (láptalajok, antropogén talajok, köves sziklás váztalaj, közethatású talajok, szolonyec talajok, mezőségi talajok, karbonát talajok, réti talajok, duzzadó agyagtalajok, szoloncsák talajok, agyagbemosódásos talajok, homok talajok, barnaföldek, hordalék talajok, földeskopár) osztották fel, amelyekkel szemben szigorúbb követelményeket határoztak meg az egymástól való könnyebb elkülönítés érdekében, továbbá egy határozókulcs alapján történik a talajok besorolása, amivel elkerülhetővé válik a szubjektív döntéshozatal. A talajszintek, tulajdonságok és anyagok összességéből alakították ki az egységesen meghatározott diagnosztikai kategóriákat (MICHÉLI ÉS MTSAI 2018).

További osztályozási egységnek tekinthetők az altípusok (pl. erősen/közepesen/gyengén karbonátos, glejes/pangóvízes, szennyezett stb.) amely egy meghatározott talajtípusra jellemző tulajdonságokat foglal magába, és a változati tulajdonságok (pl. szántott/rigolozott, eltemetett/többrétegű, lejtőhordalékos, öntés stb.), amelybe többek között a textúrák, a talajhibák, valamint az antropogén hatások is beletartoznak. Ezen módosítások végrehajtásával remélhetőleg könnyebbé és kevésbé szubjektívvá válik majd a talajok osztályozása, illetve számos területen nyújthat segítséget a jövőben, akár a precízebb gazdálkodás, a különböző talajmodellek kialakításában vagy a talaj minőségének becslésében, nem utolsósorban pedig a nemzetközi rendszerekhez való megfelelésében (MICHÉLI ÉS MTSAI 2018). Ezen új

technológiák és talajosztályozási rendszerek birtokában, végre egy olyan egységes zónalehatárolási eljárást lehetne kidolgozni, amellyel minden gazdálkodó a jövőben profitorientáltabban tudna gazdálkodni.

2.3. Zónalehatárolási módszerek

A precíziós gazdálkodás megjelenésével egyre fontosabbá vált a gazdálkodási gyakorlatok, a terméshozamok és a talajtulajdonságok térbeli változékonysága közötti összefüggések megértése a talajok terméspotenciáljának kihasználása, valamint a felhasznált inputanyagok hatékonyabb hasznosulása érdekében. A precíziós vagy helyspecifikus gazdálkodás célja a talaj térbeli változékonyságának kezelése azáltal, hogy az adott talajnak és a várható terméspotenciáljának megfelelő inputanyag-mennyiséget juttatnak ki a művelés alatt álló területre (FRAISSE ÉS MTSAI 1999).

A helyspecifikus kezelés kulcsfontosságú munkaművelet a táblahatárokon belül elhelyezkedő területileg koherens régióknál. Ezeknek a régióknak vagy menedzsment zónáknak egy homogén összetételét kell reprezentálniuk a potenciális hozamlimitáló tényezőknek. Azonban a zónák meghatározását hátráltatja a földterületek térbeli változékonysága, illetve a hozamokat befolyásoló tényezők összessége (FRIDGEN ÉS MTSAI 2000, SCHEPERS ÉS MTSAI 2004). Ennek ellenére vannak olyan esetek, amikor a menedzsment zónák helytelen kialakítása rosszabb eredményeket produkálnak, mint egy adott terület egységes kezelése.

Számos megközelítés létezik a táblán belüli menedzsment zónák kialakítására, azonban a legtöbb megközelítés alapját olyan térbeli információk képezik, amelyek időben stabilak, valamint a terméshozamokhoz köthetők (DOERGE 1999). A zónakialakítások során a domborzati tényezőket (lejtés, grádiens, magasság stb.), légifelvételeket (talaj-visszaverődés, távérzékelési képek stb.), talajtulajdonságokat (tápanyag, elektromos vezetőképesség, szerves anyag, textúra stb.), valamint a hozamtérképeket veszik általánosan figyelembe, és ezen különböző adatokból származó információk biztosítják az alapját a mezőgazdasági területek homogén zónakialakításának (FRANZEN ÉS MTSAI 2002, LI ÉS MTSAI 2007, SCHEPERS ÉS MTSAI 2004). A felsorolásból általánosan a domborzati jellemzőket és a helyi adottságokat vették a legtöbbször figyelembe a magas és alacsony termőképességű szántóföldi területek kialakításánál (JAYNES ÉS MTSAI 1994, SUDDUTH ÉS MTSAI 1997).

Az előző bekezdésben említett műholdképek az egyik leggyakoribb eszköze a kezelési zónák kialakításának, ellenben továbbra is nagy kihívásokkal kell szembenézni a műholdak alapján történő zónalehatárolásoknál (MULLA 2013), ezért sok esetben még mindig a kézi

mintavételezést részesítik előnyben. A digitális topográfiai térképek hasznosak a víz térbeli eloszlásának meghatározásához, amely mozgása nagy hatással van a növények produktivására is (KRAVCHENKO ÉS MTSAI 2000, KRAVCHENKO ÉS MTSAI 2005, WIAUX ÉS MTSAI 2014).

Ezek az információk kifejezetten hasznosak a nem öntözött táblákon történő menedzsment zónák kialakításánál, mivel a talajnedvesség térbeli eloszlását és az éghajlati tényezőket kombinálva növelni lehet a vízfelhasználás hatékonyságát, ami nagyban befolyásolja a várható termésmennyiséget (ABBATE ÉS MTSAI 2004).

Nem csak külföldön, hanem Magyarországon is vizsgálták a különböző zónalehatárolási stratégiákat. Somogy megyében egy 36,5 hektáros táblán összesen hat különböző zónalehatárolási, mintavételezési és vizsgálati módszert hasonlítottak össze, amely tartalmazta a műholdképeken alapuló vegetációs indexek 1 és 5 éves átlagát, egy kontakt és két nem kontakt elektromos indukción alapuló eszközt, valamint az aktuális év hozamtérképét, végül pedig a kötelező 5 hektáros rácsháló típusú mintavételezési stratégiát. A kapott eredmények minden esetben a hozamtérképpel lettek összehasonlítva (URL¹).

Kutatási eredményeik alapján az egy éves hozamtérkép csak az adott év zónáit reprezentálja, míg a hagyományos, 5 hektáronkénti mintavételezési stratégia szolgáltatja a leggyengébb korrelációt a hozamokkal. Azonban az NDVI értékeken alapuló zónalehatárolások már sokkal kedvezőbb korrelációt mutattak. A két nem kontakt szenzor segítségével végzett mérések során mindkét esetben hasonló mintázatot mutattak, ennek ellenére nem tükrözték a hozamtérkép eredményeit. Végül a talajszkenner esetében már sokkal jobban kirajzolódott a hozamtérképen a gyengébben és jobban teljesítő területek (URL¹). Ezen eredmények is mutatják, hogy a zónalehatárolások alapjául szolgáló adatok számtalan forrásból gyűjthetők be, azonban napjainkban még mindig a talajvizsgáló szenzorok az egyik legkedveltebb eszközök.

2.3.1. Talajvizsgáló szenzorok

Manapság már rengeteg szenzor közül lehet választani, amelyet gyakorlati alkalmazásra vagy tudományos vizsgálatokra lehet használni. Ezek az eszközök eltérő talajtulajdonságokat képesek vizsgálni. Vannak talajnedvességet, talajhőmérsékletet, talaj pH-t, a talaj tápanyagtartalmát, a talajban lévő rovarokat/kártevőket vagy talajszennyezést mérő érzékelők (YIN ÉS MTSAI 2021). A talaj tápanyagszolgáltató képességét is többféle eszközzel és többféle mérési technikákkal lehet mérni, ugyanis vannak optikai és elektrokémiai szenzorok. Az optikai érzékelőkkel lehet látható-infravörös spektroszkópián (Vis-IR – Visible- Infrared),

csillapított teljes reflexió spektroszkópián (ATR - Attenuated total reflectance spectroscopy) és Raman spektroszkópián alapuló méréseket végezni. Az elektrokémiai érzékelők pedig ion szelektív elektróda-alapú vagy ion-szelektív térvezérlésű tranzisztor-alapú szenzorok (BURTON ÉS M TSAI 2020). Ezek alapján fontos szempont, hogy milyen talajtulajdonságokat, milyen módszerrel és milyen eszközzel szeretnénk mérni. Miután meg tudtuk határozni a mérni kívánt paramétereket, az után kell kiválasztani a méréshez leginkább optimális szenzort. Jelen kutatás esetében a SoilOptix® szenzorra esett a választás, amellyel számos talajparaméter vizsgálható és mérési eredményeiből egy nagy felbontású talajtérkép készíthető.

2.3.1.1. SoilOptix® szenzor és működése

A SoilOptix® (1. ábra) egy talajjal nem érintkező szenzor, amelyet a vizsgálatot végző járműre szerelnek fel - körülbelül 60 cm-re elhelyezve a talajfelszíntől -, ennek köszönhetően pedig 12 méter szélességben tudja a talajt pásztázni. A szenzor gammasugárzás alapú adatait az előre meghatározott talajmintákkal kalibrálják (8 hektáronként 1 minta), amely eredményeként a felső talajréteg tulajdonságairól egy nagy felbontású talajtérkép készül. Az elkészült térképet SHP- vagy CSV-fájlokban továbbítják, amelyek VRA-kompatibilisek, és könnyen integrálhatók a legtöbb platformba, például a Climate FieldViewba vagy a John Deere Operations Centerbe (URL², URL³). A térképek alapján pedig kialakíthatóvá válnak a menedzsmentzónák, amelyek a változó dóziszú kijuttatás alapját képezik.



1. ábra: SoilOptix® szenzor (Forrás: Saját fotó)

2.4. Változó dózisú kijuttatás

A változó dózisú kijuttatást (VRA – variable rate application) a különböző inputanyagok (vetőmagok, műtrágyák, öntözővíz) kijuttatásánál alkalmazzák, amelyek mennyiségét menedzsment zónák szerint határozzák meg. A differenciált kijuttatás során a mezőgazdasági területeket menedzsment zónákra osztják fel, amelyek viszonylag homogén tulajdonságokkal és mutatókkal jellemezhetők. Ennek tükrében a precíziós gazdálkodási technikák alkalmazásának alapját képezi a mezőgazdasági területek menedzsment zónákra történő bontása, amely történhet talajtérképezés, növényfejlődés vagy termés hozam alapján (PETERSON ÉS MTSAI 1996, LAN ÉS MTSAI 2008, EL NAHRY ÉS MTSAI 2011).

További előnye a VRA-rendszereknek, hogy a költségek, illetve a környezetszennyezés csökkentésével, növelik a mezőgazdasági inputanyagok hasznosulását (IIDA ÉS MTSAI 2001, GRISSO ÉS MTSAI 2005, AHMAD ÉS MTSAI 2018, SUI 2019).

Napjainkban az inputanyagok kijuttatására szolgáló változó dózisú kijuttatási rendszereket kétféleképpen lehet csoportosítani. Vannak térkép és érzékelő alapú rendszerek. Más szóval a kijuttatás megtörténhet offline vagy online/real time (egyidejű / valós idejű) módon. A térkép alapú VRA rendszereknél vagy offline megoldásoknál egy GPS-vevő és egy kijuttatási térkép alapján valósul meg a kívánt inputanyag mennyiségének szántóföldön történő kijuttatása. Ennél a megoldásnál a talaj- és/vagy hozam adatok alapján készülnek el a kijuttatási térképek, míg a tábla különböző zónáira előírt dózisok kijuttatása egy GPS-vevő segítségével valósul meg, ugyanis a zónahatárokat átlépve érzékeli a rendszer, hogy éppen mekkora mennyiségű inputot kell kijuttatni azon a területen (ESS ÉS MTSAI 2001).

Ezzel szemben a szenzor alapú rendszerek vagy online megoldások nem igényelnek GPS-vevőt és kijuttatási térképeket sem. Ezek a rendszerek a talajok vagy növények valós idejű/egyidejű szenzorok általi megfigyeléséből származó adatok alapján határozzák meg a kijuttatandó inputanyagok mennyiségét (GRISSO ÉS MTSAI 2005).

A térkép alapú rendszerek előnye, hogy számos adat figyelembevételével lehet térképeket készíteni, továbbá a legtöbb mezőgazdasági inputanyag kijuttatható ezáltal, valamint a mintavételezés és a kijuttatás között elegendő idő áll a rendelkezésre az adatok megtekintésére és vizsgálatára, amellyel javítani lehet a kijuttatás hatékonyságát. Azonban hátrányai közé sorolható, hogy a talajok és növények vizsgálata fáradságos, illetve magas költségű munka. A talaj- és növényi paraméterek nagymértékben változhatnak a mintavételek és a kijuttatások

között, valamint speciális szoftverek szükségesek a megfelelően kialakított kijuttatási térképek elkészítéséhez (MORGAN ÉS MTSAI 1997, SUDDUTH 1999).

Ezzel szemben az érzékelő alapú rendszerek legjelentősebb előnyei közé tartozik az inputanyagok kijuttatási arányának megváltoztatása anélkül, hogy előzetesen fel kellene térképezni a területet vagy össze kellene gyűjteni a szántóföldi adatokat. Továbbá a növények és talajok állapotának vizsgálata valós időben történik, az érzékelést követően pedig rögtön, késedelem nélkül valósul meg az inputanyagok kijuttatása. A szenzor alapú rendszerek hátrányai közé sorolható a magas bekerülési költség, valamint hiányoznak a környezeti tényezők változását precízen lekövető érzékelők, illetve a döntéshozásoknak a lehetősége (GUAN ÉS MTSAI 2019).

Az irodalmi áttekintést követően a SoilOptix® talajvizsgáló szenzor gyakorlatban történő alkalmazását és az abból származó eredményeket szeretném bemutatni az Anyag és módszer, illetve az Eredmények fejezetben.

3. Anyag és módszer

3.1 Kistáj bemutatása

3.1.1. Területi elhelyezkedése

Az általunk vizsgált terület Magyarország földrajzi kistájbeosztása szerint (MTA FKI) az 1.4.21. kistáj kódon található, amelyben az 1. az Alföld nagytáj kódja, 4. a Mezőföld középtájat, míg a 21. a **Közép-Mezőföld** földrajzi kistájak szerinti sorrendet jelöli.



2. ábra: Kistáji besorolásban megjelenített terület (forrás: Saját - QGIS)

A kistáj Fejér és Tolna vármegye területén helyezkedik el. Területe 1430 km² Székesfehérvártól délre Nyugatról a Sárvíz, Északról a Velencei-tó Keletről a Duna határolja.

3.1.2. Domborzati adatok

A kistáj 97 és 204 m közötti tengerszint feletti magasságú, lösszel fedett hordalékkúp-síkság. A Közép-Mezőföldet a szerkezetileg előrejelzett Seregélyesi-völgy és a vele párhuzamosan kialakult, enyhén tagolt síksági típusba sorolható süllyedékterület nagyjából két egyenlő nagyságú részre osztja. ÉK-en a Duna felé 50 - 60 m-es partfallal elhatárolódó, a tengerszint

feletti 150-180 m-es, közepes magasságú síksági helyzetben levő Pentelei - löszplató helyezkedik el. DNy-ra az ugyancsak 150-180 m tengerszint feletti magasságú hullámos síksági helyzetben levő Sárdbogárdi - löszplató nyúlik el. Felszínüket a löszre jellemző lepusztulás formák (löszdolinák, löszmélyutak, löszkutak), valamint eróziós - deráziós völgyek sűrű hálózata tarkítja.



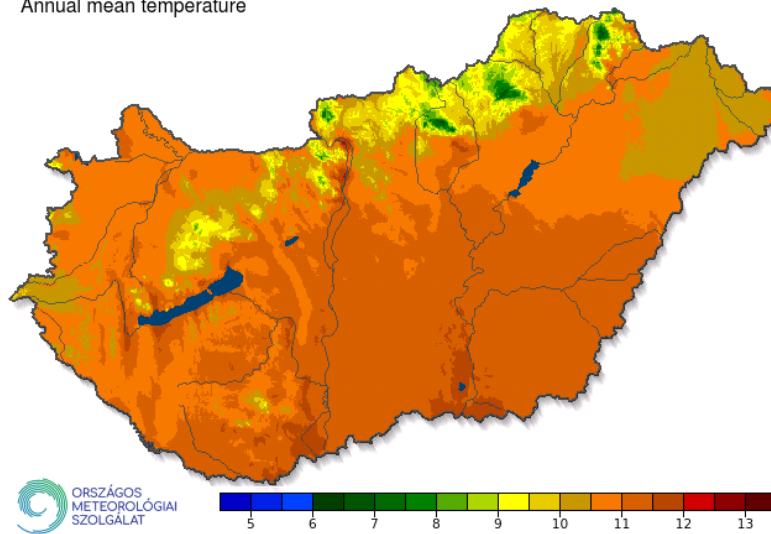
3. ábra: A felmért területen jellemző talajeróziós foltok (forrás: Saját - Google Earth)

3.1.3. Éghajlat

Mérsékelten meleg, száraz vidék, de a középső területek már a mérsékelten száraz éghajlati övhöz vannak közel. Az évi napsütés órák összege Északon 2000 óra, Délen 2050 óra.

Az évi középhőmérséklet a D-i részen 10,2 - 10,3 °C, É-on 9,8 - 9,9 °C; a vegetációs időszaké 16,1 - 17,0 °C, ugyanilyen területi elosztásban. A fagymentes időszak hossza évről-évre mérséklődik, míg a hőségnapok száma növekszik.

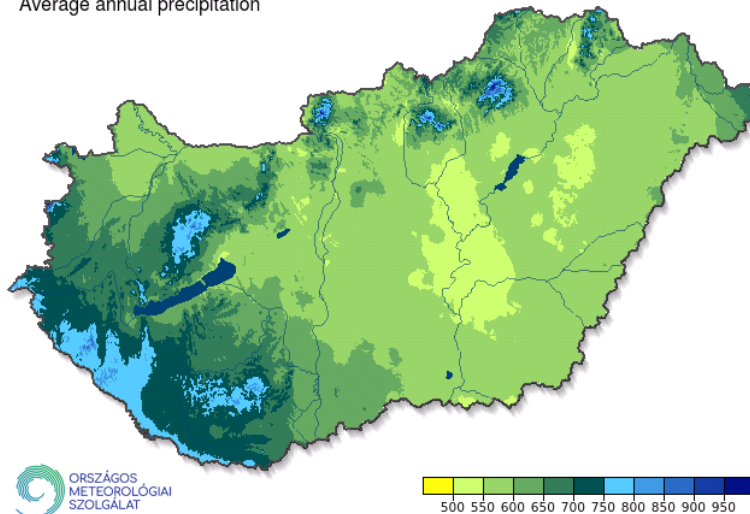
Átlagos éves középhőmérséklet [°C] (1991-2020)
Annual mean temperature



4. ábra: Magyarország átlagos éves középhőmérséklete (forrás: www.met.hu)

Az évi csapadékösszeg 550 - 600 mm, de K-en és Ny-on (Dunaújváros és Székesfehérvár térségében) még az 550 mm-t sem éri el. A tenyészidőszakban 320 - 340 mm eső a valószínű.

Átlagos éves csapadékösszeg [mm] (1991-2020)
Average annual precipitation



5. ábra: Magyarország éves csapadékösszege (forrás: www.met.hu)

Leggyakoribb szélirány az ÉNy-i, az átlagos szélesség kevéssel 2,5 m/s fölötti. Tavasszal a talajmunkák idején, ill. amíg a növényállomány nem záródik, száraz időben az ÉNy-i szél nagy magasságokig felkavarja a finom lösztakarót.

Főként É-on a kevésbé hőigényes kultúrának kedvez az éghajlat. Egyes területeken (Dunaújváros és Székesfehérvár környéke) a kevés csapadék miatt az öntözés indokolt.

3.2. Gazdaság bemutatása

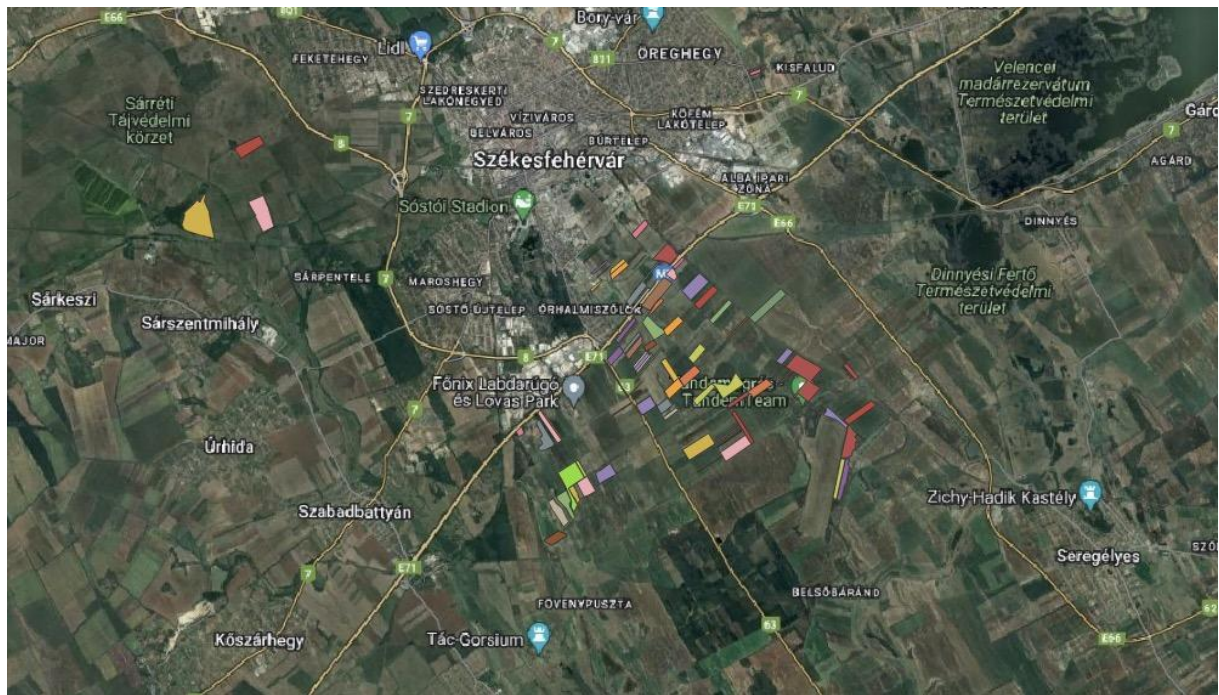
Székesfehérvár határában gazdálkodunk, közel hatszáz hektáron. A gazdaság három családi gazdaságból területeiből tevődik össze. A megművelt területek, részben saját tulajdonúak, részben béreltek.

Az 589,0758 ha összterületből 4,50 ha gyümölcsös (cseresznye), 109,84 ha rét-legelő, 474,73 ha szántó művelési ágú. Az átlagos táblaméret 6,71 ha. A szántó területeken a klasszikus négyest (őszi káposztarepce, őszi búza, kukorica, napraforgó) termeltük az utóbbi években. Az elmúlt évek meteorológiai, illetve gazdasági eseményei miatt a vetésszerkezet korrekciójára, átalakításra van szükség. Így a 2023-24-es gazdasági évben az kötelezően ugaroltatott területek mellett mustár, homoki zab, szója, illetve bíborhere vetőmag előállítása is bekerült a portfóliónkba. Ez sokkal több odafigyelést kíván, de meg kell találni a mi talajainkra leginkább megfelelő alternatív növényeket.

Emelet az elmúlt öt évben fokozatosan emeltünk be újabb művelési technológiai elemeket. Elsőként a szántóterületek - jogszabályban meghatározott öt évente öt hektáronként - talajmintavételi módszere helyett a zonális mintavételt alkalmaztuk. A tavalyi évben már a két hektár feletti területeket, három hektáros zónákra osztva mintáztuk. A talajminták eredményei alapján a műtrágyák kijuttatása diferáltan történik. A mintavételezés, talajvizsgálati eredmények elemzése, és kijuttatási tervek-, térképek elkészítését külsős cég végzi.

A szántásos alapművelés helyett négy évvel ezelőtt áttértünk szántóföldi kultivátor használatára, aminek már pár év után egyértelműen pozitív talajszerkezeti, vízgazdálkodási, agrotechnikai következményei vannak.

A harmadik nagy lépés három éve történt, amikor megvettük az első RTK korrekcióval rendelkező automata kormányzású erőgépünket. Azóta egy újabb traktorunk is rendelkezik hasonló kormányzási-, vezérlési rendszerrel. Ez a mindennapi munkánkat lényegesen megkönnyíti, illetve az üzemanyag felhasználásunkat is mérsékli.

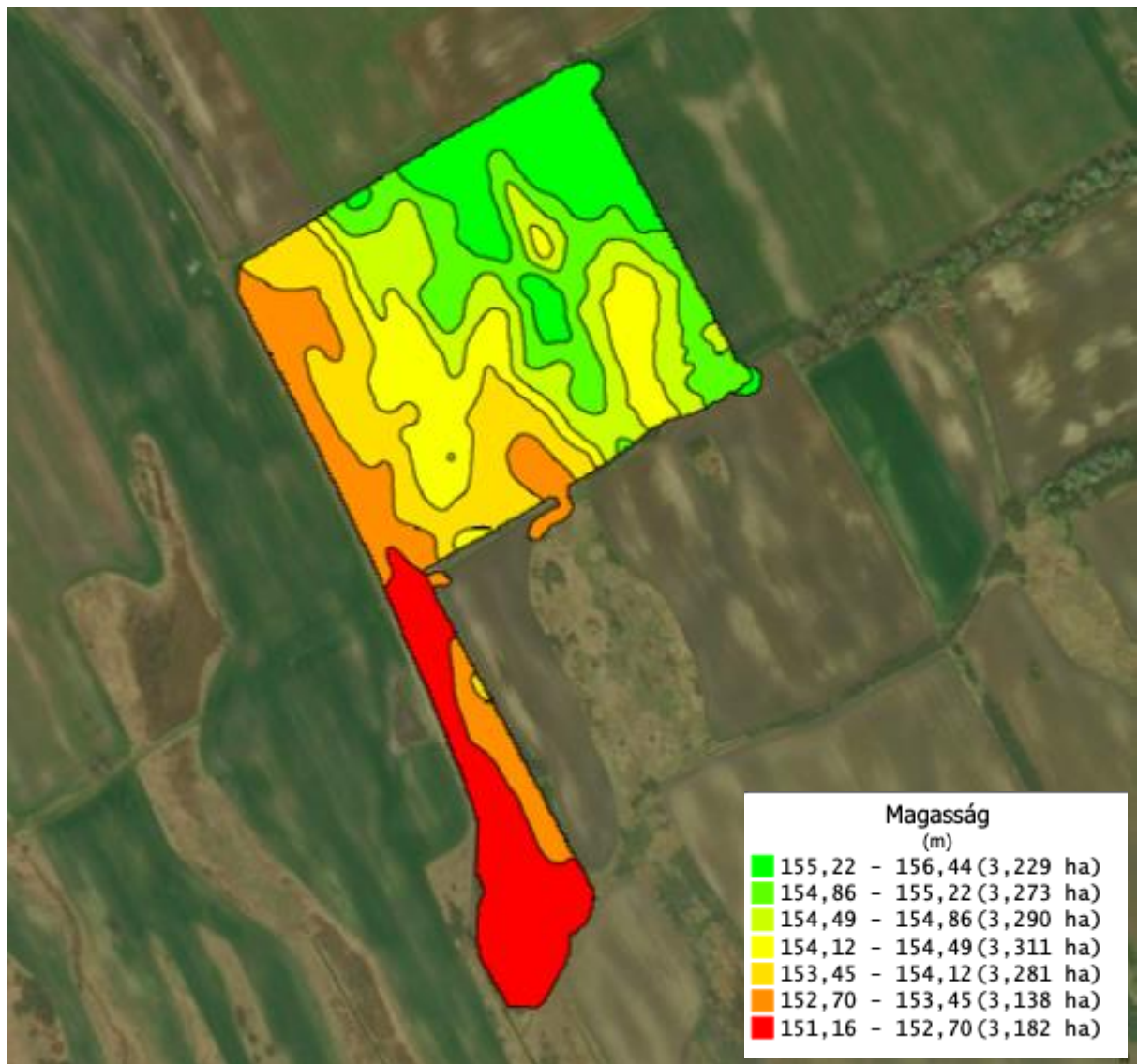


6. ábra: Gazdaság által művelt szántóterületek (forrás: Saját - QGIS)

3.3. Tábla bemutatása

Az "F2 - Akolpuszati" nevű, 020452/9 hrsz-on azonosítható táblánk összterülete 25,4370 ha, melyből 2024-ben a tulajdonunkban lévő terület 24,2734 ha, átlagos aranykorona értéke 12,88 AK. A vizsgált terület nagysága 21,9565 ha. A terület Székesfehérvár dél-nyugati külterületi részén helyezkedik el ÉK-DNy-i tájolással. A terület mintegy három hektáros nyúlványa ÉNy-DK-i tájolású. A terület legmélyebb része mellett egy vízelvezető csatorna van, melyben jellemzően éven át élővíz van. A területet csapadékos években pár száz négyzetméteres lefolyás nélküli pangóvízes foltok jellemzik. A 2000-es évek előtt jellemzően éven át megvoltak ezen állóvízes területek. A terület 5,28 m szintkülönbséggel rendelkezik, tengerszint feletti magassága 151,16 m és 156,44 m között változik.

Tengerszint feletti magasság értékei, melyeket a Claas Axion - Horsch Terrano 3FX használata közben Topcon automata kormány vezérlése által készített térképből generáltam SMS Basic használatával (7. ábra).



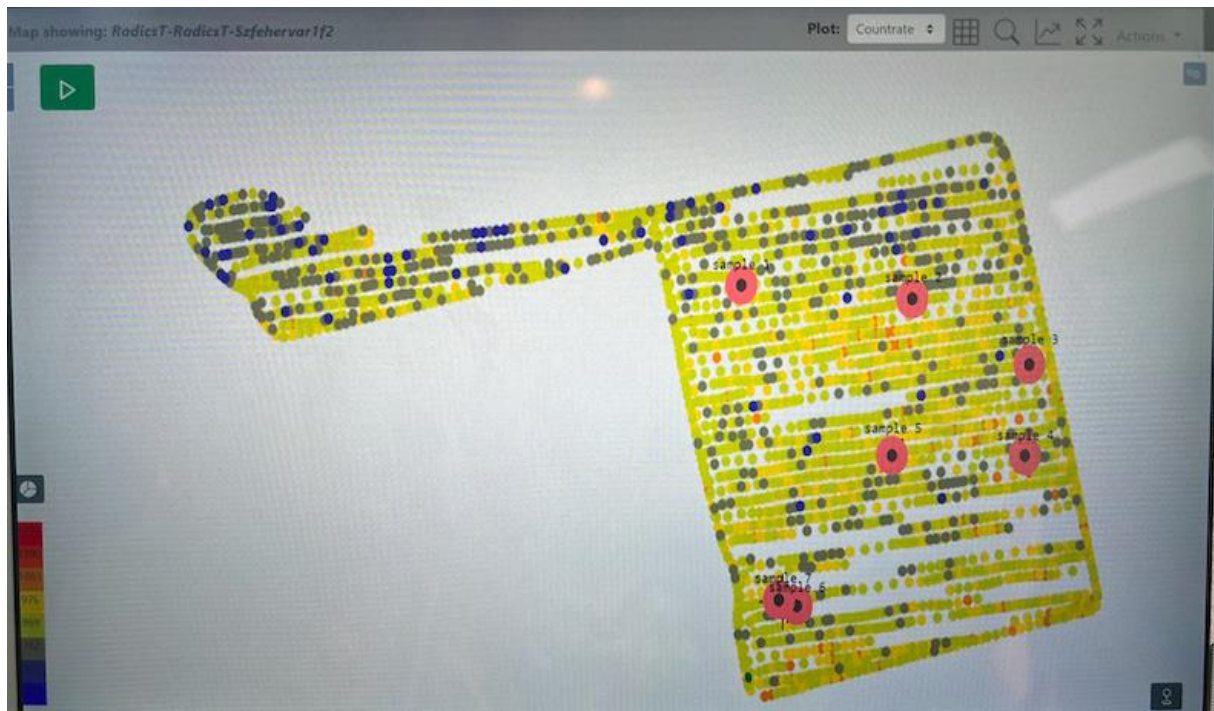
7. ábra: Mintázott terület tengerszint feletti magasságértékei (forrás: Saját – Ag Leader)

3.4. Mintavételi/felmérési módszerek

3.4.1. Talaj szkennelés

A talaj szkennelés 2022. november 17-n történt kukorica szármaradványokkal kevert tarlón. A főnövény betakarítását követően a területen egy rövid tárcsás tarlólántás történt. A 2022. év csapadékviszonyai miatt a talaj nedvességtartalma optimális volt a bejárásra, hiszen felesleges tömörödést nem okozott. Az előzetesen megadott határterületek bejárását követően, a rendszer automatikusan generált egy útvonalat, melyet 12 m-es távolságban határozott meg egymástól (8. ábra). A talajszkenner a kisteherautó vonóhorgára szerelve végezte a méréseket, melyek eredményeit azonnal a fülkében lévő számítógépre továbbította. A mérési eredményeket követően a rendszer a területnagyság és a szkennelés eredményei alapján meghatározott hét minta

pontot, ahol valós talajmintavételezés történt talajfúróval. A minták laboratóriumi eredményeit, mint referencia adatokat a mért értékekhez, illetve pontokhoz rendelték.



8- ábra: A talajszkenner útvonala, és valós talaj mintavételi pontjai (forrás: Saját)

3.4.2. Talajmintavétel és laboratóriumi mérések

A szkennelés eredményeinek ellenőrzéséhez a területen 50 darab mintapont került kijelölésre randomizált grid elrendezésben. Az 50 darab mintapontból végül a táblahatár változás miatt 46 darab esett a tábla szkenneléssel érintett területére. A mintapontok kijelölése során egy 100x100 méteres fő rácshálón belül alakítottunk ki 25x25 méteres al rácshálót. A 16 darab fő rácshálón belüli egységből random módon választottuk ki a mintázásra kijelölt egységet. Így a mintavétel során az 1 hektáros rácshálónak megfelelő mintaszám került mintázásra, de azt randomizálva, így csökkentve a geometriai szabályosságból fakadó hibalehetőségeket (9. ábra). A felszíni mintavételből származó talajmintákat akkreditált laboratóriumban az úgynevezett 'bővített', 14 paraméteres laborcsomagra vizsgáltattam.



9. ábra: 50 db mintapont randomizált grid elrendezésben (forrás: Saját)

A fejezetben bemutatott felvételezési módok mellett 5 darab talajszelvény is feltárássra és részletes vizsgálatra került a területen annak érdekében, hogy a területre jellemző talajhibákat, morfológiai jellemzőket, limitáló tényezőket is megismerjem. A mintavételi helyszínek pontos helyét a domborzati térkép alapján jellemző domborzati pozíciókban jelöltük ki.


3.4.3. Statisztikai módszerek

A statisztikai elemzéshez a szkennelés utófeldolgozása során kialakított polygonok alá rendeztük a randomizált mintapontokat. A szkennelés utófeldolgozását a szolgáltató végezte és a gyári szoftver által előállított polygon állományt adta át számomra. A polygonok az egyes talajparaméterek mentén kategóriákat tartalmaztak, melyek minden egyes paraméter vonatkozásában kialakított tartományokat jelentettek. Ezekhez a tartomány értékekhez rendeltem a randomizált mintavétel laboratóriumi mérési eredményeit majd számoltam és vizsgáltam az alapstatisztikai mutatókat mint a minimum, maximum, átlag, szórás, medián, illetve a tartományon kívüli mintapontok arányát. Az eredményeket és a kategóriákon belüli eloszlásokat táblázatos formában és box-plot analízissel is ábrázoltam.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A feltárt szelvények bemutatása

4.1.1. - 1. szelvény

1. szelvény	
Csernozjom réti talaj	<i>A szelvény leírása</i>
	<p>0-20 cm Apk: sötét színű felszíni szint (10YR 3/2), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra ++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű</p> <p>20-50 cm Akl: sötét színű felszín alatti szint (10YR 3/3), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű, gyenge tömörödés jellemzi, gyenge talajvíz glejes foltosság</p> <p>50-60 cm ABkl: sötét színű felszín alatti szint (10YR 3/4), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes foltosság</p> <p>60-70 cm Bkl: világos barna színű felszín alatti átmeneti szint (10YR 4/4), szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes foltosság</p> <p>70-80 cm Ckl: fehér színű felszín alatti szint (10YR 6/4), szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes foltosság, a talajvízszint jellemző szintje</p> <p>80- cm Clk2: sárga színű felszín alatti szint (10YR 5/4), szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes mintázat</p>

10. ábra: 1. talajszelvény (forrás: Saját)

A mezőségi jellegű humuszfelhalmozódást gyenge vízhatás kíséri. A szelvény aljában 100 cm mélységben talajvíz jelenik meg. A humuszban gazdag felszíni „A” szintet szintén humuszban gazdag felszín alatti szintek követik 60 cm-ig. A CaCO_3 tartalommal párhuzamosan a pH is nő a melyebb talajszintekben. A P_2O_5 , K_2O , NO_3^- - N^{3-} tartalom az „A” szintben magas, viszont az alsóbb rétegekben a P_2O_5 és NO_3^- - N^{3-} erősen csökken a K_2O tartalom a humuszos rétegekben stabilan közepes szintet mutat. A SO_4^{2-} és Na tartalom a mélyebb rétegek felé haladva egyre magasabb értékeket mutat, míg a Cu^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} tartalom a talaj felső rétegeiben magasabb értékű. A Mg^{2+} szint mindegyik talajrétegben kiegyenlített magas értékű.


1. tábla: 1. talajszelvény laboratóriumi eredményei (forrás: Saját)

Genetikai szint	Mélység	pH (KCl)	KA	Összes só	CaCO ₃	Humusz	NO ₃ N
	(cm)	pH egység	K _A egység	m/m%	m/m%	m/m%	mg/kg
P1	0-20	7,42	33,14	0,04	7,03	2,66	74,60
P1	20-50	7,62	34,00	0,02	11,20	1,72	17,03
P1	50-60	7,74	32,57	0,03	16,79	1,39	20,92
P1	60-70	7,84	30,00	0,03	22,65	1,04	23,62
P1	70-80	7,93	28,29	0,03	28,14	0,74	19,25

Genetikai szint	Mélység	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	SO ₄
	(cm)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P1	0-20	200,96	587,42	676,23	50,06	1,20	2,85	67,23	6,22
P1	20-50	37,82	297,30	843,44	77,90	0,20	1,93	47,74	17,54
P1	50-60	20,43	241,04	802,29	130,60	0,20	1,48	27,18	41,12
P1	60-70	12,65	211,17	625,81	174,64	0,20	1,10	18,98	66,26
P1	70-80	17,85	155,90	554,34	178,93	0,20	0,82	18,32	78,70

A 1. talajszelvény 80 cm alatti rétegeből azért nem készült laboratóriumi vizsgálat, mert a talajszelvény elemzése közben a talajvízszint olyan szintre emelkedett, hogy a mintavételt ellehetlenítette.

4.1.2. - 2.talajszelvény

2. szelvény	
Humuszos homoktalaj	<i>A szelvény leírása</i>
	<p>0-15 Aszk: sötét színű felszíni szint (10YR 3/4), humusztartalom közepes szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű</p> <p>15-43 Aszk2: sötét színű felszíni szint alatti szint (10YR 3/4), humusztartalom közepes szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű</p> <p>43-70 CBk: sárga színű felszíni szint alatti átmeneti szint (10YR 4/4), melyben a művelés hatására keveredés látható. szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű</p> <p>70-Ck: sárga színű felszín alatti szint (10YR 5/4), szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű</p>

11. ábra: 2. talajszelvény (forrás: Saját)


Ez a talajszelvény a terület legmagasabb pontján helyezkedett el. A homoktalajokra jellemző maximum 1,5%-os humusz tartalomhoz képest, a felső A szintekben lévő 1,36% optimálisnak mondható. A pH szint stabil értéke mutat, míg a CaCO₃ a mélyebb rétegekben nagyságrenddel magasabb értékű. A P₂O₅, K₂O, NO₃⁻-N³⁻ szint jónak mondható a talaj felső két rétegében, viszont a z alsóbb rétegekben gyenge tartalommal rendelkeznek. A SO₄, Na, Mg szint alacsony értékű, míg a Cu⁺ Zn²⁺, Mn²⁺ tartalom a táblára jellemző értékeket mutatja. A Mg²⁺ szint mindegyik talajrétegben kiegyenlített alacsony értékű.

2. tábla: 2. talajszelvény laboratóriumi eredményei (forrás: Saját)

Genetikai szint	Mélység	pH (KCl)	KA	Összes só	CaCO ₃	Humusz	NO ₃ N
	(cm)	pH egység	K _A egység	m/m%	m/m%	m/m%	mg/kg
P2	0-15	7,49	25,00	0,02	2,26	1,36	16,33
P2	15-43	7,44	25,00	0,02	1,64	1,36	19,69
P2	43-70	7,66	25,71	0,02	16,98	0,88	2,63
P2	70-	7,85	25,00	0,02	15,13	0,45	2,00

Genetikai szint	Mélység	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	SO ₄
	(cm)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P2	0-15	189,29	223,99	36,97	32,71	0,55	1,11	37,47	5,00
P2	15-43	189,96	170,66	25,77	31,54	0,61	1,21	38,74	5,00
P2	43-70	25,83	54,46	17,28	32,14	0,20	0,56	8,48	5,00
P2	70-	23,21	37,16	8,00	40,03	0,20	0,32	13,24	5,00

4.1.1. – 3. talajszelvény

3. szelvény	
Csernozjom réti talaj	<i>A szelvény leírása</i>
	<p>0-30 Aszk: sötét színű felszíni szint (10YR 3/3), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű</p> <p>30-45 Ak: sötét színű felszíni szintalatti szint (10YR 3/4), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű</p> <p>45-55 Blk: világos barna színű felszín alatti átmeneti szint (10YR 4/4), szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes foltosság</p> <p>55- Clk: sárga színű felszín alatti szint (10YR 5/4), szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes mintázat</p>

12. ábra: 3. talajszelvény (forrás: Saját)


A talaj felső rétegeiben a NO_3^- - N^3 -szint magas, az alsóbb rétegekben gyenge. a A K_2O tartalom a felszíni rétegben optimális, a mélyebb rétegekben fokozatosan mérséklődik. A P_2O ellátottság a talajfelszíni szinten közepes, az alsóbb rétegekben gyenge. Az SO_4^{2-} és Na^+ tartalom a mélyebb rétegek felé haladva egyre magasabb értékeket mutat, míg a Cu^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} tartalom a talaj felső rétegeiben magasabb értékű. A Mg^{2+} szint mindegyik talajrétegben kiegyenlített magas értékű.

3. tábla: 3. talajszelvény laboratóriumi eredményei (forrás: Saját)

Genetikai szint	Mélység	pH (KCl)	KA	Összes só	CaCO ₃	Humusz	NO ₃ N
	(cm)	pH egység	K _A egység	m/m%	m/m%	m/m%	mg/kg
P3	0-30	7,61	31,71	0,04	11,60	2,20	59,71
P3	30-45	7,74	32,29	0,02	15,12	1,85	22,70
P3	45-55	7,88	30,00	0,02	27,93	0,75	7,06
P3	55-	8,01	25,00	0,02	19,17	0,35	6,21

Genetikai szint	Mélység	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	SO ₄
	(cm)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P3	0-30	130,30	212,08	811,99	64,29	0,60	1,81	41,39	5,80
P3	30-45	48,26	131,00	845,94	99,33	0,44	1,68	36,57	19,07
P3	45-55	12,48	75,75	563,67	165,11	0,20	0,93	14,18	38,68
P3	55-	8,36	60,55	426,82	132,21	0,22	0,59	26,12	50,68

4.1.4. – 4. talajszelvény

4. szelvény	
Csernozjom réti talaj	<i>A szelvény leírása</i>
	<p>0-30 Aszk:sötét színű felszíni szint (10YR 3/3), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű</p> <p>30-45 Ak:sötét színű felszíni szintalatti szint (10YR 3/3), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű</p> <p>45-60 Blk: világos barna színű felszín alatti átmeneti szint (10YR 4/4), szemcsés morzsás szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes foltosság</p> <p>60- Clk:sárga színű felszín alatti szint (10YR 5/4), szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes mintázat</p>

13. ábra: 4. talajszelvény (forrás: Saját)


A talaj felső rétegeiben a NO_3^- - N^{3-} szint magas, az alsóbb rétegekben gyenge. a K_2O tartalom a felszíni rétegben jó a mélyebb rétegekben fokozatosan mérséklődik. A P_2O ellátottság a talajfelszíni szinten jó, az alsóbb rétegekben fokozatosan gyengül. A SO_4^{2-} tartalom a másik négy réti csernozjom talajszelvényhez képest alacsonyabb mértékű, illetve minden talajrétegben viszonylag kiegyenlített. A Mg^{2+} szint mindegyik talajrétegben kiegyenlített magas értékű. A Na^+ tartalom a mélyebb rétegek felé haladva egyre magasabb értékeket mutat, míg a Cu^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} tartalom a talaj felső rétegeiben magasabb értékű.

4. tábla: 4. talajszelvény laboratóriumi eredményei (forrás: Saját)

Genetikai szint	Mélység	pH (KCl)	KA	Összes só	CaCO ₃	Humusz	NO ₃ N
	(cm)	pH egység	K _A egység	m/m%	m/m%	m/m%	mg/kg
P4	0-30	7,66	29,71	0,04	15,58	2,29	69,10
P4	30-45	7,70	30,57	0,03	16,48	1,98	32,97
P4	45-60	7,94	26,00	0,02	22,03	0,70	6,92
P4	60-	8,16	25,00	0,02	18,96	0,21	2,81

Genetikai szint	Mélység	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	SO ₄
	(cm)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P4	0-30	188,44	219,64	806,12	86,95	0,81	1,61	42,00	5,37
P4	30-45	118,62	174,97	892,42	106,00	0,57	1,62	36,61	7,71
P4	45-60	22,15	44,75	524,23	134,23	0,20	0,68	20,54	9,19
P4	60-	16,82	20,02	304,48	115,43	0,20	0,30	23,94	8,35

4.1.5. – 5. talajszelvény

5. szelvény	
Réti csernozjom	<i>A szelvény leírása</i>
	<p>0-15 Aszk1: sötét színű felszíni szint (10YR 3/2), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra ++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű</p> <p>15-25 Aszk2: sötét színű felszíni szint alatti szint (10YR 3/2), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra ++-es reakciót mutat, homokos vályog fizikai féleségű</p> <p>25-40 Ak: sötét színű felszíni szint alatti szint (10YR 3/2), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű</p> <p>40-60 Akl: sötét színű felszíni szint alatti szint (10YR 3/3), humuszban gazdag szemcsés morzsás szerkezettel jellemezhető, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű, glejes foltosság</p> <p>60-75 Bkl: világos barna színű felszín alatti átmeneti szint (10YR 4/4), szemcsés morzsás, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes foltosság</p> <p>75-Clk: sárga színű felszín alatti szint (10YR 5/4), szerkezet nélküli, sósavra +++-es reakciót mutat, homok fizikai féleségű, kifejező talajvíz glejes mintázat</p>

14. ábra: 5. talajszelvény (forrás: Saját)

A talaj felső rétegeiben a NO_3^- - N^{3-} szint kifejezetten magas, az alsóbb rétegekben is jónak mondható. A K_2O tartalom a felszíni rétegben jó a mélyebb rétegekben fokozatosan mérséklődik. A P_2O ellátottság a talajfelszíni szinten jó, csupán az alsó három talajrétegben gyenge ellátottságú. A SO_4^{2-} és Na^+ tartalom a mélyebb rétegek felé haladva egyre magasabb értékeket mutat, míg a Cu^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} tartalom a talaj felső rétegeiben magasabb értékű. A Mg^{2+} szint mindegyik talajrétegben kiegyenlített magas értékű.

5. tábla: 5. talajszelvény laboratóriumi eredményei (forrás: Saját)

Genetikai szint	Mélység	pH (KCl)	KA	Összes só	CaCO ₃	Humusz	NO ₃ N
	(cm)	pH egység	K _A egység	m/m%	m/m%	m/m%	mg/kg
P5	0-15	7,65	30,57	0,04	7,86	1,95	79,13
P5	15-25	7,73	31,43	0,03	8,35	1,82	41,01
P5	25-40	7,74	28,29	0,03	9,47	1,67	32,34
P5	40-60	7,70	30,29	0,02	12,17	1,26	12,60
P5	60-75	7,80	26,57	0,02	21,54	0,55	18,63
P5	75-	7,76	25,00	0,04	19,58	0,53	42,84

Genetikai szint	Mélység	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	SO ₄
	(cm)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P5	0-15	379,80	294,94	627,59	52,23	1,75	1,85	38,89	5,76
P5	15-25	394,75	137,85	795,57	55,79	2,04	2,04	36,56	5,00
P5	25-40	456,70	116,18	680,45	68,56	2,29	2,19	38,09	5,00
P5	40-60	43,83	71,71	748,52	97,58	0,36	1,39	24,14	17,47
P5	60-75	21,39	70,31	543,26	120,29	0,20	0,90	13,62	50,33
P5	75-	18,29	28,40	384,07	143,25	0,20	0,69	24,27	107,93

4.2. A talajszkenelés és grid mintavétel statisztikai összehasonlítása

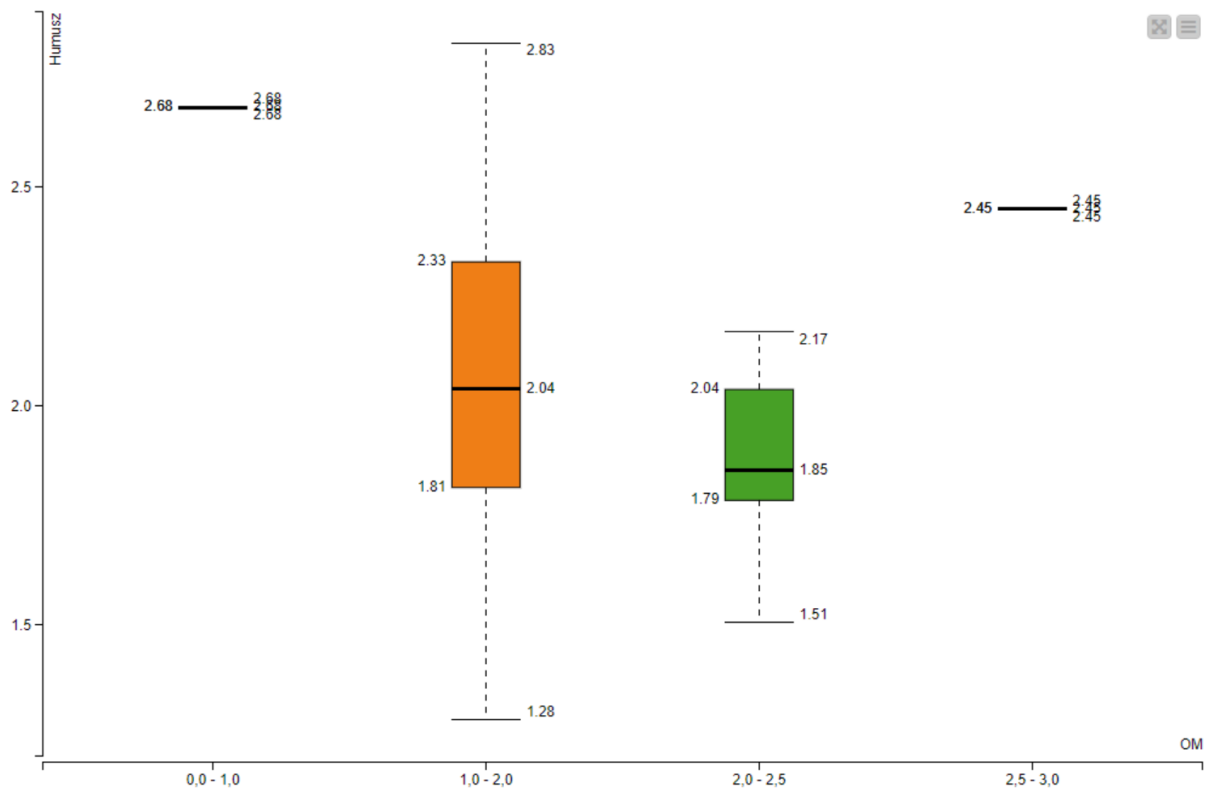
A szervesanyag, pH, P₂O₅, K₂O, MgO, Na⁺, S²⁻ elemek talajszkenelés által meghatározott határértékeihez hozzárendeltem a mintapontokhoz tartozó valós talajmintavétel laboratóriumi eredményeit. Az eredményekből EXCEL táblázatban jelenítettem meg függvény segítségével:

- a minimum értéket,
- maximum értéket
- átlag értéket,
- szórást,
- medián értéket,
- tartományon kívüli megoszlást.

4.2.1. Szerves-anyag tartalom értékeinek vizsgálata

6. táblázat: Szerves-anyag tartalom értékek elemzése (forrás: Saját)

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (%)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek						
	Szerves anyag (%)	min (%)	max (%)	átlag (%)	szórás	medián (%)	tartományon kívüli érték (%)
0,00 – 1,00		2,68	2,68	2,68	-	2,68	100,00
1,00 – 2,00		1,28	2,83	2,07	0,42	2,04	51,85
2,00 – 2,50		1,51	2,17	1,86	0,19	1,85	69,23
2,50 – 3,00		2,45	2,45	2,45	-	2,45	100,00



15. ábra: Szerves-anyag box-plot analízis (forrás: Saját)



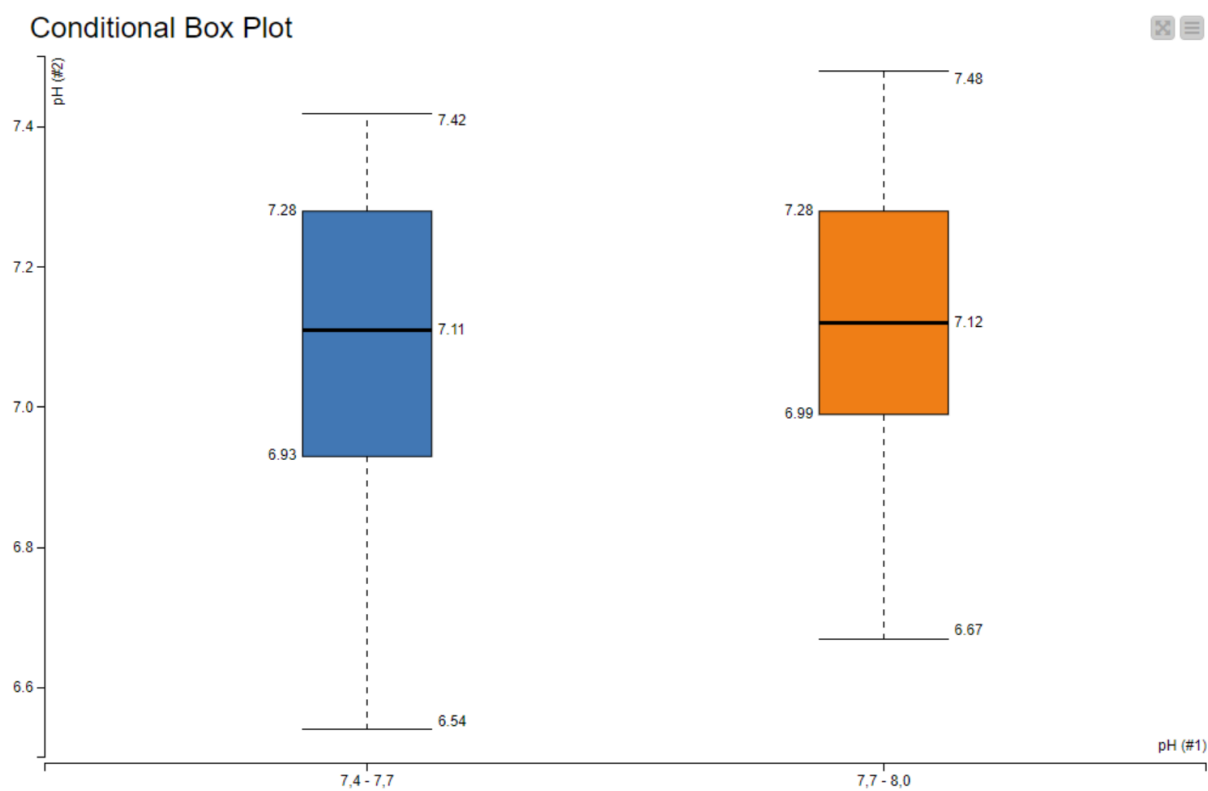
16. ábra Mintavételi helyszínek, értékek – szerves-anyag tartalom (forrás: Saját)

A statisztikai elemzés során a legkisebb és legnagyobb tartományban az eltérés 100 %-os volt a szkennelt és valós laboratóriumi mért adatok között. A szórás pedig értelmezhetetlen, mivel egy-egy értéket tudtam hozzárendelni a határértékekhez. Az 1,00-2,00 határértékhez tartozó laboratóriumi eredmények 48,15 %-a volt megegyező értékű határértékkel, míg a 2,00-2,50 határértéknél ez a szám csupán 30,77 %. A szerves-anyag tartalom (%) vonatkozásában a szkennert és a laboratóriumi eredmények nem mutatnak szoros összefüggést.

4.2.2. pH értékek vizsgálata

7. táblázat: pH értékek elemzése

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (pH)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek						
	pH	min (pH)	max (pH)	átlag (pH)	szórás	medián (pH)	tartományon kívüli érték (%)
7,40 - 7,70		6,54	7,42	7,08	0,23	7,11	92,59
7,70 - 8,00		6,67	7,48	7,11	0,23	7,12	100,00



17. ábra: pH box-plot analízis (forrás: Saját)



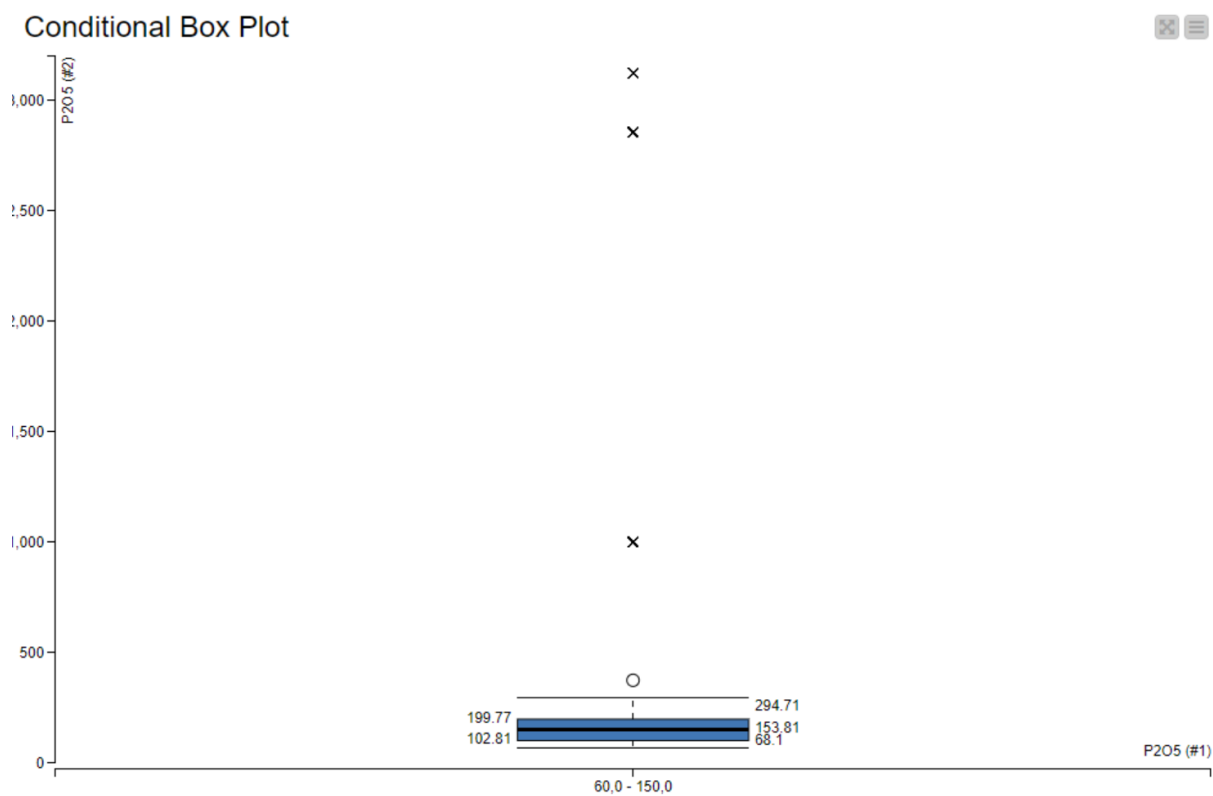
18. ábra Mintavételi helyszínek, értékek - pH (forrás: Saját)

A pH elemzésénél a fenti statisztikai módszerek a scanner által meghatározott határértékhez 92,52 %, illetve 100 %-ban nem találtak egyezést, annak ellenére, hogy a szórás ezen statisztikai vizsgálatoknál volt a legalacsonyabb. Mindösszesen két esetben volt azonos a laboratóriumi eredmény és a megadott határérték a pH vonatkozásában.

4.2.3. P₂O₅ értékek vizsgálata

8. táblázat: P₂O₅ értékek elemzése (forrás: Saját)

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (mg/kg)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek						
	P ₂ O ₅	min (mg/kg)	max (mg/kg)	átlag (mg/kg)	szórás	medián (mg/kg)	tartományon kívüli érték (%)
60,00 - 150,00		68,10	3124,92	306,74	625,44	153,81	54,76



19. ábra: P₂O₅ box-plot analízis (forrás: Saját)



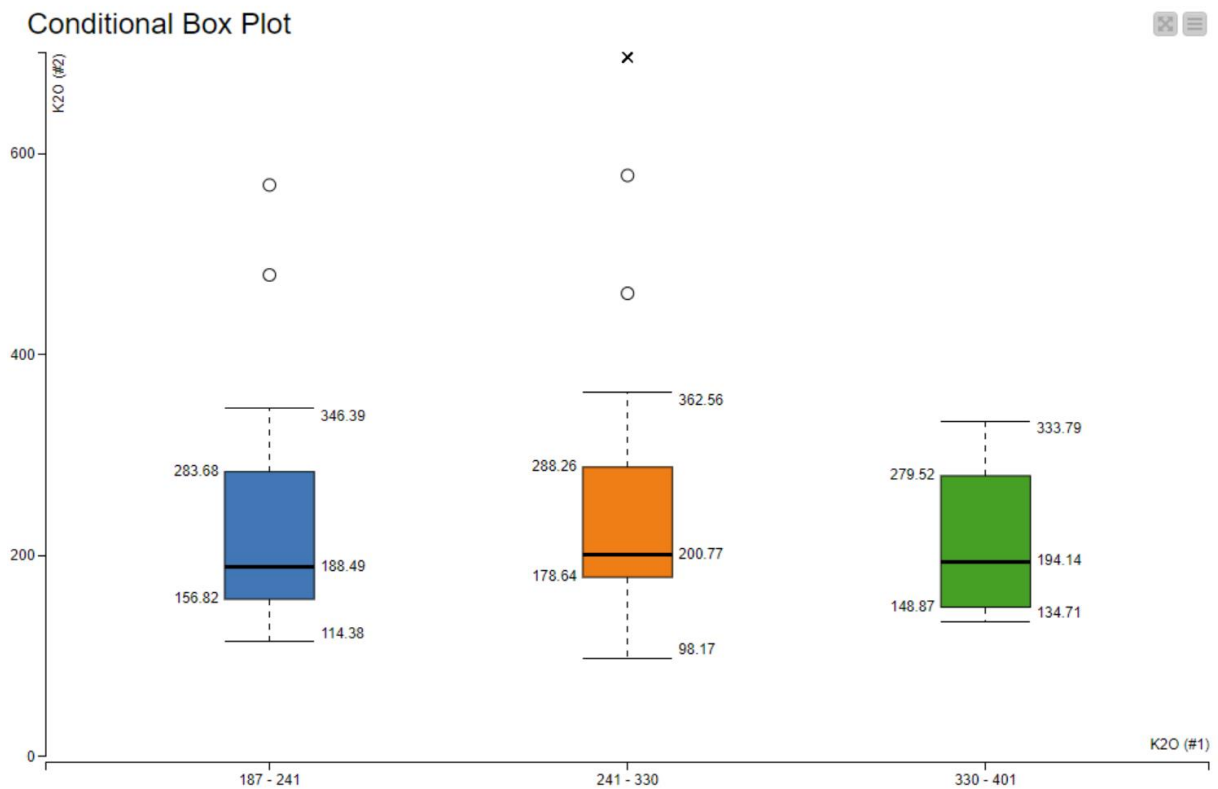
20. ábra Mintavételi helyszínek, értékek – P₂O₅ (forrás: Saját)

A legnagyobb mértékben a P₂O₅ vonatkozásában voltak azonosak a mért laboratóriumi eredmények illetve a szkener szoftvere által meghatározott határértékek. Igaz itt csak egy határérték csoportot kaptunk, melyhez rendkívül nagy szórású laboratóriumi eredményeket párosíthattunk, melyek alapja a különösen alacsony (68,10 mg/kg) és rendkívül magas (3124,92 mg/kg) vizsgálati eredmény értékek.

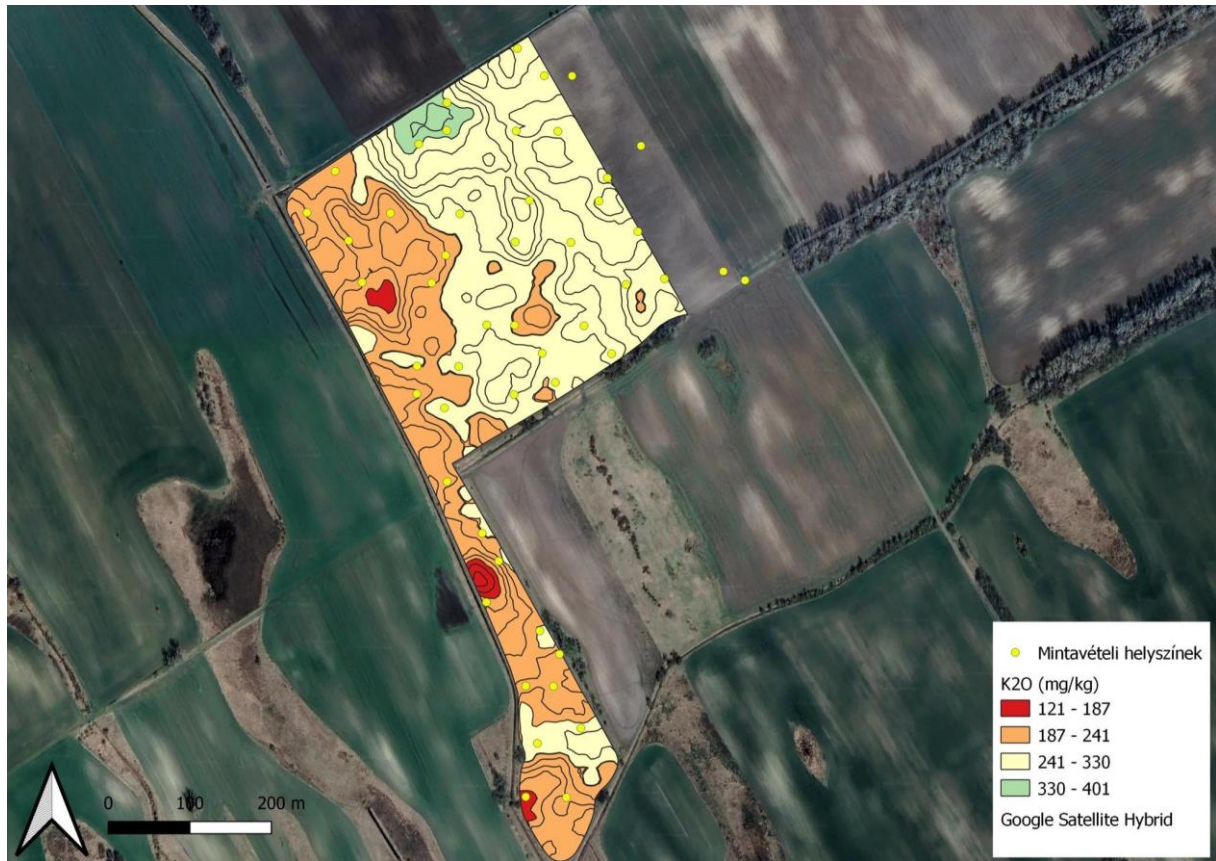
4.2.4. K₂O értékek vizsgálata

9. táblázat: K₂O értékek elemzése (forrás: Saját)

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (mg/kg)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek						
	K ₂ O	min (mg/kg)	max (mg/kg)	átlag (mg/kg)	szórás	medián (mg/kg)	tartományon kívüli érték (%)
187,00-241,00		114,38	568,90	243,70	128,59	188,49	93,75
241,00-330,00		98,17	695,90	261,15	147,68	200,77	77,27
330,00-401,00		134,71	333,79	214,20	88,24	194,14	75,00



21. ábra: K₂O box-plot analízis (forrás: Saját)



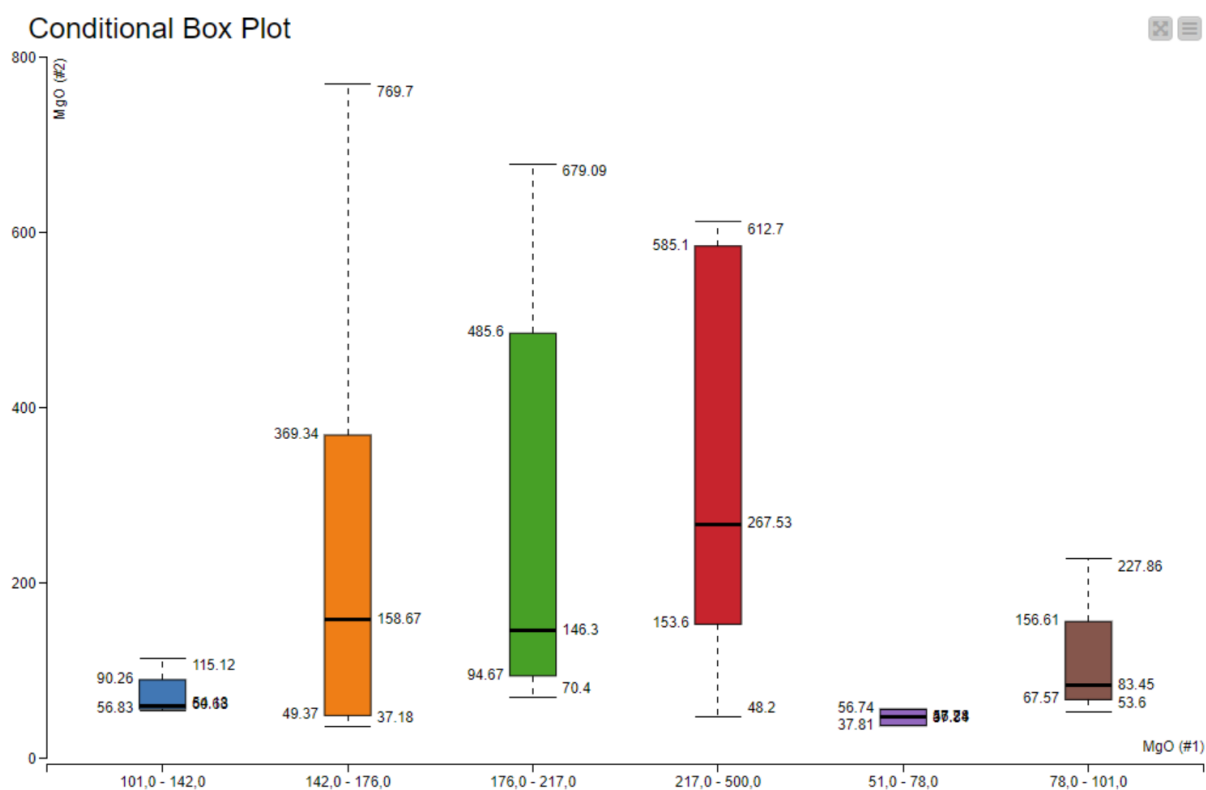
22. ábra Mintavételi helyszínek, értékek – K₂O (forrás: Saját)

A K₂O tartalom statisztikai elemzése során a három meghatározott határértékhez rendelt laboratóriumi vizsgálati eredmények 93,75 %, 77,27 % 75,00 %-ban nem mutattak egyezőséget. A vizsgálat érdekessége, hogy a szkener által megadott adatokból generált térkép, a domborzati modellel összefüggésben van.

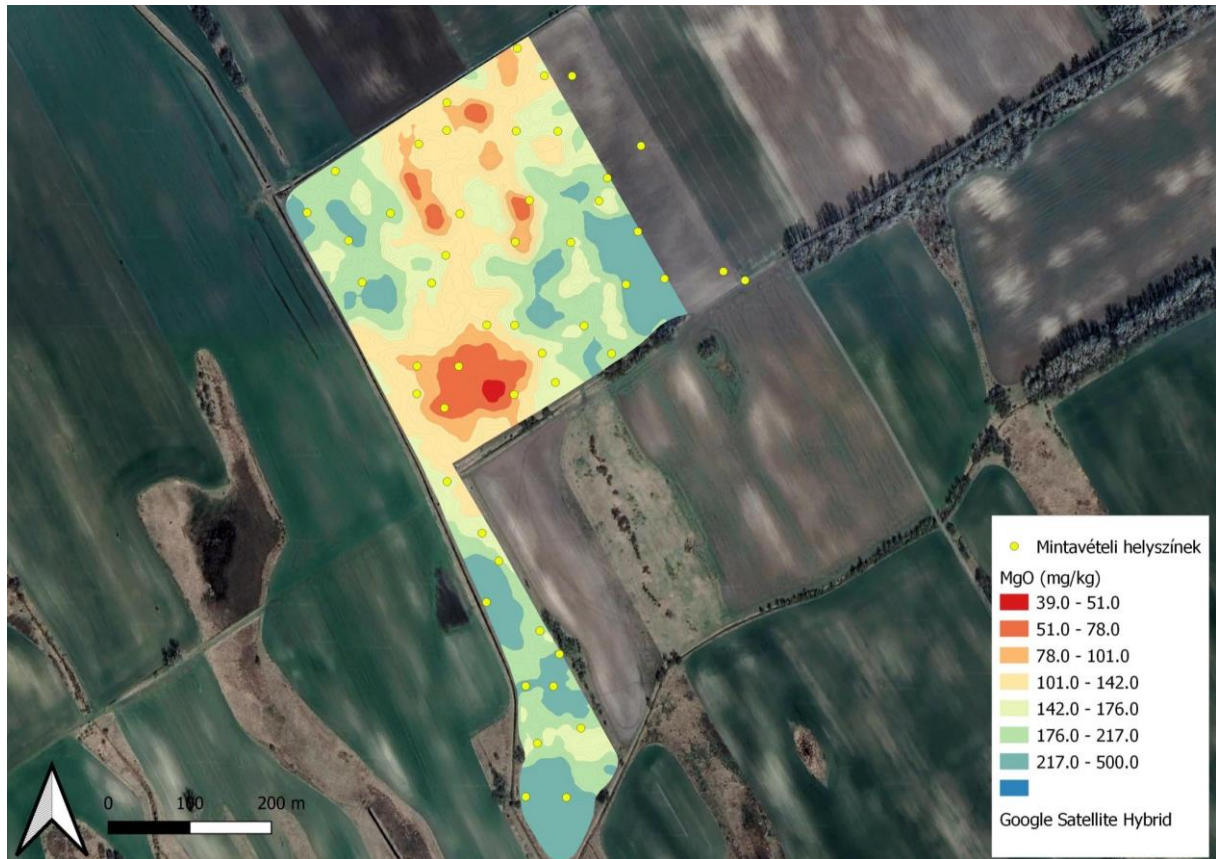
4.2.5 MgO értékek vizsgálata

10. táblázat: MgO értékek elemzése (forrás: Saját)

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (mg/kg)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek					
	MgO	min (mg/kg)	max (mg/kg)	átlag (mg/kg)	szórás	medián (mg/kg)
51,00-78,00	37,81	56,74	47,28	13,38	47,28	50,00
78,00-101,00	56,74	85,36	112,09	78,47	83,45	50,00
101,00-142,00	54,18	115,12	74,05	24,47	60,63	77,78
142,00-176,00	37,18	769,70	245,21	259,90	158,67	100,00
176,00-217,00	70,40	679,09	289,40	222,75	146,30	100,00
217,00-500,00	48,20	612,70	334,17	228,59	267,53	75,00



23. ábra: MgO box-plot analízis (forrás: Saját)



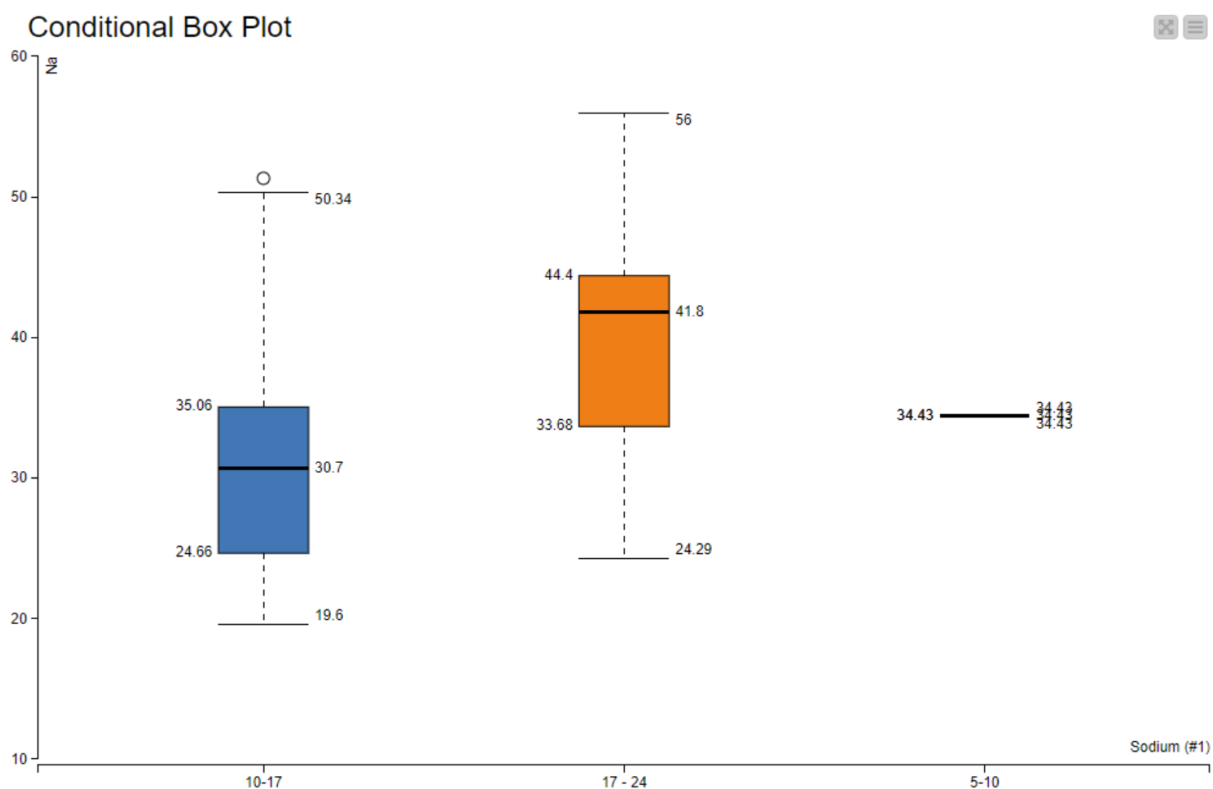
24. ábra Mintavételi helyszínek, értékek - MgO (forrás: Saját)

A legtöbb határérték tartományt a MgO esetében kaptuk a szkener szoftverétől. Érdekes, hogy az alacsonyabb határértékhez szorosabban kapcsolódtak laboratóriumi eredmények, két esetben 50%-os azonosságot láthattunk. Míg két határértéknél közel azonos 22,22 %-os, és 25 %-os azonosságot tapasztalhattunk. A szkener által megadott két határérték csoport (142,00-176,00, illetve 176,00-217,00) esetében nem volt azonosság.

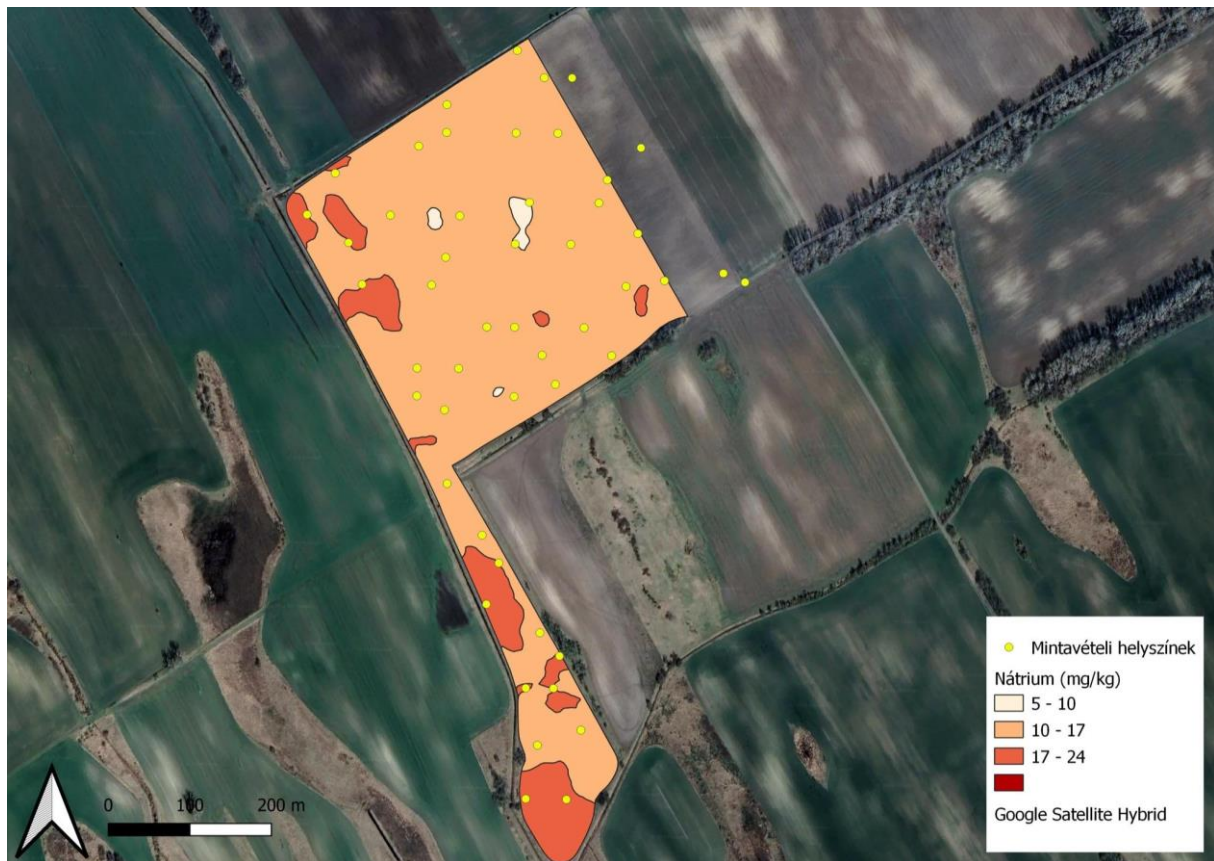
4.2.6. Nátrium értékek vizsgálata

11. táblázat: Na⁺ értékek elemzése (forrás: Saját)

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (mg/kg)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek						
	Na	min (mg/kg)	max (mg/kg)	átlag (mg/kg)	szórás	medián (mg/kg)	tartományon kívüli érték (%)
5,00-10,00		34,43	34,43	34,43	-	34,43	100,00
10,00-17,00		19,60	51,33	31,52	8,47	30,70	100,00
17,00-24,00		24,29	56,00	40,03	11,89	41,80	100,00



25. ábra: Na⁺ box-plot analízis (forrás: Saját)



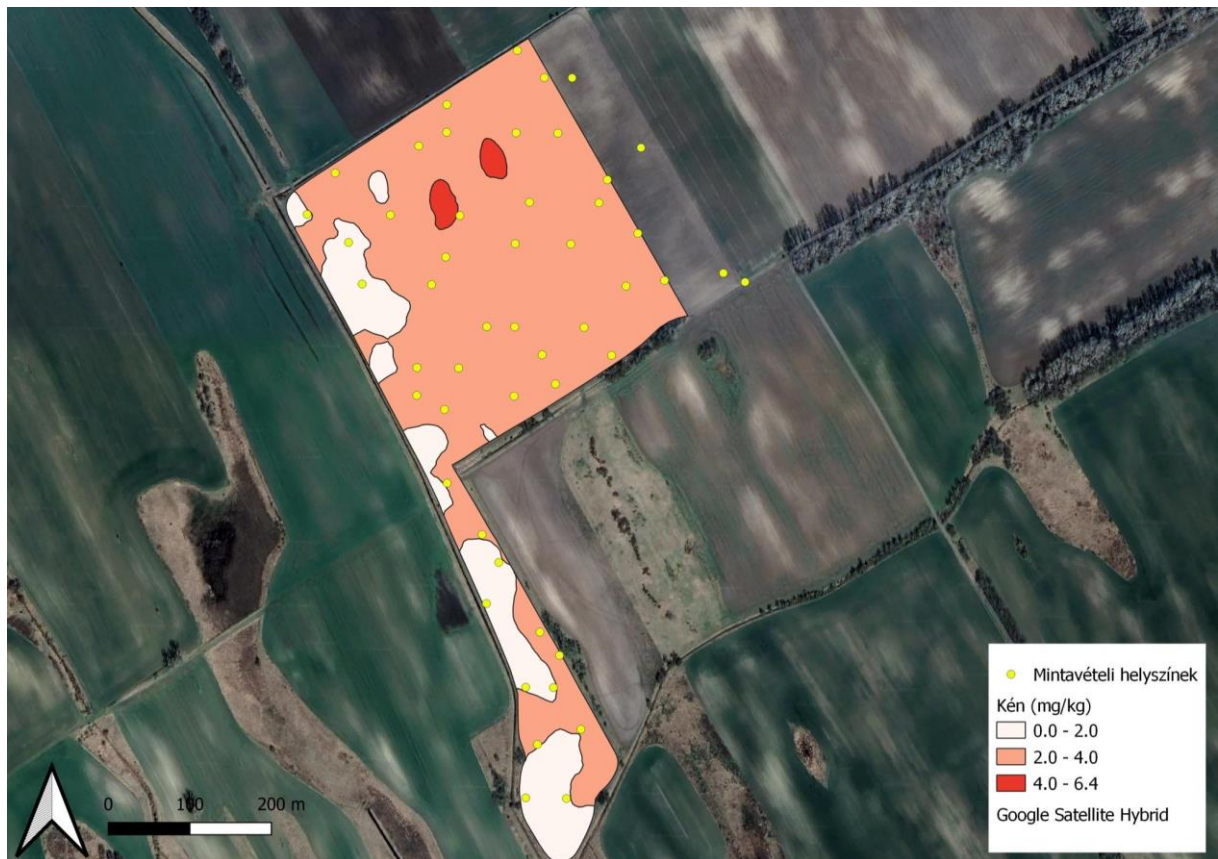
26. ábra Mintavételi helyszínek, értékek – Na⁺ (forrás: Saját)

A Na-hoz kapcsolódó statisztikai elemzés esetében, mindhárom a határérték csoporthoz 100%-os tartományon kívüli értéket rendeltünk. Annak ellenére, hogy a szórás viszonylag alacsony értékű volt, az átlag és medián értékek közelsége is jól tükrözi a laboratóriumi minták stabilitását,

4.2.7. Kén értékek vizsgálata

11. táblázat: S²⁻ értékek elemzése (forrás: Saját)

Szenzor kiértékelő szoftvere által megadott határértékek (mg/kg)	Laboratóriumi vizsgálatok által megadott értékek						
	S	min (mg/kg)	max (mg/kg)	átlag (mg/kg)	szórás	medián (mg/kg)	tartományon kívüli érték (%)
0,00-2,00		5,00	5,00	5,00	0,00	5,00	na
2,00-4,00		5,00	5,00	5,00	0,00	5,00	na



27. ábra Mintavételi helyszínek, értékek – S²⁻ (forrás: Saját)

A S statisztikai elemzésére részben volt lehetőség, mivel a laboratóriumi mérések eredményeként a S tartalom mérési tartományon kívüli (<5), mely részben megegyezik a talajszkenner eredményeivel, mivel a szkennert két poligonra osztva <4 mg/kg tartományt mért.

5. Következtetések és javaslatok

A vizsgálatok megkezdése előtt célkitűzésként szerepelt, hogy a két vizsgálati módszert, mely alapjaiban más metodikát használ, összehasonlítsam. A talajmintavételezésen alapuló módszerrel vannak, voltak tapasztalásaink, illetve azon adatokból számított differenciált műtrágya kijuttatási módszer kiegyenlítette a növényi kultúrákat. Kifejezetten nyitottan álltam a talajszkeneléshez, hiszen a több adat - amennyiben megfelelő - csak segítheti a munkákat, akár önállóan, akár a zonális mintavételezés kiegészítéseként.

A szerves-anyag tartalom vizsgálatánál a talajszkenelés teljesen kétségbeejtő adatokat adott az 1,00 % alatti szerves-anyagtartalmat is megjelenítve, miközben a négy határérték tartományban a laboratóriumi vizsgálatok átlagosan 2,03%-ot adtak meg. A 2,00 % alatti tartományban a laboratóriumi minták 46 darabszámából 28 darab esett bele, mindösszesen 51,85 %-os egyezőséggel. A magasabb 2,00-2,50 %-os szerves-anyag tartományhoz rendelt laboratóriumi minták átlaga csupán 1,86 % volt.

A pH kérdése rendkívül fontos a vetésszerkezet kialakításában. Nagy átlagban a semleges 7,0 körüli pH az optimális a kultúrnövények számára. Viszont bizonyos növények inkább a savasabb, esetleg enyhén lúgos talajokat részesítik előnyben. Ha a kultúrnövény indulásánál egy eleve nem optimális talaj pH-val találkozunk, biztosan nem számíthatunk rekord termésre. A lúgos talaj pH nem okozott nagy meglepetést az előző évek tapasztalatából, az viszont igen, hogy ez a talajszkenner kategorizálása szerint 7,7-8,0 értéket is elérhet. A laboratóriumi vizsgálatok viszont enyhén savas értékektől (pH 6,54), az enyhén lúgosig terjedtek (pH 7,48).

A foszfor kérdése rendkívül fontos a kultúrnövények fotoszintézisében, légzésénél, illetve energia rendszerében. A foszforhiány antociános tüneteket, a generatív részek működésében történő negatív változásokat okozhat. A talajszkenner 60-150 mg/kg-os egységes kategóriába sorolta a teljes területet. Igaz a laboratóriumi vizsgálatok mediánja nagyon közeli volt 153,81 mg/kg-os értékkel. A szórás viszont 625,44-es értéket adott 68,10 mg/kg minimumérték és 3124,92 mg/kg maximum értékek mellett.

A kálium jelentősége kiemelkedő a növények enzimikus működésében, szabályozza a növény sztómainak működését, ezáltal a vízgazdálkodását, illetve aszálytűrő képességét. A táblázatban a szkenner szoftvere által megadott három tartományban a medián és az átlag is jól közelített a megadott értékekhez, viszont a tartományon kívül értékek (%) itt is elmaradtak az elvárttól.

A magnézium a növényi működésben a klorofill működésében, és a anyagcsere szállításban játszik jelentős szerepet. A gyökérbővízítésnél rendkívül látványos különbségeket

tapaszthatunk magnéziummal jól ellátott, illetve magnézium hiányos növények esetében. A talajszkenelés hat határérték tartomány széles skálán mozog. A csoportokhoz rendelt laboratóriumi eredmények az alacsonyabb tartományokban kisebb, a magasabb tartományokban nagyobb szórást mutattak. Az eredményekből képzett határértékek száma (hat) az elvárthoz közelít.

A nátrium mint a talaj sótartalmának egyik fő összetevője, a szikesedő talajok jellemző eleme. Jelentősége a növények működésében a Kálimmal együtt abban van, hogy a növények vízháztartását szabályozza. A túlzott Na tartalmú talajokon a sótartalom érzékenység gazdasági kárként jelentkezhet.

A kénnek kiemelkedő szerepe van a vitaminok, enzimek, fehérjék felépítésében, továbbá az olajos növények zsírsavainak szintézisében, illetve a növények illóolajainak felépítésében.

Mind a nátrium, mind a kén esetében a talajszkenner kategorizálásához rendelt laboratóriumi határértékek szórása alacsony, ami az elemek alacsony értéktartományából adódhat. Emellett a tartományon kívüli értékek mindkét elem esetében, illetve minden határérték csoporthoz viszonyítva 100 %-os nem egyezőséget mutat.

Alapvető hiányosságként látom, hogy a talajok tápanyagtartalmának mérése során mért három makróelemből a szkener a nitrogén tartalmat semmilyen formában nem vizsgálta. Nem jelentette meg a nitrogén növény számára mobilizálhatóság állapotát, illetve féleségét. A nitrogén az összes növény számára kiemelkedően fontos makróelem, amely vegetatív részek fejlődéséért felelős, ezáltal meghatározza az asszimiláló felületet, ami közvetlenül hat a termés mennyiségére, illetve minőségére. A gazdálkodás során a nitrogén műtrágyák felhasználása a legnagyobb mértékű, így annak mennyiségi eloszlását kiemelten kell kezelni, főleg, ha helyspecifikusan szeretnénk gazdálkodni.

A jelenlegi AKG támogatási rendszer az alábbi tápelemek vizsgálatát kéri a bővített talajvizsgálathoz: pH (KCl), humusz, KA, összes só, CaCO_3 , NO_2+NO_3 , P_2O_5 , K_2O , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^+ . A fenti talajszkenelési módszer az imént felsorolt paraméterek közül nem vizsgálta az összes sótartalmat, $\text{NO}_2+\text{NO}_3^-$, Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^+ , illetve az Arany-féle kötöttségi értéket. Az Arany-féle kötöttségi értéktől eltekinthetünk, hiszen laboratóriumban valós fizikai vizsgálattal lehet megállapítani. Igaz a szkennelés során felvett 7 valós talajmintából, illetve szervesanyag tartalomból egy viszonyszám talán kalkulálható lenne.

Az általunk művelt területeken a CaCO_3 -nak is nagy a jelentősége ugyanis a jellemzően mészlepedékes csernozjom talajokon gazdálkodunk ahol a CaCO_3 tartalom határozza meg a pH-t, illetve erősen befolyásolja a mikro, mezo, makro elemek felvehetőségét. Mindemellett a növényi működés során a sejtfal képződésben játszik szerepet, így a növényi ellenállóképesség fontos építőköve.

A Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^+ mikroelemek jelentősége szintén nem elhanyagolható. A növények alapvető működésében jelentős szerepet játszanak, ami közvetlen befolyással bír a gazdálkodó által áhított termés mennyiségére és minőségére. Emellett a bokrosodásra, fotoszintézisre, enzimmépződésre közvetlen hatásuk van.

A fentiek alapján véleményem szerint a talajszkennernek van helye a precíziós gazdálkodásban. Viszont a mérési paraméterek, illetve a meghatározható tápelemek körét bővíteni kellene, hogy a gyors és sok mintavételi pontból eredő előnye kihasználható legyen. Mivel a valós laboratóriumi eredmények értékei jellemzően kívül estek a szkennel szoftver által meghatározott értéktartományokon, így gazdálkodóként nem gondolom, hogy csak ezekre az eredményekre alapozva szeretném kijuttatni a műtrágyát, főleg nem diferáltan. A szkennel szoftver által meghatározott valós talaj mintavételi pontok meghatározására is finomítani kéne az algoritmuson. Ezt alátámasztja az 8. ábra ahol jól látszik, hogy a 6-os, 7-es mintavételi pont szinte egymásra esik. Emellett a terület legmélyebb pontjairól nem kért mintát, ahol pedig esetleges tápelem lemosódás valószínűsíthető, a domborzati adottságokból kifolyólag, ami jelentősen befolyásolhatja talajban a tápanyagok mennyiségét.

6. Összefoglalás

A kísérleti eredményekből választ kaphattam arra, hogy egy gyors, sok mérési ponttal rendelkező talaj szkennelési-, mintavételezési módszer hiteles képet ad-e a gazdálkodásunkba vont területről, a hagyományosnak tekinthető grid mintatér meghatározáson alapuló mintavételezéshez, és laboratóriumi kiértékeléshez képest.

A szerves-anyag tartalom vizsgálatánál a talajszkennelés négy határérték tartományt határozott meg. A tartományokhoz képest a laboratóriumi vizsgálatok átlagosan 59,52 %-os eltérést mutattak.

A pH a talajszkenner kategorizálása szerint 7,4-8,0 értékek között mozog, két kategóriában. A laboratóriumi vizsgálatok viszont enyhén savas értékektől (pH 6,54), az enyhén lúgosig terjedtek (pH 7,48).

A foszfor esetében a talajszkenner 60-150 mg/kg-os egységes kategóriába sorolta a teljes területet. A térhálós mintavételen alapuló laboratóriumi vizsgálatok mediánja nagyon közeli volt 153,81 mg/kg-os értékkel. A szórás viszont 625,44-es értéket adott 68,10 mg/kg minimumérték és 3124,92 mg/kg maximum értékek mellett.

A kálium kiértékelésében a szkennelő szoftver által megadott három tartományban a medián és az átlag is jól közelített a megadott értékekhez, viszont a tartományon kívül értékek (83,33%) is elmaradtak az elvárttól.

A magnézium csoportokhoz rendelt laboratóriumi eredmények az alacsonyabb tartományokban kisebb, a magasabb tartományokban nagyobb szórást mutattak. Az eredményekből képzett határérték csoportok száma az elvárthoz közelít.

A nátrium, és a kén esetében is a talajszkenner kategorizálásához rendelt laboratóriumi határértékek szórása alacsony, illetve minden határérték csoporthoz viszonyítva 100 %-os eltérést mutat.

A talajszkennelési módszer nem vizsgálta az összes sótartalmat, CaCO_3 , NO_2+NO_3 , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^+ , illetve az Arany-féle kötöttségi értéket. Legnagyobb hiányosságként látom, hogy a nitrogén tartalmat semmilyen formában nem vizsgálta. Jellemzően mészlepedékes csernozjom talajokon gazdálkodunk ahol a CaCO_3 tartalom határozza meg a pH-t, illetve erősen befolyásolja a mikro, mezo, makro elemek felvehetőségét.

A talajszkennernek van helye a precíziós gazdálkodásban. Viszont a mérési paraméterek, illetve a meghatározható tápelemek körét bővíteni kellene, hogy a gyors és sok mintavételi pontból eredő előnye kihasználható legyen. Mivel a valós laboratóriumi eredmények értékei jellemzően kívül estek a szkener szoftvere által meghatározott értéktartományokon, így gazdálkodóként nem gondolom, hogy csak ezekre az eredményekre alapozva szeretném kijuttatni a műtrágyát, főleg nem diferáltan. A szélsőséges, esetenként toxikus paraméterekről sem kapunk képet. Erre jó példa P_2O_5 szélső értékei, illetve a talajszelvények vizsgálatokor megjelenő magas talajvízszint.

A térhálós mintahelyek meghatározása műholdfelvételek, hozamtérképek, növényi állományfelvételek elemzései, magassági térképek alapján, stb. történhet. Ha a kötelező öt évente, 5 hektáronként egy minta sűrűséget besűrítjük, akár a térben, akár az időben akkor egy komplexebb képet kaphatunk üzemünk tápanyag gazdálkodásával kapcsolatban. Amennyiben a mintavételezés mellett még talajszelvények elemzését is elvégezzük, képet kapunk a talajszerkezet kialakulásáról, állapotáról, gazdálkodásunk, talajművelésünk helyességéről, hogy megőrizzük a talajaink termékenységét és tápanyag szolgáltató képességét.

Irodalmi jegyzék

1. Abbate, P.E. – Dardanelli, J.L. – Cantarero, M.G. – Maturano, M. – Melchiori, R.J.M. – Suero, E.E. (2004): Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 483, 474–483.
2. Ahmad, L. – Mahdi, S.S. (2018): Variable rate technology and variable rate application. Springer, In *Satellite Farming*, 67–80.
1. Armagan, Z.E. (2016): Global trends in agriculture and technological solutions, in: *Fifth World Summit on Agriculture Machinery*, 21 January 2016, Istanbul, Turkey.
2. Arrouays, D. – Mulder, V.L. – Richer-de-Forges, A.C. (2021): Soil mapping, digital soil mapping and soil monitoring over large areas and the dimensions of soil security – a review. *Soil Secur.*, 5, 100018-100018.
3. Bharti, A.K. – Pal, S.K. – Priyam, P. – Kumar, S. – Shalivahan, S. – Yadav, P.K. (2016): Subsurface cavity detection over Patherdih colliery, Jharia Coalfield, India using electrical resistivity tomography. *Environ. Earth Sci.* 75 (5), 1–17.
4. Burton, L. – Jayachandran, K. – Bhansali, S. (2020): Review - The “Real-Time” Revolution for In situ Soil Nutrient Sensing. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(3), 037569.
5. Cartwright, N. – Jessen, O.Z. – Nielsen, P. (2006): Application of a coupled ground-surface water flow model to simulate periodic groundwater flow influenced by a sloping boundary, capillarity and vertical flows. *Environ. Model Softw.* 21 (6), 770–778.
6. Cordeiro, M.R.C. – Ranjan, R.S. – Cicek, N. (2011): Assessment of potential nutrient build-up around beef cattle production areas using electromagnetic induction. *Environ. Technol.* 32, 1–9.
7. Corwin, D.L. – Lesch, S.M. (2003): Application of soil electrical conductivity to precision agriculture. *Agron. J.* 95 (3), 455–471.
8. Dang, Y.P. – Dalal, R.C. – Pringle, M.J. – Biggs, A.J.W. – Darr, S. – Sauer, B. – Moss, J. – Payne, J. – Orange, D. (2011): Electromagnetic induction sensing of soil identifies constraints to the crop yields of north-eastern Australia. *Soil Res.* 49, 559–571.
9. Doerge, T. (1999): Defining management zones for precision farming. *Crop Insights* 8(21), 1–5.
10. El Nahry, A. – Ali, R. – El Baroudy, A. (2011): An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Agric. Water Manag.* 98, 517–531.
11. EPRS. (2016): Precision agriculture and the future of farming in Europe, in: *Scientific Foresight Study*, European Parliament Research Service (EPRS), 42.
12. Ess, D.R. – Morgan, M.T. – Parson, S. (2001): Implementing site-specific management: map-versus sensor-based variable rate application. Pub. No. SSM-2-W, Site-Specific Management Center, Purdue University, West Lafayette.
13. Fan, B. – Liu, X. – Zhu, Q. – Qin, G. – Li, J. – Lin, H. – Guo, L. (2020): Exploring the interplay between infiltration dynamics and Critical Zone structures with multiscale geophysical imaging: a review. *Geoderma* 374, 114431.
14. FAO (2006): Guidelines for soil description. 4th edition. FAO, Rome.

15. Fraisse, C.W. – Sudduth, K.A. – Kitchen, N.R. – Fridgen, J.J. (1999): Use of unsupervised clustering algorithms for delineating within-field management zones. ASAE Paper No. 993043. International Meeting, Toronto, Ontario, Canada. July 18–21.
16. Franzen, D.W. – Hopkins, D.H. – Sweeney, M.D. – Ulmer, M.K. – Halvorson, A.D. (2002): Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific nitrogen management. *Agron. J.* 94, 381–389.
17. Fridgen, J.J. – Kitchen, N.R. – Sudduth, K.A. – Drummond, S.T. – Wiebold, W.J. – Fraisse, C.W. (2004): Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. *Agron. J.* 96, 100–108.
18. Gebbers, R. – Adamchuk, V.I. (2010): Precision agriculture and food security, *Science* 327 (5967) 828–831.
19. Grisso, R.D. – Alley, M.M. – Holshouser, D.L. – Thomason, W.E. (2005): Precision farming tools. Soil electrical conductivity.
20. Guan, S. – Fukami, K. – Matsunaka, H. – Okami, M. – Tanaka, R. – Nakano, H. – Sakai, T. – Nakano, K. – Ohdan, H. – Takahashi, K. (2019): Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sens.* 11, 112.
21. Hakkim, V. – Joseph, E. – Gokul, A. – Mufeedha, K. (2016): Precision farming: the future of Indian agriculture, *J. Appl. Biol. Biotechnol.* 4 (6) 68–72.
22. Iida, M. – Umeda, M. – Radite, P. (1998): Variable rate fertilizer applicator for paddy field. In *Proceedings of the 2001 ASAE Annual Meeting*. 1.
23. IUSS WORKING GROUP WRB (2015): World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soilmaps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
24. Jaynes, D.B. – Colvin, T.S. – Ambuel, J. (1994): Yield mapping by electromagnetic induction. *Proceedings of the Second International Conference on Site-specific Management for Agricultural Systems*, Minneapolis, Minnesota, 383–394.
25. Jury, W.A. – Horton, R. (2004): *Soil Physics*. John Wiley & Sons.
26. Kravchenko, A.N. – Bullock, D.G. (2000): Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.* 92, 75–83.
27. Kravchenko, A.N. – Robertson, G.P. – Thelen, K.D. – Harwood, R.R. (2005): Management, topographical, and weather effects on spatial variability of crop grain yields. *Agron. J.* 97, 514.
28. Kuriakose, S.L. – Devkota, S. – Rossiter, D.G. – Jetten, V.G. (2009): Prediction of soil depth using environmental variables in an anthropogenic landscape, a case study in the Western Ghats of Kerala. India. *Catena* 79 (1), 27–38.
29. Lan, Y. – Zhang, S. – Li, W. – Hoffmann, W. C. – Ma, C. (2008): Variable rate fertilization for maize and its effects based on the site-specific soil fertility and yield. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* X, 1–10.
30. Láng V. – Fuchs M. – Waltner I. – Michéli E. (2013): Soil taxonomic distance, a tool for correlation: As exemplified by the Hungarian Brown Forest Soils and related WRB Reference Soil Groups. *Geoderma*. 192. 269–276.

31. Li, Y. – Shi, Z. – Li, F. – Li, H.Y. (2007): Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Comput. Electron. Agric.* 56, 174–186.
32. Lin, H. (2012a): Chapter 2 - Understanding soil architecture and its functional manifestation across scales. In: Lin, H. (Ed.), *Hydropedology*. Academic Press, Boston, 41–74.
33. Lin, H. (2012b): Chapter 1 - Hydropedology: addressing fundamentals and building bridges to understand complex pedologic and hydrologic interactions. In: Lin, H. (Ed.), *Hydropedology*. Academic Press, Boston, pp. 3–39.
34. Ma, Y.J. – Li, X.Y. – Guo, L. – Lin, H. (2017): Hydropedology: Interactions between pedologic and hydrologic processes across spatiotemporal scales. *Earth-Sci. Rev.* 171, 181–195.
35. Michéli E. – Fuchs M. – Hegyemegi P. – Stefanovits, P. (2006): Classification of the major soils of Hungary and their correlation with the World Reference Base for Soil Resources (WRB). *Agrokémia és Talajtan.* 55 (1). 19–28.
36. Michéli E. – Fuchs M. – Szegi T. – Csorba Á. – Dobos E. – Szabóné K.G. (2018): A diagnosztikus szemléletben megújított hazai talajosztályozási rendszer. Oktatási segédlet Talajtani szakmérnök hallgatók számára. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő.
37. Morgan, M. – Ess, D. (1997): *The precision-farming guide for agriculturists*. Deere and Company.
38. Mulla, D.J. (2013): Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosys. Eng.* 114, 358–371.
39. Pan, X. – Zhang, J. – Huang, P. – Roth, K. (2012): Estimating field-scale soil water dynamics at a heterogeneous site using multi-channel GPR. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 16 (11), 4361–4372.
40. Perakis, K. – Lampathaki, F. – Nikas, K. – Georgiou, Y. – Marko, O. – Maselyne, J. (2020): CYBELE-fostering precision agriculture & livestock farming through secure access to large-scale HPC enabled virtual industrial experimentation environments fostering scalable big data analytics, *Comput. Network.* 168 107035.
41. Peterson, T. – Wallenhaupt, N. (1996): Considerations in mapping soil properties or what about this grid sampling. *Crop Insights* 6, 1–10.
42. Rezaei, M. – De Pue, J. – Seuntjens, P. – Joris, I. – Cornelis, W. (2017): Quasi 3D modelling of vadose zone soil-water flow for optimizing irrigation strategies: challenges, uncertainties and efficiencies. *Environ. Model Softw.* 93, 59–77.
43. Or, D. – Keller, T. – Schlesinger, W.H. (2021): Natural and managed soil structure: on the fragile scaffolding for soil functioning. *Soil Tillage Res.* 208, 104912-104912.
44. Schepers, A.R. – Shanahan, J.F. – Liebig, M.K. – Schepers, J.S. – Johnson, S.H. – Luchiaro Jr., A. (2004): Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agron. J.* 96, 195–203.
45. Sharma, A. – Jain, A. – Gupta, P. – Chowdary, V. (2021): Machine learning applications for precision agriculture: a comprehensive review, *IEEE Access* 9 4843–4873.

46. Sudduth, K.A. – Drummond, S.T. – Birrell, S.J. – Kitchen, N.R. (1997): Spatial modeling of crop yield using soil and topographic data. In: Stafford, J.V. (Ed.), Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture, Warwick University Conference Centre, United Kingdom, pp.439–447.
47. Sudduth, K.A. (1999): Engineering technologies for precision farming. In Proceedings of the International seminar on agricultural mechanization technology for precision farming. 5-27.
48. Simůnek, J. – van Genuchten, M.T. – Sejna, M. (2016): Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages. *Vadose Zone J.* 15 (7).
49. Soil survey staff (1999): Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agricultural Handbook No. 436. 2nd ed. Natural Resources Conservation Service, USDA. Washington, D. C.
50. Stefanovits P. (1963): Magyarország talajai 2. Bővített, átdolgozott kiadás. Akadémiai Kiadó. Budapest.
51. Stefanovits P. (1972): Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
52. Stefanovits P. (1999): A talajok osztályozása. In: Stefanovits, P., Filep, Gy. & Füleky, Gy. Talajtan. 239–320. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
53. Sui, R. (2019): Performance assessment of a variable-rate fertilizer applicator. *J. Agric. Sci.* 11, 25–30.
54. Triantafilis, J. – Lesch, S.M. (2005): Mapping clay content variation using electromagnetic induction techniques. *Comput. Electron. Agric.* 46, 203–237.
55. Turner, J.R. – Stine, R.S. – Stine, L.F. (2018): A comparison of ground-penetrating radar, magnetic gradiometer and electromagnetic induction survey techniques at House in the Horseshoe State Historic Site. *Journal of Archaeological Science: Reports.* 200, 33-46.
56. Várallyay et al. (2010): Soil conditions in Hungary based on the data from the Soil Conservation Information and Monitoring System (SIMS). Ministry of Agriculture and Rural Development. Budapest.
57. Vrchota, J. – Pech, M. – Svepesová, I. (2022): Precision agriculture technologies for crop and livestock production in the Czech republic, *Agriculture* 12 1080.
58. Wang, W. – Zhao, Y. – Zhang, T. – Wang, R. – Wei, Z. – Sun, Q. – Wu, J. (2021): Regional soil thickness mapping based on stratified sampling of optimally selected covariates. *Geoderma* 400, 115092-115092.
59. Wiaux, F. – Cornelis, J.T. – Cao, W. – Vanclooster, M. – Van Oost, K. (2014): Combined effect of geomorphic and pedogenic processes on the distribution of soil organic carbon quality along an eroding hillslope on loess soil. *Geoderma* 216, 36–47.
60. Woodbury, B.L. – Lesch, S.M. – Eigenberg, R.A. – Miller, D.N. (2009): Electromagnetic induction sensor data to identify areas of manure accumulation on a feedlot surface. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 2068–2077.
61. Yao, R.J. – Yang, J.S. (2010): Quantitative evaluation of soil salinity and its spatial distribution using electromagnetic induction method. *Agric. Water Manag.* 97, 1961–1970.

62. Yin, H. – Cao, Y. – Marelli, B. – Zeng, X. – Mason, A.J. – Cao, C. (2021): Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture. *Advanced Materials*, 33(20), 2007764.
63. Zhang, N. – Wang, M. – Wang, N. (2020): Precision agriculture - a worldwide overview, *Comput. Electron. Agric.* 36 (2) 113–132.
64. Zhu, Q. – Lin, H. – Dootlittle, J. (2010): Repeated electromagnetic induction surveys for improved soil mapping in an agricultural landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 1763–1774.
65. Zhu, Y. – Shi, L. – Lin, L. – Yang, J. – Ye, M. (2012): A fully coupled numerical modeling for regional unsaturated–saturated water flow. *J. Hydrol.* 475, 188–203.

Digitális irodalmak:

URL¹: <https://agraragazat.hu/hir/kezelesizona-lehatarolasi-modszerek-osszehasonlitasa-hozamterkeppel-es-ellenorzese-talajmintavetellel/>

URL²: <https://www.innov8.ag/soiloptix>

URL³: <https://soiloptix.com/what-is-soiloptix/our-technology/>

Ábrák jegyzéke

oldal:

1. ábra	SoilOptix® szenzor	12.
2. ábra	Kistáji besorolásban megjelenített terület	15.
3. ábra	A felmért területen jellemző talajeróziós foltok	16.
4. ábra	Magyarország átlagos éves középhőmérséklete	17.
5. ábra	Magyarország éves csapadékösszege	17.
6. ábra	Gazdaság által művelt szántóterületek	19.
7. ábra	Mintázott terület tengerszint feletti magasságértékei	20.
8. ábra	A talajszkenner útvonala, és valós talaj mintavételi pontjai	21.
9. ábra	50 db mintapont randomizált grid elrendezésben	22.
10. ábra	1. talajszelvény	23.
11. ábra	2. talajszelvény	25.
12. ábra	3. talajszelvény	27.
13. ábra	4. talajszelvény	29.
14. ábra	5. talajszelvény	31.
15. ábra	Szerves-anyag box-plot analízis	34.
16. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek – szerves-anyag tartalom	35.
17. ábra	pH box-plot analízis	36.
18. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek - pH	37.
19. ábra	P ₂ O ₅ box-plot analízis	38.
20. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek – P ₂ O ₅	39.
21. ábra	K ₂ O box-plot analízis	40.
22. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek – K ₂ O	41.
23. ábra	MgO box-plot analízis	42.
24. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek – MgO	43.
25. ábra	Na ⁺ box-plot analízis	44.
26. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek – Na ⁺	45.
27. ábra	Mintavételi helyszínek, értékek - S ²⁻	46.

Táblázatok jegyzéke

oldal:

1. táblázat: 1. talajszelvény laboratóriumi eredményei	24.
2. táblázat: 2. talajszelvény laboratóriumi eredményei	26.
3. táblázat: 3. talajszelvény laboratóriumi eredményei	28.
4. táblázat: 4. talajszelvény laboratóriumi eredményei	30.
5. táblázat: 5. talajszelvény laboratóriumi eredményei	32.
6. táblázat: Szerves-anyag tartalom értékek elemzése	34.
7. táblázat: pH értékek elemzése	36.
8. táblázat: P ₂ O ₅ értékek elemzése	38.
9. táblázat: K ₂ O értékek elemzése	40.
10. táblázat: MgO értékek elemzése	42.
11. táblázat: Na ⁺ értékek elemzése	44.
11. táblázat: S ²⁻ értékek elemzése	46.

NYILATKOZAT

szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Radics Tamás
A Hallgató Neptun kódja: UFGXBK
A dolgozat címe: Talajszkenner összehasonlító elemzése
A megjelenés éve: 2024.
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Talajtani Tanszék

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

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

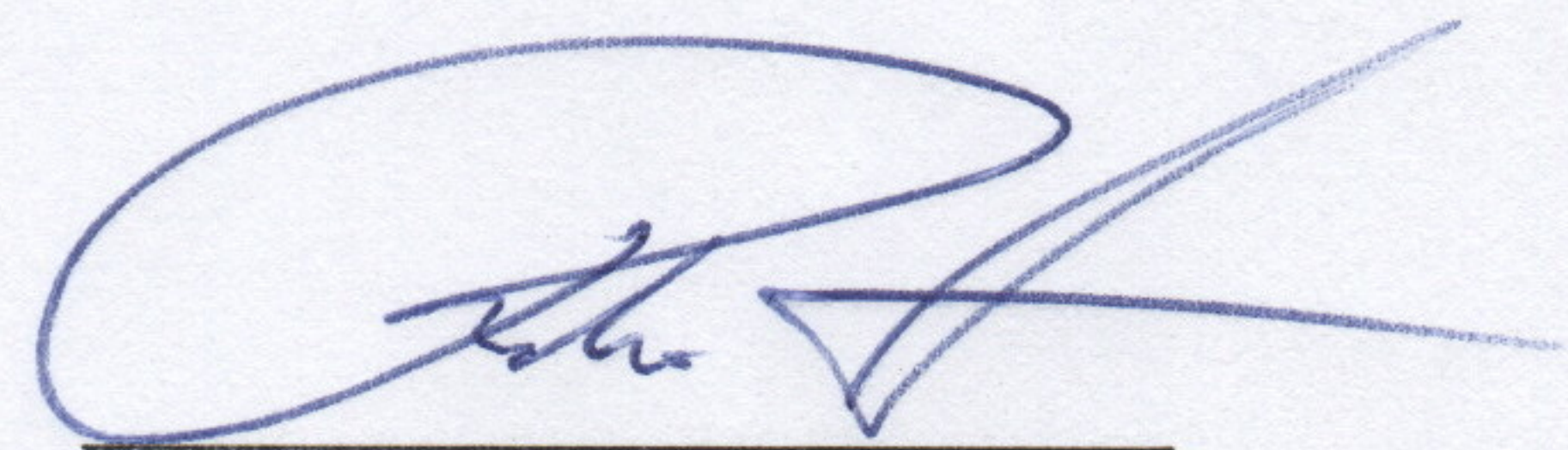
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Székesfehérvár, 2024. év április hó 28. nap



Hallgató aláírása

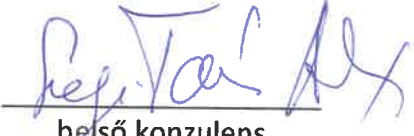
NYILATKOZAT

Radics Tamás (név) (hallgató Neptun azonosítója: **UFGXBK**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő, 2024. év április hó 29 nap


belső konzulens
Szegi Tamás András

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.