

Diplomadolgozat

HORVÁTH GERGELY ANDRÁS

Osztatlan agrármérnök MSc



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Osztatlan agrármérnök MSc

Pest Vármegyei TIM minták spektroszkópiai vizsgálata

Belső konzulens:	Dr. Szegi Tamás András tanszékvezető helyettes
Belső konzulens:	Dr. Csorba Ádám egyetemi docens
Készítette:	Horváth Gergely András WE7FKO nappali tagozat
Intézet/Tanszék:	Talajtani Tanszék

Gödöllő
2023

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzések.....	5
2. Szakirodalmi áttekintés.....	7
2.1 A talaj.....	7
2.2 A talaj funkciói	7
2.3 Talajfunkciók kezelése.....	9
2.4 Elektromágneses sugárzás	9
2.5 Változó elvárások a talajmérésekben.....	10
2.6 A spektroszkópia, mint talajvizsgálati módszer.....	10
2.7 A spektroszkópiával történő nagy területek talajtulajdonságainak becslése	11
2.8 Spektroszkópia fejlődése	12
2.9 Az infravörös spektroszkópia alapelvei	12
2.10. A kemometria.....	14
2.11. Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer (TIM)	15
2.12 Szervesanyag tartalom	17
2.13 Kation csere kapacitás.....	18
2.14 Kémhatás.....	18
2.15 Agyagtartalom.....	20
2.16 Homoktartalom	21
2.17 Portartalom.....	22
3. A vizsgálatok módszerei.....	24
3.1 Anyagok és módszerek	24
3.2 A minták mérése	25
3.3 A mérés menete.....	25
3.4 Módszertan.....	27
4. Eredmények és értékelésük	29

5. Következtetések és javaslatok	33
6. Összefoglalás	34
7. Köszönetnyilvánítás.....	36
8. Irodalomjegyzék	37

1. Bevezetés és célkitűzések

A talaj szolgáltat az emberi lét, és az ökoszisztéma számára nélkülözhetetlen, a fentmaradáshoz szükséges javakat, és befolyásolja az életet a bolygónkon – vagy ide írd meg a talajok funkcióit szépen. Ezek miatt a talaj védelme, fenttartása, megőrzése, és fenttartható kezelése az emberiség egyik legfontosabb hosszútávú érdekei közé tartozik. Korunkban a talajok funkciói számos degradációs folyamatnak vannak kitéve, biodiverzitás csökkenés, szervesanyag csökkenés, erózió, fizikai degradáció, talajlefedés ide még írd egy párat A talaj állapotának felmérése fontos a talaj fenttartható használta szempontjából, hogy milyen beavatkozásokat érdemes alkalmazni, ha egyáltalán érdemes-e. Ehhez elengedhetetlen a talajok pontos ismerete, ugyanakkor a mérési módszerek fejlődnek, változnak. Társadalmi szinten érzékelhető növekedés van a talaj állapotának minél pontosabb, minél gyorsabb, és minél nagyobb területen történő mérésére, megismerésére (Grunwald et al 2011; Ben-Dor & Banin 1995). A talaj állapotának folyamatos mérése a gyorsan elvégezhető, kis költségű, in-situ módszereken alapul, melyek pontos, és megbízható adatokat szolgáltatnak, és egymással összehasonlítható eredményeket adnak, mely könnyen tárolható. Az elmúlt évtizedekben az infra reflektanciás spektroszkópia vált ennek a gyors, olcsó, megismételhető, relatíve egyszerű, környezetbarát, nem roncsolásos mérésnek a módszerévé (Soriano-Disla et al. 2014).

Munkám célja a talaj hagyományos laboratóriumi vizsgálati módszereinek bemutatása, majd egy, a véleményem és az irodalom szerint is költséghatékony, időhatékony, és leginkább elérhető technológia, a spektroszkópia bemutatása. Azért gondolom, hogy ez a módszer a legalkalmasabb a talaj vizsgálati igényeire, mert nem körülményes, nem kell bonyolult berendezés, nincs szükség bonyolult mérési procedúrára, azonnal, gyorsan, és megbízható talajadatot lehet vele felvételezni, mely adatokból az agrárium számára is elengedhetetlen talajinformációt tudunk kinyerni. Mivel alapvetően a területem a mezőgazdaság, és azon belül a szántóföldi növénytermesztés, így úgy gondolom, hogy egy megbízható, gyors talajvizsgálati módszerre igen is szükség, és igény van a mai modern mezőgazdaságban, így is támogatva a precíziós mezőgazdálkodást. Mivel egy földterület teljes mértékben egyedi, és egyes részein, pontjain eltérő mennyiségű, összetételű, és más fajtájú talajalkotók lehetnek, így véleményem szerint egy pontos, gyors, és megbízható talajvizsgálati módszer elterjedése, és „meghonosodása” a hazai agráriumban újabb lehetőségeket nyithatna meg a minél eredményesebb, precízebb gazdálkodásban. Legyen szó akár a terület hasznosításának meghatározásáról, például annak megállapítására, hogy egy adott terület talajai inkább

szántóföldi növénytermesztésre alkalmasak-e, míg bizonyos talajok alkalmasabbak haszonállatok legeltetésére, ennek meghatározásához fontos tudnunk, hogy milyen tulajdonságú talajjal is rendelkezünk. Ezen kívül fontos szerepet játszik a vetésforgó kialakításában, bizonyos növényeknek mások a talaj iránt támasztott igényeik, a tápanyag kijuttatásáról, vagy akár az öntözés mennyiségéről, nagyon fontos, hogy milyen tulajdonságokkal rendelkezik a terület, melyen gazdálkodó tevékenységet kívánunk végezni. Ezen ismeretek tudata nem csak az eredményesebb gazdálkodást segíti elő, de pozitív hatással lehet a talajra is. Legyen szó annak állapotáról, szerkezetéről, vagy a talajalkotó élőlényekről. Nem utolsósorban vízgazdálkodási szempontból is kritikus a talaj tulajdonságainak ismerete, mely meghatározhatja a mezőgazdasági tevékenység sikerességét, és fenntarthatóságát.

Munkám során a Talajinformációs és Monitoring Rendszer (TIM) Pest Vármegyei mintáit végeztem a méréseimet. Célkitűzésem, hogy a talajmintákon elvégzett középső infravörös spektrális mérések és a rendelkezésre álló referencia adatok (hagyományos laboratóriumi analitikai módszerekkel meghatározott talajparaméterek) alapján többváltozós matematikai-statisztikai (kemometriai) modelleket hozzak létre, melyek felhasználhatóak további Pest Vármegyei talajminták tulajdonságainak meghatározására, kizárólag spektrális mérésekre támaszkodni.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 A talaj

A talaj egy sok részből álló, komplex, és összetett heterogén szisztéma, mely folyamatait, mechanizmusait, és ezek összefüggéseit nehéz megérteni. A talaj ad otthont megannyi élő, és élettelen elemnek, mely elemek mind hatással vannak rá, és mind elemei a komplex, bonyolult, és összetett hálónak. Számos módszer létezik a talaj tulajdonságainak mérésére, legyenek azok fizikaiak, vagy kémiaiak, illetve az egyes talajkomponensek közötti összefüggések kimutatására, felderítésére. Ám ezen elemek kölcsönhatásainak összetettsége nehezíti a talajviszonyok kellően részletes, és alapos leírását, jellemzését.

2.2 A talaj funkciói

A talajnak rendkívül széleskörűek a funkciói. Legyen szó a növények számára történő tápanyag biztosításáról, vagy az élelmiszerek, illetve a biomassa előállításában. A talaj ezek mellett otthont ad megannyi talajlakó szervezet számára, kulcsfontosságú szerepet játszik a biodiverzitás fenttartásában. Vízátvitel, illetve víz szolgáltató hatása nélkülözhetetlen az élet fentmaradásához a bolygón. A talaj ad színteret a tápanyag körforgalmának is, szénket köt meg, illetve „ápol, és eltakar”, fontos a történelmi emlékek, illetve a földtörténeti, geológiai elemek megőrzésében. Ezeken kívül nyersanyagként is szolgál az építmények számára. (Stefanovits et al. 1999) A talaj egyik legfontosabb funkciója a mezőgazdaságban természetesen a növénytermesztés, és az élelem, illetve élelmiszer alapanyag előállítás. (Schulte et al. 2013) A fenntartható élelmiszer előállítás újra felkerült a legfontosabb napirendi pontok közé a világpolitikában. Ez leginkább két fontos kihívás miatt történt. Az egyik kihívás az, hogy képesek legyünk elég élelmiszert előállítani a folyamatosan növekvő populációnak. A másik nagy kihívás, hogy a rendelkezésre álló természetes erőforrásokat hatékonyabban, kevésbé pazarló módon használjuk fel. Ilyen erőforrások például a víz, a talaj, a légkör, és így tovább. (Schulte et al. 2013) Az Egyesült Nemzetek Élelmiszerért, és Mezőgazdaságért felelős szervezete (FAO) becslései szerint, ha a világ népessége eléri a 9 milliárd főt, a jelenlegi élelmiszer előállítást 60%-al növelni kellene, hogy mindenki számára megfelelően rendelkezésre álljon elegendő élelmiszer. Az ilyen mértékű élelmiszer előállítás növelés akár a talaj teljes lezsarolását is okozhatná, ezért is kritikus fontosságú, hogy körültekintően, és óvatosan használjuk, mint természeti erőforrás.

A talaj funkciók fogalma a talaj alapú ökoszisztémán alapszik. Ezek a funkciók kimondottan mezőgazdasági talajhasználathoz lettek összefoglalva. (Bouma et al. 2012)

Az egyik legfontosabb funkció az élelmiszer, a rostok, és az üzemanyag(bio) előállítás. Ez a talajfunkció hagyományosan az, mely a vidékkel van összefonódva, és megélhetést biztosít sok gazdának.

Talajfunkciók:

1. Élelmiszer, rost, és üzemanyag termelés
2. Víz tisztítás
3. Szén megkötés
4. Élőhely
5. Tápanyagok, és vegyszerek újrahasznosítása

(Schulte et al, 2013)

Talajfunkciók, egy hasonló, ám részletesebb felsorolásban:

1. Biomassza előállítás
2. Tápanyag, elemek, és víz tárolása, szűrése, és átalakítása
3. Biodiverzitás, élőhelyek, fajták, és gének formájában
4. Fizikai, és kulturális környezet embereknek, és emberi tevékenységeknek
5. Nyersanyagforrás
6. Szénraktár
7. Geológiai, és archeológiai örökség

(Bouma 2014)

A talajfunkciók központi gondolata, hogy minden talaj minden funkciót bizonyos mértékben elvégez egyszerre. Azonban a talajok kapacitásukhoz mérten képesek csak elvégezni az adott funkciót. Példának okáért bizonyos talajok alkalmasabbak növénytermesztésre, néhány talajok pedig kevésbé. Ez elsősorban a kémiai, fizikai, és genetikai tulajdonságaiktól függ, illetve a környezettől. (Schulte et al. 2012) A talajok a víz szűrő, és tisztító képességükben is eltérnek egymástól. Természetesen a talajok képessége, hogy ellássák ezen funkciókat nagyjában függ a terület használatának típusától is. Például egy füves terület vízmegszűrő képessége jellemzően jobb, mint egy művelés alatt álló területé. (O'Mara 2012)

Minden talaj által végzett funkció tekinthető egy talaj által tett hozzájárulásnak az ökoszisztéma szolgáltatások részére, természetesen minden talaj más eredményességgel teszi ezeket a hozzájárulásokat. (Bouma 2014) Egy fontos különbség lehet a talaj funkciói, és az ökoszisztéma szolgáltatások között. Ugyanis a biomassa termelést nem csak a talaj határozza meg, hanem a termelt növény, a vegetáció, a klíma, betegségek, és akár még a társadalom is, melyben a biomassa termelés történik, így a termelést végző emberek, társaságok is hatással vannak rá. (Bouma 2014)

2.3 Talajfunkciók kezelése

A talajtípusok, és a földhasználat kapcsolatából következik, hogy a talajfunkciókon kétféle képpen lehet változtatni. Közvetlen módosítással, vagy használati mód változtatással. A közvetlen módosítás alatt a gyakori mezőgazdasági beavatkozásokat értjük, mint például szántás, ami egy fizikai változtatás, a trágyázás/műtrágyázás, mely egy kémiai beavatkozás, illetve a szántóföldi vízelvezető telepítése, amely a talaj egész struktúráját változtatja meg. Ezen beavatkozásoknál a beavatkozás típusától függően bizonyos funkciók túlsúlyba kerülhetnek a többivel szemben. (Schulte et al 2013)

2.4 Elektromágneses sugárzás

Ha a fényre gondolunk, legtöbbször annak látható tartományában található részére gondolunk, ám emellett létezik nem látható formái is. A fény leírása olyan hullámmozgáshoz hasonló formában haladó fotonok, melyek energiát szállítanak. A másik megközelítése a fénynek az elektromágneses sugárzás. Az elektromágneses sugárzás egy olyan energia, mely rendkívül nagy sebességgel terjed a térben. A látható fény is beletartozik az elektromágneses sugárzások közé. Nem látható formái az elektromágneses sugárzásoknak például a gamma sugárzás, az ultraibolya (UV), a Röntgen sugárzás, illetve még a mikrohullámú, az infravörös, és a rádióhullámú is beletartozik.

Az elektromágneses sugárzás, ahogy a neve is mutatja elektromos, illetve mágneses hullámokból áll össze, így mindkettő tulajdonságaival rendelkezik, ennek következménye, hogy rendelkezik elektromos, illetve mágneses vektorral is, mely két vektor egymásra

merőlegesen rezeg. (Burger 2012) A rezgés történhet egy vagy több irányba. A több irányba, vagyis a tér bármely irányába a nem polarizált fényre jellemző, míg a síkban polarizált fény, melynél a rezgés csak egy irányba történik, mely a haladási irányra merőleges a síkon. Kiemelendő összetevője az elektromágneses sugárzásnak az elektromos komponens, mert remekül felhasználható az analitikában. (Pokol 2017)

2.5 Változó elvárások a talajmérésekben

A klasszikus, hagyományos laboratóriumi analitikai módszerek nem költséghatékonyak, vagy valamilyen speciálisabb berendezést igényelnek, így téve bonyolultabbá a mérések elvégzését, esetleg túlságosan időigényes eljárások, melyek nem alkalmazhatóak, ha rövid idő áll rendelkezésre. Az agrárium számára kulcsfontossággal bíró talajtulajdonságok megvizsgálásához különféle módszerekre, vizsgálatokra van szükség, melyek számának növekedésével párhuzamosan növekszik a vizsgálatokhoz szükséges berendezések, műszerek száma, így a vizsgálatok költsége is. Ezek mellett sok vizsgálati eljárás komplex, bonyolult, és körülményes, illetve akár a környezetre káros, veszélyes anyagok, kemikáliák használata is elengedhetetlen (Waruru et al. 2015). A talaj mezőgazdasági, illetve egyéb használata során létrejövő változások, illetve az egyéb külső események talajra gyakorolt hatásának vizsgálatára, és kiértékelésére létezik kereslet, ám ezeknek a vizsgálatoknak gyorsnak, pontosnak, megbízhatónak, és kemikáliáktól mentesnek kell lenniük.

2.6 A spektroszkópia, mint talajvizsgálati módszer

Ezekre az igényekre válaszul nagymértékű növekedést mutattak a spektroszkópia alapú módszerek, és új lehetőségek nyíltak ki ezen a területen. Az új módszerek közül fontos kiemelni a közeli infravörös (Near-infrared - NIR), középső infravörös (Middle-infrared - MIR) reflektancia spektroszkópiát (Knox et al. 2015). Az infravörös reflektancia sok előnyt hordoz a laboratóriumban elvégezhető kémiai módszerekkel szemben. Az infravörös reflektancia gyors, számos tulajdonság mérésére alkalmas, legyenek azok mennyiségi, vagy minőségi tulajdonságok, illetve megbízható, stabil eredményeket közöl, melyek reprodukálhatóak (Waruru et al. 2015).

2.7 A spektroszkópiával történő nagy területek talajtulajdonságainak becslése

A talaj tulajdonságainak spektrális alapon történő megbecslése nagy, változatos, és diverz területekre kimondottan tele van kihívásokkal, és jóval nagyobb a hibalehetőség, mint a helyi, kis méretben, vagy laborban elvégzett méréseknél. Rendelkezésre állnak adatbázisok (spektrális könyvtárak), melyek tartalmazzák talajok kalibrációs modelljeit. Ezek a modellek nagyon sok a bolygó minden tájáról begyűjtött mintákra alapulnak. A nagy spektrális könyvtárakkal alkotott spektroszkópia modellek pontatlansága abból is ered, hogy a talajtulajdonságok közötti kapcsolatok bonyolultak, összetettek. Már régóta ismert tény, hogy a talajok spektrális tulajdonságai a közel látható infravörös tartományban nem egyediek (Price 1994). Sok abszorpciós karakterisztika átfedi egymást, és előfordulhat, hogy a talaj egy komponensére vonatkozó abszorpció zavarva, eltakarva lehet. Ilyen lehet például a vas-oxidban történő változásokat eltakarhatja a szervesanyag (Adar et al. 2014). Ezen problémák leküzdésére javaslatok születtek több változó beiktatására a modellekben (Nocita et al. 2014). A nagyméretű spektrális könyvtárak használata szintén javasolt a földterület, illetve a mezőgazdasági talaj feltérképezéséhez.

Néhány helyi minta kell, amely egy regionális spektrális könyvtárnak segít, hogy jobban illeszkedjen a kijelölt vizsgált területre. Néhány reprezentatív jellegű mintát kell venni a célterületről, mely segítségével be kell kalibrálni a modellt, biztosítva, hogy a modell tartalmaz hasonló mintákat, melyekről becslést akar készíteni. Ez a „tüske” technika igényel hagyományos laboranalitikai tevékenységet is, mivel a kalibrációs mintákra meg kell határozni azokat a talajtulajdonságokat, melyekre a modelleke létrehozzuk. Ezeket a konvencionális módszerekkel elvégzett méréseket nevezzük referencia-méréseknek. Természetesen a spektroszkópia kis igényű módszerének jegyében ezen – a modellek kalibrációjára felhasznált - minta mennyiség alacsonyan tartható, megőrizve a módszer előnyeit. Általában az ilyen nagyméretű adatbázisok fejlesztése költséges, és gyakran régi archív talajmintákból áll (Viscarra Rossel & Webster. 2012). Az ilyen adatbázisok ugyan temérdek mintát tartalmaznak, összevonásuk mégsem lehetséges, mert a mintákat nem egységes protokollt követve, megegyező eszközökkel, és módszerekkel gyűjtötték be. A más módszerekkel történő mintagyűjtés nagymértékben befolyásolhatja az eredményeket, illetve a modellek becsléseit (Soriano-Disla et al. 2014).

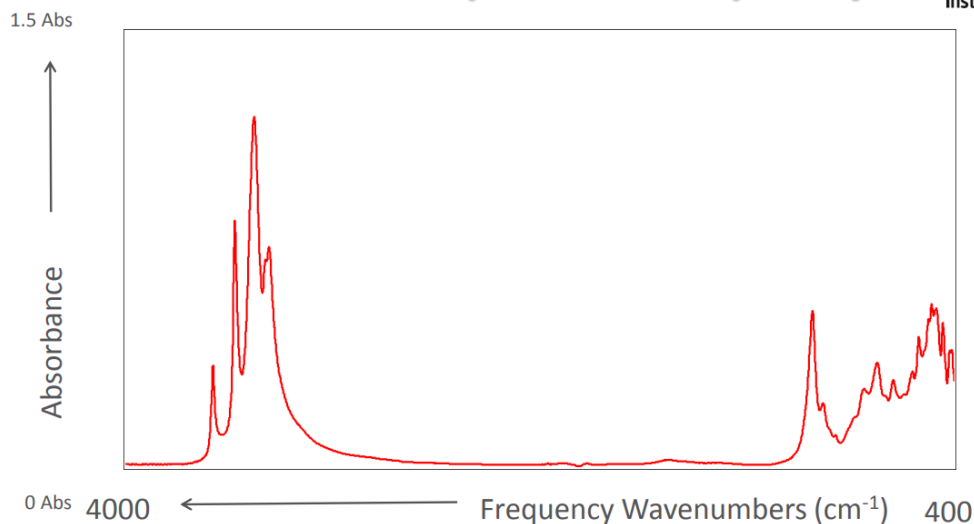
2.8 Spektroszkópia fejlődése

A spektroszkópia egy olyan tudományterület, mely az anyag és az elektromágneses sugárzás egymásra történő kölcsönhatásaival, és ezek mérésével foglalkozik. A reflektancia spektroszkópia azzal foglalkozik, hogy a szilárd anyagok, folyadékok, illetve gázok hogyan verik vissza, vagy szórják szét a fényt. A mérés háttéréül szolgáló elméletet nagymértékben kibővítették azzal, hogy magában foglalja a sugárzó energiával való kölcsönhatást annak vagy frekvenciájának függvényében. A spektroszkópai adatokat jelentő spektrum reprezentálja a vizsgált minta reakció görbáját a hullámhossz vagy frekvencia függvényében. A spektroszkópia története a 17. században kezdődött, amikor Isaac Newton felfedezte a fény és a színek természetének alapjait. Az első alkalmazásban bemutatta a „spektrum” szót, mint a szivárvány színeinek kombinációját a fehér fény képzéséhez. Az 1800-as évek elején Joseph von Fraunhofer kísérleteket végzett diszperziós spektrométerekkel, amelyek lehetővé tették, hogy a spektroszkópia pontos és egzakt módon mérhető tudományos technikává váljon. Azóta a spektroszkópia jelentős szerepet játszik a kémiában, fizikában és a csillagászatban. Az elektromágneses (EM) spektrum a gamma (γ) sugaraktól (legrövidebb hullámhossz) a rádióhullámig terjed (leghosszabb hullámhossz). A leggyakoribb érzékelő rendszerek a spektrum látható, infravörös (IR) és mikrohullámú tartományának egy vagy több részén működnek. Az infravörös tartomány energiája megfelel annak az energiának, amely a molekuláris rezgések kiváltásához szükséges (Mohamed et al. 2018).

2.9 Az infravörös spektroszkópia alapelvei

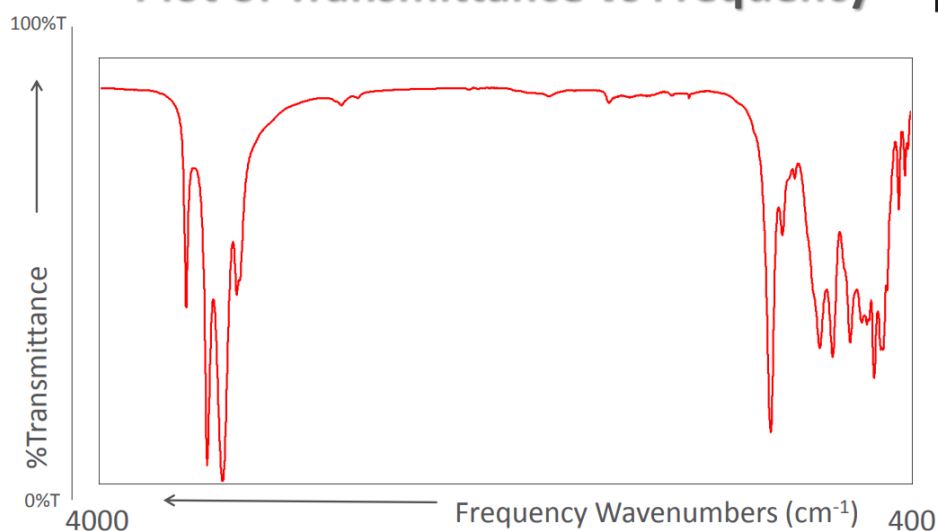
A molekulák interakcióba kerülnek az infravörös sugárzás elektromos vektorával, mely így a sugárzás különböző frekvenciákon történő elnyeléséhez vezet. A különböző funkciós csoportok számos frekvencián nyelnek el sugárzást, köszönhetően a különböző kötés típusoknak, az eltérő rezgéseknek és a molekulák nyúlásának, és hajlásának. Ilyen nyúlási, illetve hajlási formák lehetnek a szimmetrikus-, és az anti- szimmetrikus nyúlás. (Robertson & Pérez-Fernandez 2017) .

Infrared Spectrum Plot of Absorption vs Frequency



1. ábra Infravörös spektrum diagramja az elnyelés, és a frekvencia viszonyában (Robertson & Pérez-Fernandez 2017)

Infrared Spectrum Plot of Transmittance vs Frequency



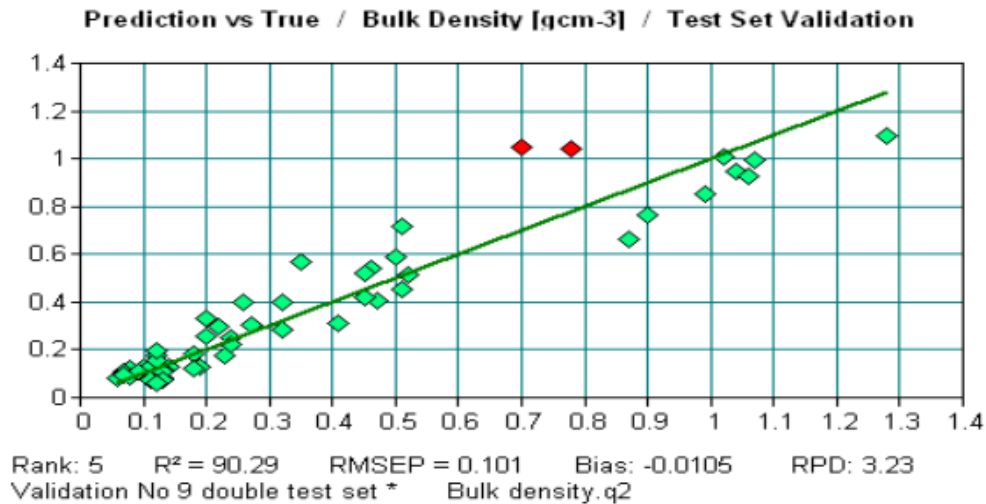
2. ábra Infravörös spektrum diagrammja az átteresztési együttható, és a frekvencia viszonyában (Robertson & Pérez-Fernandez 2017)

2.10. A kemometria

A kemometriai módszerek alkalmazása spektroszkópiai célú kutatásokban jelentős, méghozzá oly mértékben, hogy a spektroszkópiai mérésekbe integrálnak bizonyos kemometriai szoftvereket. A kemometria tudományának létrejötte abból ered, hogy a mérőműszerek, illetve a mérési módszerek fejlődésével megnőtt a már begyűjtött, ám még nem lemért minták mennyisége, így a klasszikus régi egyváltozós statisztikai modellek használata már nem bizonyult elégségesnek. A nagy mennyiségű adat, illetve eredmény leírása, és a komplex bonyolult rendszerek lemodellezése megkívánta a terület fejlődését. A kemometria módszerek célja, hogy az adatmátrixok sokszor ismétlődő, kicserélhető, helyettesíthető adatokat, információkat tartalmaznak, emiatt nagy mértékben csökkenthető a méretük. Egy lecsökkentett méretű adathalmaz pedig könnyebben kezelhető, jobban átlátható, és könnyebben értelmezhető, és ha a kevésbé hasznos, nem lényeges információkat hagyjuk ki, akkor jól használhatóak. A már említett kemometriai modelleknek lényegében az a céljuk, hogy kiválogassák mely adatok hasznosak, és vannak nagy befolyással az adathalmazra, és melyek kevésbé jelentékenyek. Mint már a korábbi részekben említettem a talaj egy kimondottan komplex, bonyolult, és összetett rendszer, és mennyiségi spektrális elemzése precíz statisztikai eljárásokat igényel. A kemometria tud segíteni a talajminták mérése során a talajra jellemző reakciók, és azok zajai, zavaró hatásának megkülönböztetésében, és azok korrekt felismerésében (Reeves et al., 2002).

Sokféle kemometriai modell létezik a talaj elemeinek minőségi, illetve mennyiségi elemzésére, és becslésére a vizsgált hullámhosszok, és a talaj elemeinek a tulajdonságai összefüggéseinek alapján.

Összefoglalva, minden kemometriai módszer célja, hogy statisztikai összefüggést állapítson meg egy könnyen mérhető talajparaméter (pl. spektrumok) és egy, vagy több nehezebben mérhető talajparaméter között (pl. szervesanyag tartalom, agyagtartalom, összes vízzoldható sótartalom, pH). A számszerűsített összefüggések (modellek) alapján az adott talajparaméter ismert, statisztikai mutatókkal (R^2 , RMSE) jellemzett megbízhatósággal becsülhető.



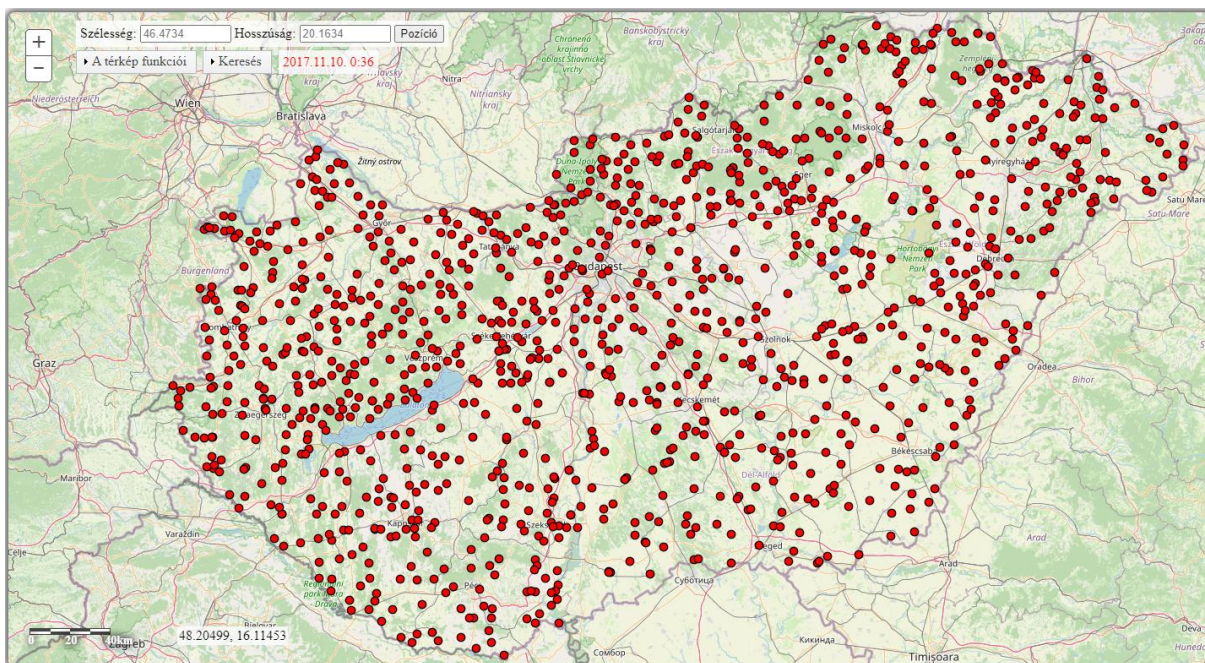
3. ábra Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia a talaj térfogatsűrűség meghatározásának kalibrációjához (Robertson & Pérez-Fernandez 2017)

2.11. Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer (TIM)

A Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer (TIM) célja, hogy a talajok állapotának változását kövesse, figyelje. A rendszer a talajok minőségi, illetve környezeti állapotában bekövetkező változásokat is figyelemmel kíséri. A rendszer által gyűjtött adatok publikusak, és közérdekűek. A gyűjtött adatok felhasználhatók tudományos munkákhoz. A rendszer egész Magyarországon jelen van. A TIM mintavételi pontjait olyan helyeken állapították meg, mely terület jól jellemzik a terület, vagy térség talajviszonyait. Ily módon végig lehet követni a talaj változásait, és következtetések vonhatóak le nagyobb területekre is. A rendszer az országban 1236 mintavételi ponttal rendelkezik, ebből 865 az ország törzshálózat része, 183 mérőpont erdészeti, és 188 speciális mérőhely van, melyek a szennyezett talajokban történő változásokat hivatottak mérni. Azoknak a területeknek a mérését, melyeken mezőgazdasági művelés folyik, az országos törzshálózat végzi.

Mintavétel a TIM rendszerben

A legelső mintavételkor meg kell határozni a talajszelvény helyét, jellemezni kell a terület domborzatát, fekvését, a növényzetet, illetve egyéb dolgokat is. Ezek után fel kell venni a talajszelvény adatait. Meg kell határozni a talajszelvény mélységét, a szervesanyag réteg vastagságát, és az egyéb általános adatokat. Ezután a szelvény szintjeinek megvizsgálása következik, szín, genetika, mélység, fizikai féleség, illetve egyéb paraméterek alapján. Végőné a talajtípus meghatározása következik. A mérőpontokon évente végeznek fúrásokat mintaszerzés céljából. Ennek módja, hogy a mérési pont körüli 50 méteres körben 9 darab leszúrásból szerzett minták eredményeit átlagolják. Ezek a minták különböző mélységekből származnak, 0-30 cm, 30-60 cm, valamint 60-90 cm mélységből is történik mintavétel, hogy átfogó képet tudjunk kapni a talajban végbement, illetve végbemenő változásokról. Ezeket a mintákat a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság Talajvédelmi Laboratóriumaiban vetik alá széleskörű vizsgálatoknak. A kapott adatokat felviszik egy elektronikus rendszerbe, így könnyen kezelhetővé válik, és évekre visszamenőleg vizsgálhatók lesznek az egyes pontok. A rendszerrel történő évenkénti mintavételeket a megyei kormányhivatalok Növény- és Talajvédelmi Igazgatóságainak talajvédelmi felügyelői végzik. A talajminták laboratóriumi vizsgálatát a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Talajvédelmi Laboratóriumai végzik.



4. ábra A TIM rendszer pontjai Magyarországon (Nébih 2017)

2.12 Szervesanyag tartalom

Termőföldünk talajai számos fontos anyagot tartalmaznak, amelyek nélkülözhetetlenek a mezőgazdasági termeléshez. Az egyik ilyen anyag a talaj szervesanyag tartalma, amelynek számos fontos hatása van a talajra és a termelésre. Ebben az írásban áttekintjük a talaj szervesanyag tartalmának talajtani és mezőgazdasági hatásait, és bemutatjuk a legfontosabb tudományos forrásokat a témában. (Lal R. 2015)

A talaj szervesanyag tartalma az organikus anyagok összessége a talajban, amelyek a talajban található élő és elhalt növényi és állati anyagokból származnak. A szerves anyagok közé tartoznak a cellulóz, a lignin, a fehérjék és az oldalási poliszacharidok. A szerves anyagok nagy jelentőséggel bírnak a talaj életében és szerkezetében, mivel számos pozitív hatással bírnak a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira. (Layla et al, 2022)

A talaj szervesanyag tartalmának talajtani hatásai:

A talaj szerkezetének javítása: A szerves anyagok segítenek a talaj szerkezetének javításában, mivel hozzájárulnak a talaj aggregátumok kialakulásához és a talaj szellőzéséhez. Ez segít a talaj víz- és levegőáteresztő képességének javításában, ami elősegíti a növények gyökérfejlődését és a talaj nedvességtartalmának szabályozását. (Six, et al 2002)

A talaj vízmegkötő képességének javítása: A szerves anyagok hozzájárulnak a talaj vízmegkötő képességének javításához, ami csökkenti a talaj kiszáradását és elősegíti a talaj nedvességtartalmának szabályozását.

A talaj tápanyagtartalmának javítása: A szerves anyagok hozzájárulnak a talaj tápanyagtartalmának javításához, mivel a talajban lévő mikroorganizmusok segítségével átalakítják a szerves anyagokat olyan tápanyagokká, mint az nitrogén, a foszfor és a kén. (Blanco-Lal 2008)

Az Európai Unióban az elmúlt évtizedekben a talajok szervesanyag-tartalma jelentősen csökkent az intenzív mezőgazdasági termelés és a talajtakaró növényzet hiánya miatt. A talajok szervesanyag-tartalmának csökkenése jelentős problémákat okozhat a talajok minőségében és a mezőgazdasági termelékenységben.

2.13 Kation csere kapacitás

Termőtalajaink minőségét több tényező is meghatározza, köztük a talaj kémhatásának (pH), a talaj tápanyagellátásának, valamint a talaj kationcseréjének (CEC) mértéke és összetétele. A kationcserélő kapacitás a talaj szemcsefelületének mennyiségétől és a talaj kémhatásától függ. A CEC meghatározása az egyik legfontosabb talajvizsgálati adat, melyet a talaj állapotának és minőségének felmérésére használnak. (Weil & Brady 2017)

A talaj kationcseréje lényegében azt jelenti, hogy a talaj kationjai (pl. kalcium, magnézium, kálium) kicserélődnek más kationokkal a talajban. A cserét általában a talaj kémhatása (pH-ja) szabályozza. A magas pH értékű talajokban a kationcserélő kapacitás nagyobb, így több kation cserélődhet ki, míg az alacsony pH értékű talajokban kisebb a cserélődés. (Hendershot et al, 2007)

A talaj kationcseréje kulcsfontosságú szerepet játszik a talaj tápanyagellátásában. Az ásványi anyagok közül a kalcium, magnézium és a kálium a legfontosabb tápelemek a növények számára, így a talajban lévő kationcserélő kapacitás nagy mértékben befolyásolja a növények növekedését és fejlődését. (Weil & Brady 2017)

A talaj kationcseréjének jelentősége a mezőgazdaságban kiemelkedően fontos, hiszen a talaj kationcseréje befolyásolja a talaj tápanyagellátását és ezen keresztül a terméshozamot. Az alacsony kationcserélő kapacitású talajokban a tápanyagok felvehetősége csökken, így a terméshozam is alacsonyabb lehet. A talaj kationcseréje fontos szerepet játszik a talajtípusok meghatározásában és a talajjavító anyagok alkalmazásában is. (Weil & Brady 2017)

Ezek mellett a kation csere kapacitás hatással van még a trágyázásra is. A nitrogén- és káliumtrágyázás hatékonysága függ a talaj kationcserekapacitásától. Az alacsony kationcsere kapacitású talajokban az ősz N és K műtrágyák gyorsabban szivárognak el. Ez kifejezetten igaz a homokos, alacsony kationcsere kapacitással rendelkező talajokra. (Hegymegi et al. 2006)

2.14 Kémhatás

Termőtalajaink pH-értéke a talajban található hidrogénion-koncentráció mérőszáma, amelynek hatása nagymértékben befolyásolja a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait, valamint azok fejlődését, és a talajban élő növények növekedését és terméshozamát is. A talaj pH-

értékének optimalizálása, vagyis az ideális pH-szint elérése különböző mezőgazdasági termékek hatékony termesztésének feltétele. (Weil & Brady 2017)

A talaj pH-értéke hatással van a talaj oldhatóságára is, amely befolyásolja az ásványok és tápanyagok mozgását a talajban, valamint a talajban található makro- és mikroelemek hasznosulását is. Az optimális pH-érték a talaj tápanyagfelvételének növekedését segíti elő, így a növények hatékonyabban veszik fel azokat a tápanyagokat, amelyek szükségesek a növekedésükhöz. (Schlesinger & Bernhardt 2020)

Azonban a talajok pH-értéke nem csak a termelési hatékonyságra van hatással, hanem a talaj élővilágára is. A talaj pH-értéke befolyásolja a talajban található mikroorganizmusok aktivitását, amelyek a talajtérfogat egy részét teszik ki. A savas környezetben élő talajbaktériumok például jobban megmaradnak, mint azok, amelyek alkáli környezetben élnek. A talaj pH-értékének változása hatással lehet a talaj szerves anyag- és tápanyagforgalmára is. (Mehra et al. 2018)

A talaj pH-értékét befolyásolhatja a talaj típusa, az erózió, a talajhasználat, a talajvíz áramlása és az anyagforgalom, valamint a talajszennyezés is. A mezőgazdasági termelés során a talajok pH-értékét évente legalább egyszer mérni kell annak érdekében, hogy meghatározzuk a szükséges talajművelést és a talaj pH-szintjének megfelelő trágyázást. (Vadakattu et al, 2011)

A talaj pH-érték optimalizálása jelentős előnyöket kínál a mezőgazdasági termelés szempontjából, mivel segíti az optimális növénytaplálás fenntartását és a talaj élővilágának megőrzését. (Sparks 2018)

2.15 Agyagtartalom

Az agyagtartalomnak nagy jelentősége van a talajtani és mezőgazdasági szempontokból is. Az agyag az egyik fő talajkomponens, amelynek a nagysága és eloszlása jelentős hatással van a talaj szerkezetére és a talaj által biztosított számos előnyös tulajdonságra. (Chau et al, 2014)

Agyagtartalom hatása a talajtani szempontból:

Az agyagtartalom jelentős hatással van a talaj struktúrájára és textúrájára. Az agyag finom szemcsékből áll, amelyek között légnemű üregek vannak. Az agyagszemcsék összetapadnak, és így képesek finom aggregátumokat alkotni, amelyek szorosan kötődnek egymáshoz. Ez erős szerkezetet eredményez, amely képes megőrizni a nedvességet és a tápanyagokat, miközben javítja a talaj szellőzését. Az agyagtartalmú talajok nagyobb vízmegtartó képességgel rendelkeznek, mint a homokos talajok, ami fontos tényező a talajtakaró képzésében és a talaj nedvességtartalmának fenntartásában. (Chau et al, 2017)

Agyagtartalom hatása a mezőgazdasági szempontból:

Az agyagtartalom fontos szerepet játszik a növények növekedésében és a termés hozamokban. Az agyagtartalmú talajok általában gazdagabbak a tápanyagokban, mint a homokos talajok, így a növényeknek jobb a tápanyagfelvételi képessége. Az ilyen típusú talajok jobban őrzik a vizet, ami lehetővé teszi a növények számára, hogy hosszabb ideig kielégítő vízmennyiséget kapjanak, így biztosítva azt növekedésük során. Agyagtartalmú talajokban a növények számára kényelmesebb a gyökérnövekedés, és ezáltal a növények stabilitása és ellenálló képessége is javul. Az agyagtartalmú talajok általában magasabb termés hozamokat eredményeznek, mint a homokos talajok. (Frazen & Bu 2018)

Termelékenység szempontjából az agyagtartalmú talajok nagyon fontosak, mert a talaj szerkezetének javítása révén javítják a talaj vízháztartását, tápanyagok megtartását és az oxigénellátást, amelyek mind elengedhetetlenek a növények fejlődéséhez. Az agyagtartalmú talajok magasabb termőképességgel rendelkeznek, mint az homokos talajok, mert a magas agyagtartalom javítja a talaj tápanyag és vízmegtartó képességét, valamint a talaj oxigénellátását.

Az agyagtartalom hatása a talaj kémiai tulajdonságaira is jelentős. Az agyag szerkezetében negatív töltések találhatók, amelyek kötik a pozitív töltésű tápanyagokat, mint például a kalciumot, a magnéziumot és a káliumot. Ezáltal az agyagtartalmú talajok jobban megtartják a

tápanyagokat, mint az homokos talajok. Az agyagtartalmú talajok magas kationcserélő-kapacitással (KCK) rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy a talaj képes cserélni a tápanyagokat a talajvíz és a talajoldat között, amelyek a növények számára hozzáférhetők.

Az agyagtartalmú talajok fontos szerepet játszanak a talaj természetes élőhelyeinek megőrzésében és a talajerózió elleni védelemben is. Az agyagtartalmú talajok nagyobb szilárdsággal és ellenálló képességgel rendelkeznek a víz és a szél erózióval szemben, mint az homokos talajok. Az agyagtartalmú talajok nagyobb szervesanyag-tartalmával pedig segítik a talaj mikroorganizmusok fejlődését, ami hozzájárul a talaj biológiai aktivitásához és a talaj egészségi állapotának megőrzéséhez.

2.16 Homoktartalom

A talajok összetétele az egyik legfontosabb tényező a mezőgazdasági termelés szempontjából. Az egyik legfontosabb talajkomponens a homok. (Brady & Weil 2008) A homoktartalom fontos paraméter a talajok minőségének és tulajdonságainak meghatározásában, és nagy jelentőséggel bír a mezőgazdasági termelés szempontjából. Az alábbiakban bemutatjuk a homoktartalom hatását a talaj tulajdonságaira és a mezőgazdasági termelésre. (Lal. R 1995)

A talajok homoktartalmának hatása a talaj tulajdonságaira:

A homokos talajok alacsony tápanyag- és víztartalmúak, és rosszul megköti a tápanyagokat, ami miatt a növények nehezebben jutnak hozzá a szükséges tápanyagokhoz. Azonban a homokos talajok jó vízelvezető képességgel rendelkeznek, ami lehetővé teszi, hogy a növényeknek a szükséges nedvesség álljon rendelkezésre. A homokos talajok általában laza szerkezetűek, ami elősegíti a növények gyökérzetének fejlődését és a légáteresztő képességet. (Lavelle 1997)

A homokos talajok előnyei a mezőgazdasági termelés szempontjából:

A homokos talajok a növények számára nagy előnyt jelentenek, mivel jó vízelvezető képességgel rendelkeznek, és lehetővé teszik, hogy a növények a szükséges nedvességet kapják meg. A homokos talajokban a növények gyökérzete könnyen növekszik, és gyorsabban fejlődik, mivel a talaj jól szellőzik. A homokos talajokban általában kisebb a talajtól való elmosódás veszélye, mivel a víz nem szívárog el olyan gyorsan a talajból. (FAO 2006)

A homokos talajok hátrányai a mezőgazdasági termelés szempontjából:

A homokos talajok általában alacsony tápanyag- és szervesanyag-tartalmúak, ami megnehezíti a növények számára a szükséges tápanyagok és szerves anyagok megszerzését. A homokos talajokon nagyobb a kiszáradás veszélye, ami miatt a növényeknek szükségük van rendszeres öntözésre és tápanyagpótlásra. (USDA 2017)

2.17 Portartalom

Termőföldünk talajainak minősége a mezőgazdaság és a mezőgazdasági termelés kulcsfontosságú eleme. Azonban, az intenzív mezőgazdasági gyakorlatok, az iparosodás, a klímaváltozás és az egyéb antropogén hatások számos talajtani problémát okoznak. Ebben a cikkben áttekintjük a portartalom talajtani és mezőgazdasági hatásait, valamint a lehetséges megoldásokat ezekre a problémákra. (Brady & Weil 2008)

A portartalom a talaj felső rétegének összetétele, amely befolyásolja a talaj textúráját, szerkezetét, tápanyagtartalmát és vízvisszatartó képességét. Az agrokémiai folyamatok, az erózió és a talajerózió, a talajszennyezés és a talajpusztulás mind hozzájárulnak a portartalom csökkenéséhez. (Brady & Weil 2008)

Az erózió a talaj felső rétegének elvesztéséhez vezet, és ennek hatására a talaj textúrája és szerkezete romlik, ami csökkenti a talajvízvisszatartó képességet és növeli a vízelvezetést. A talajszennyezés a talajban lévő növényi tápanyagok és mikroorganizmusok koncentrációjának csökkenéséhez vezet, ami a terméshozamot csökkenti. (Lal R., 2015)

A talajpusztulás során a termőtalaj elveszíti szerkezetét, tápanyagtartalmát, és képtelen támogatni a növények növekedését. Az emberi tevékenységek (pl. mezőgazdaság, építkezés, árvízvédelem) hatására a talajpusztulás tovább gyorsul. (Bai et al. 2018)

A mezőgazdaság kulcsszerepet játszik a portartalom megőrzésében és helyreállításában. A környezetbarát mezőgazdasági gyakorlatok (pl. komposztálás, trágyázás, talajtakarás) segítenek a talaj biológiai aktivitásának fenntartásában és javításában, amely növeli a talaj tápanyag- és vízvisszatartó képességét, valamint a terméshozamot. (Bai et al. 2018)

A hibás mezőgazdasági gyakorlatok, és helytelen időben végzett munkafolyamatok komoly károkat tudnak tenni a talajban, mely korrigálás, illetve a helyes módszerekre történő átállás nélkül a mezőgazdasági területeink termőképességének csökkenéséhez, a talajszerkezetük, illetve talajállapotuk romlásához vezethet. (Nardi et al. 2004)

3. A vizsgálatok módszerei

3.1 Anyagok és módszerek

A méréshez felhasznált talajmintákat a Magyar Agrár – és Élettudományi Egyetem Szent István Campus Talajtani tanszéke szolgáltatta, melyek a TIM (Talajinformációs és Monitoring Rendszer Pest Vármegyei mintái voltak. Részemről nem történt helyszíni mintavételezés, már előre összegyűjtött, és csomagolt mintákon hajtottam végre a vizsgálatokat.

A spektrális méréseket a MATE Talajtani Tanszékének hallgatói laboratóriumában végeztem el. A talajminták a NÉBIH Velence Talajvédelmi Laboratóriumának talajraktárából származnak. A talajminták a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer projekt kezdeti évében kerültek begyűjtésre 1992-ben. Az általa vizsgált minták a Pest megyei információs (I), erdészeti (E) és speciális TIM pontokat reprezentálják. Munkám során a TIM mérőhálózat 1237 pontjából Pest megyére 101 pont esik. Ebből 16 db erdészeti, 68 információs és 17 speciális pont. A talajok genetikai szintjeiből vett talajminták száma 399 volt, ezeken végeztem el a spektrális méréseket.

A tanszék tároló helyiségében történt elhelyezésük előre műanyag zacskókba csomagolva, és kategorizálva voltak a talajminták. Az említett mintákat mérés céljából a tanszék talajtani laboratóriumába vittük, ahol is lezajlottak a mérések.

A minták előkészítésének menete:

A minták előkészítését egyesével végeztem. Első lépésként a minták azonosítóját jegyeztem le. Második lépésként a mintákból egy púpozott teáskanálnyi talajt vettem ki, melyet az achát mozsárba tettem egy műanyagkanál segítségével. A mozsárban ezután a talajmintát finom porrá őröltem a mérhetőség érdekében. Ezután következett a minta áthelyezése, és leszitalása egy fém szita segítségével, mely 0,2 mm átmérőjű lyukakkal rendelkezett. A leszitalás után a már átszitált mintát egy kisméretű műanyag tárolóba helyeztem. Ezek után az így előkészített minta lemérése történt.

3.2 A minták mérése

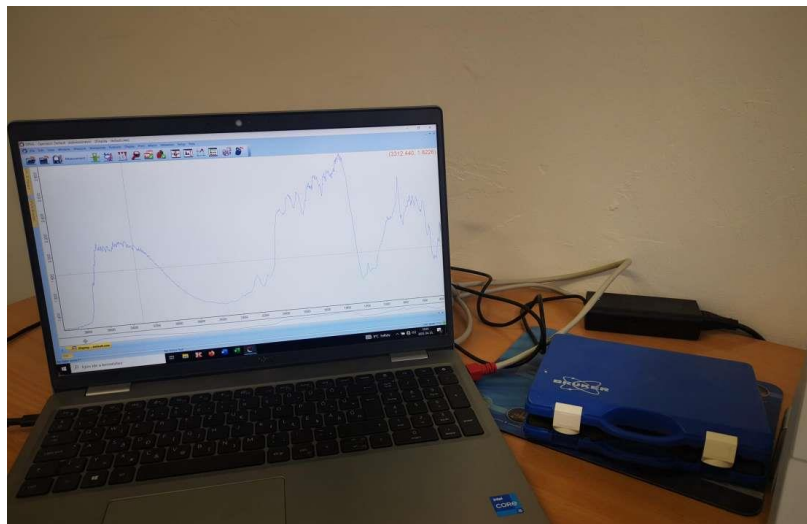
A minták méréséhez a Bruker Alpha II. típusú FTIR mérőeszközt használtam. Az eszköz DRIFT(Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy) modullal volt felszerelve, mely biztosította a lehetőséget a spektroszkópiás mérésekre. A gyártói leírás alapján az eszköz segítségével egyszerű mintavételezéssel magas spektrális adatminőséget lehet elérni.



5. ábra Bruker Alpha II. típusú mérőeszköz

3.3 A mérés menete

Az előkészített minta háromszor került lemérésre, hogy kiküszöböljük a hibás méréseket. A műszer tartozéka több alumínium mintatartó pohárka, melyekbe kerül a minta, és melyeken



6. ábra OPUS (Optic Users Software) használat közben egy laptopon

a mérendő minták bekerülnek a mérőműszerbe. Elsőként a talajmintákat kimértem ebbe a három fém mintatartó edénybe egy fém spatulával, majd a minták tetejét egy vonalba simítottam a fém tartó tetejével, hogy ne okozzon hibás eredményt, vagy mérési hibát. Ezek után a mintákat egyesével behelyeztem a műszerbe, és lemértem. A talajminták mérését megelőzően egy aranyból készült minta koronggal felvettem a határspektrumot, mely segíti a pontosabb, a mérés alatt hőmérséklethez, és páratartalomhoz igazított mérést. Ennek az arany korongnak a gyártó előre bemérte a karakterisztikáit, hogy megfelelőbb mérést lehessen a műszerrel elérni. Ezzel az arany mintával a tényleges három talajminta előtt háttérmerést végeztem, és minden talajminta előtt ezt a próba mérést elvégeztem. Ezután a próba mérés után egyesével lemértem a már előkészített talajmintákat. Minden három mérés után elvégeztem a használt eszközök száraz tisztítását, hogy elkerüljem a talajminták egymással történő keveredését, esetleges szennyeződését. A mérések elvégzése alatt a teremben folyamatos szellőzést biztosítottuk egy ventilátorral, ezzel elkerülve a mérés során a mérést végző személy kilégzésének hatására felgyülemplő szén-dioxid felgyülemplését, amely az érzékeny műszerre mérési eredményeket befolyásoló hatással is lehet. A légcserére használt ventilátor mellett folyamatosan nyitott állapotban tartottunk legalább egy ablakot, így biztosítva a megfelelő légáramlást, és friss oxigént. A nyitott ablak mellett működtetett ventilátor tapasztalataink szerint megfelelően biztosítja, hogy a szén-dioxid felgyülemplés ne történjen meg, és nem befolyásolódnak így a mérési eredmények.



7. ábra a minták előkészítéséhez használt eszközök

A mérésekhez felhasznált software egy Bruker Optics által fejlesztett OPUS (Optic Users Software) volt. A műszer minden egyes mintatartót 24 alkalommal „szkennelte”-b

e. A program a mérés során jelzi, hogy a szkennelésekből mennyi volt sikeres. A sikertelen szkennelés oka lehet a nem kellőképpen előkészített minta, mely miatt a sugárzás nem tud visszaverődni. A legtöbb felvétel sikeres volt, de amelyik mérési kísérletnél a 24 felvételtől 12 nem lett sikeres, ott újra előkészítettem, és megkíséréltem a mérést. A mérés hatékonyságának, és felgyorsításának szempontjából nem kizárólag a tökéletes méréseket használtam csak fel.



8. ábra szitáláshoz használt fém szita készlet



9. ábra morzsolásához használt mozsár

3.4 Módszertan

Az infravörös spektroszkópiai mérések során felvett spektrum információtartalma magas, de ez az információ az elnyelési sávok átfedése és egyéb befolyásoló tényezők miatt sokszor nem olvasható le közvetlenül a spektrumról. Ha minden spektrumot manuálisan és részletesen elemeznénk, pont az elérni kívánt célt hagynák figyelmen kívül. A kemometriai módszerek állnak rendelkezésünkre abban, hogy az infravörös spektrumokból információt nyerhessünk ki idő- és költséghatékonyan.

Annak érdekében, hogy kemometriai módszerekkel tudjunk dolgozni, minden vizsgált mintáról rendelkezésünkre kell álljon spektrum. Ezek közül a minták közül ki kell választanunk olyan

mintákat, amik reprezentatívak a többi vizsgálni kívánt mintákra vonatkozólag. Erre a célra a Kennard-Stone Sampling (KSS) módszert alkalmaztam. A KSS módszerrel a spektrális adatbázist két részre bontjuk. A minták 75 %-át (300 db) a modell kalibrációjára használtam. A visszatarott 25 %-ot (99 db) pedig modellek validációjára. A kalibrációhoz használt minták gyakorlatilag a modell létrehozásához használt minták. A létrejött modell kiterjeszthető a többi mintára, illetve spektrumra. Ennek a kiterjesztésnek a sikerességét teszteljük a validációs mintákra alkalmazott modellel.

A kemometriai elemzés során a Partial-least Squares (PLS) regressziót használtam a kemometriai elemzés során. A PLS regresszió (részleges legkisebb négyzet regresszió) az egyik leggyakrabban használt modellezési eljárás a kemometriai gyakorlatban. (Döbröntey 2019) Ezt alkalmazva hozhatjuk létre a leghatékonyabb prediktív modelleket, ha a független változók (X – jelen esetben a különböző hullámhosszakon jelentkező spektrális értékek) száma meghaladja a minták számát, ezen felül a változók között jelentős a multikollinearitás. Ez különösen igaz a spektrális adatokra.

4. Eredmények és értékelésük

A Partial Least Squares Regression elemzés fő eredményei a kalibráció és validáció outputját bemutató szóródási diagramok. A kalibráció során a modell a Leave-One-Out (LOO) keresztvalidáció módszerével ellenőrzi önmagát, és azokra mintákra becsüli meg a talajparamétereket, melyekkel a modellt létrehoztuk.

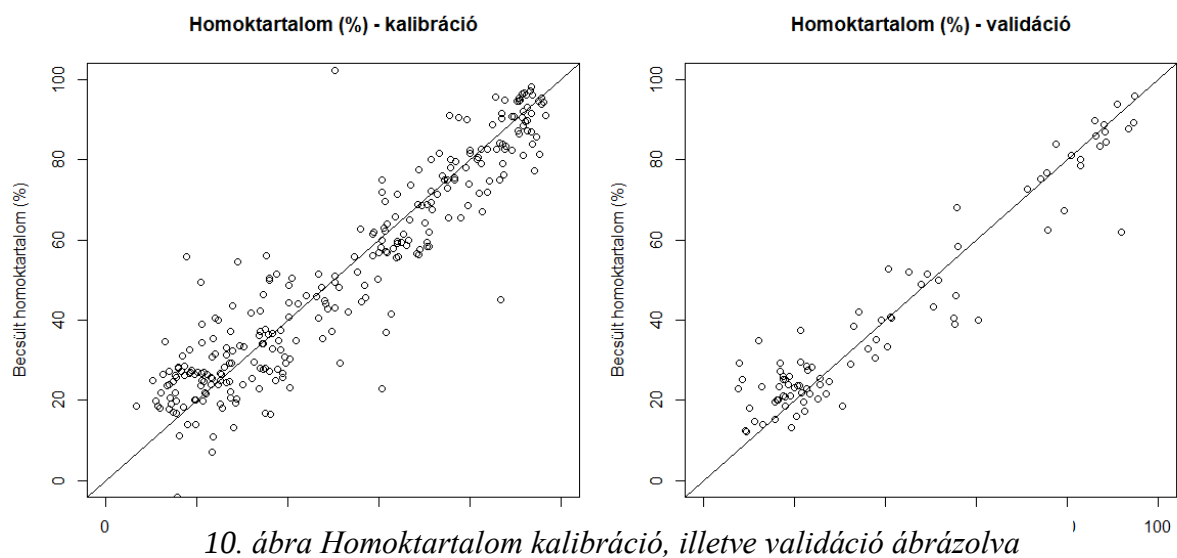
A modell validációja egy független adatsor alkalmazásával adja a modell teljesítményének valós mértékét. A validáció lépésének a statisztikai mutatói (R^2 és RMSE) mutatják a modell megbízhatóságát. Az R^2 kifejezi, hogy a becsülni kívánt változók (szerves szén, kémhatás és agyagtartalom) változatossága milyen mértékben fejeződik ki a becslésre használt spektrális változók adatsorában. Az RMSE (Root-mean Squared Error) kifejezi, hogy a modell milyen közepes négyzetes eltéréssel becsülte az adott paramétert, azaz a modell átlagos hibáját mutatja. Magas R^2 és alacsony (a talajparaméter mértékegységében kifejezésre kerülő) RMSE a becslések kisebb hibáját, megbízhatóbb modellt jelent.

A validációs lépés során számított minden esetben magasabb R^2 és alacsonyabb RMSE érték mutatkozik, mint a kalibrációs lépés során. Ez annak köszönhető, hogy a kalibrációs folyamat során a modell önmagát ugyanazzal az adatokkal ellenőrzi, amivel a modellt létrehoztuk, míg a validáció során egy „módosított” statisztikai paraméterekkel jellemezhető adatsor értékeit látjuk, mely a modell valós „prediktív kapacitását” közelíti (Csorba, 2017).

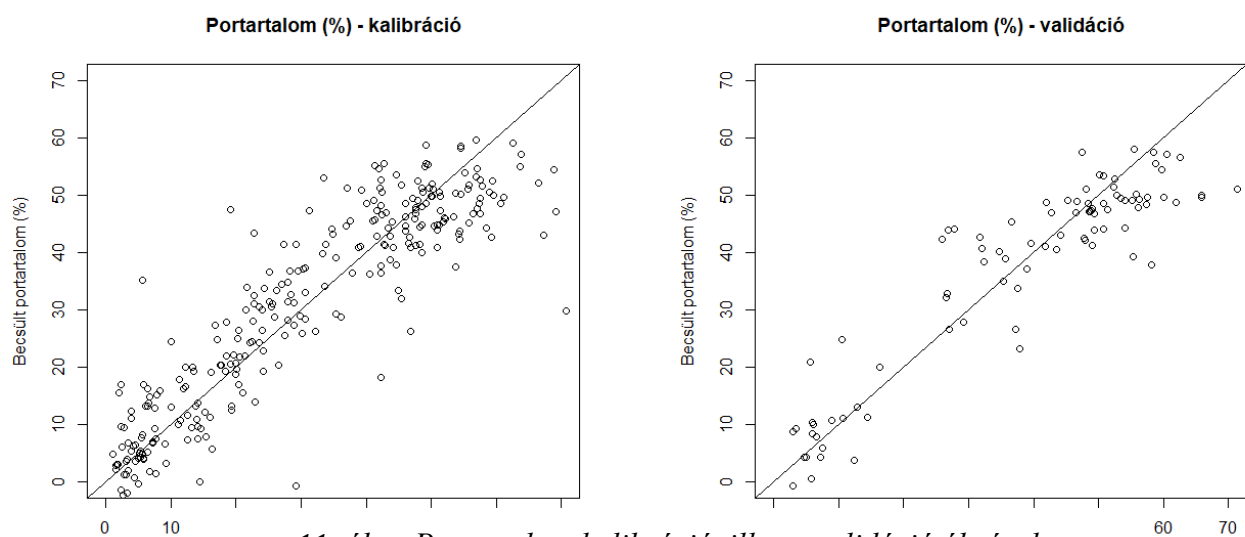
A modellek tesztelése során kapott R^2 -érték a szervesszén és agyagtartalom esetében magas ($R^2_{\text{szervesanyag}}=0,91$ és $R^2_{\text{agyag}}0.89$), mely a vizsgált paraméterek jelentős spektrális aktivitásával magyarázható a vizsgált MIR tartományban. Az RMSE érték alapján a modellek hibája 0,47 % a szerves szén, míg 3,56 % a agyagtartalom esetében, mely közepesnek mondható. A por és homoktartalom alacsonyabb megbízhatósággal becsülhető ($R^2_{\text{por}}=0,72$ RMSE_{por}=0.45; $R^2_{\text{homok}}=0.67$ RMSE_{homok}= 5,65)

A kémhatás becslése a desztillált vizes szuszpenzió esetén, valamint a kationcsere kapacitás közepes statisztikai mutatókkal jellemezhető ($R^2 = 0,79$; RMSE = 0,67, valamint $R^2 = 0,69$ RMSE = 2,56). Annak ellenére, hogy a talajokról felvett MIR spektrumokban anyagi tulajdonságok tükröződnek olyan talajparaméter becslése is lehetséges abszorbancia spektrumok alapján, melyek számos talajalkotó által együttesen meghatározott kémiai tulajdonság, és nincs közvetlen lenyomata a spektrumokban. Következésképpen a pH és CEC becslése nem közvetlenül, hanem – jellegzetes spektrális lenyomattal rendelkező, és a

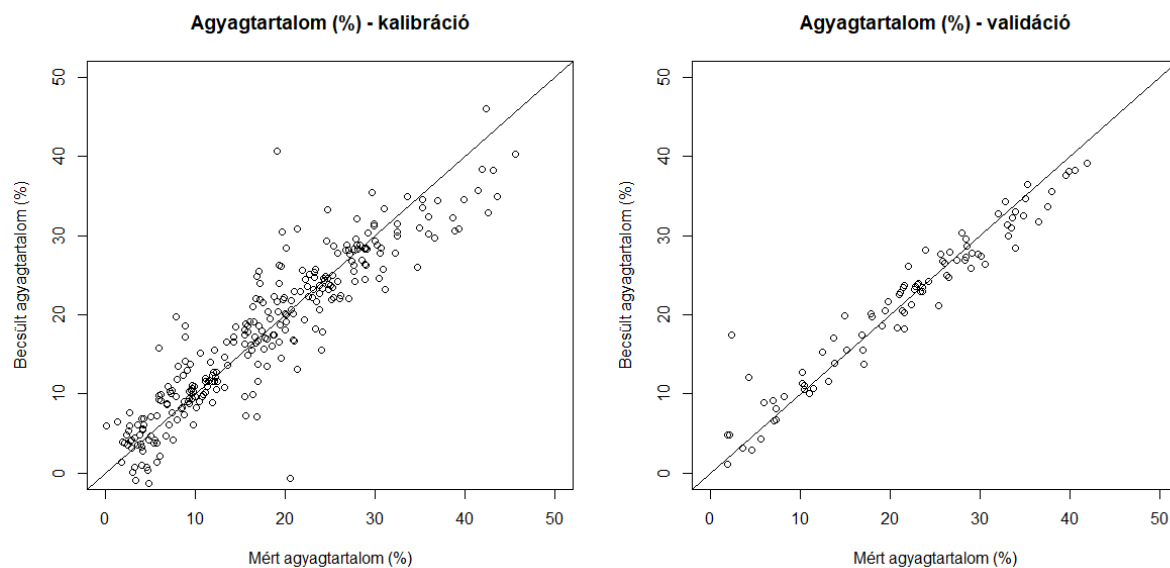
kémhatással szoros korrelációt mutató – anyagi összetevők mennyiségén keresztül, közvetve történik.



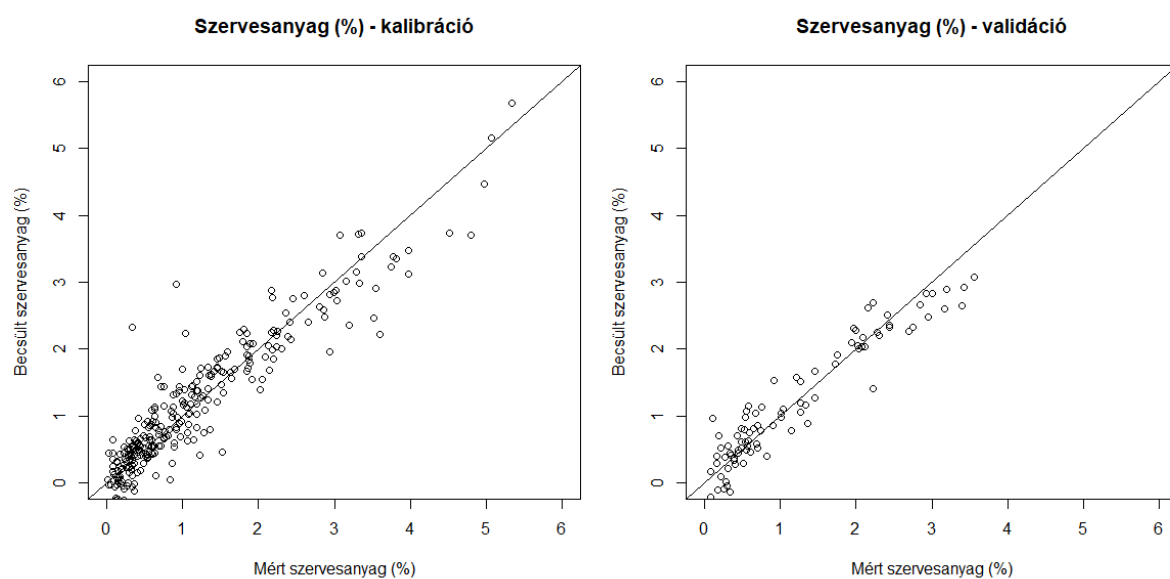
10. ábra Homoktartalom kalibráció, illetve validáció ábrázolva



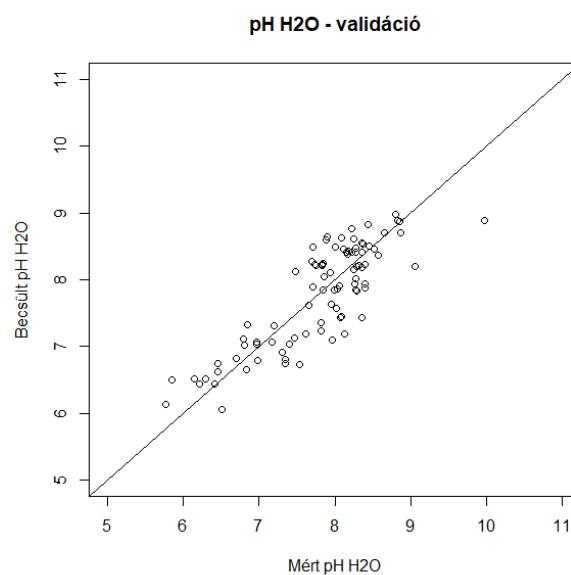
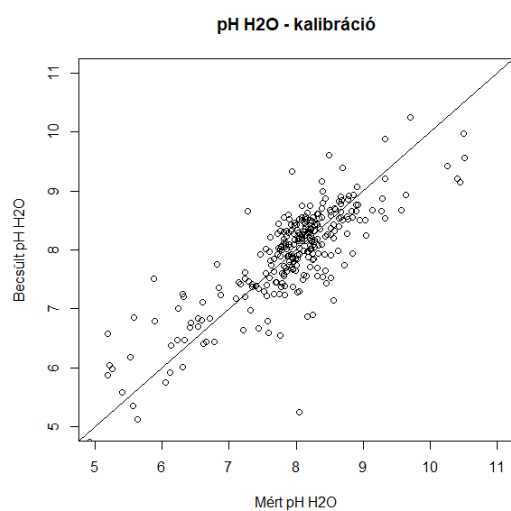
11. ábra Portartalom kalibráció, illetve validáció ábrázolva



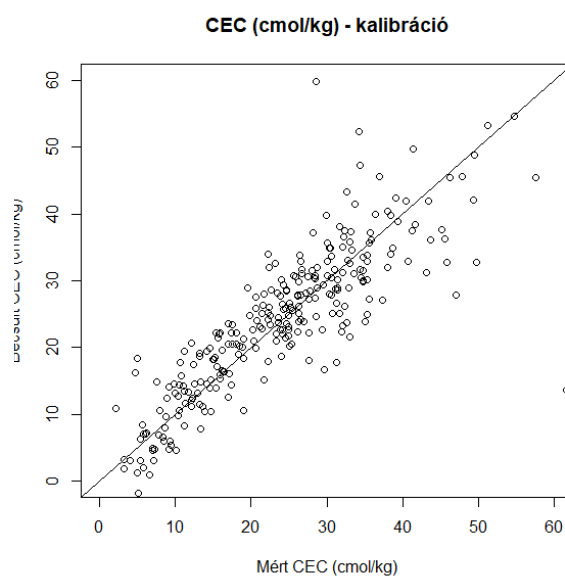
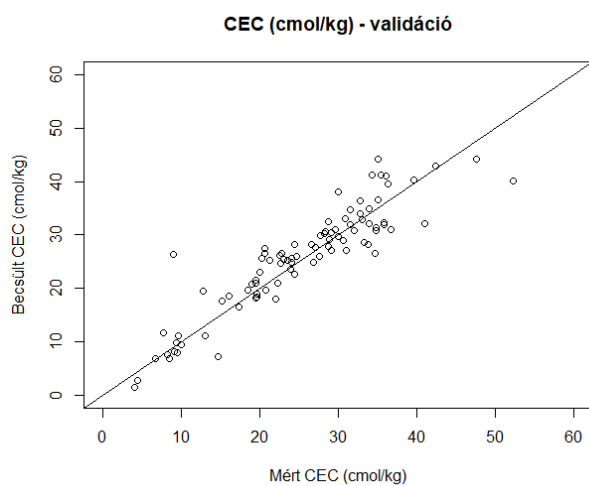
12. ábra Agyagtartalom kalibráció, illetve validáció ábrázolva



13. ábra Szervesanyagtartalom kalibráció, illetve validáció ábrázolva



14. ábra Kémhatás kalibráció, illetve validáció ábrázolva



15. ábra Kationcsere kapacitás kalibráció, illetve validáció ábrázolva

5. Következtetések és javaslatok

A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy az agyag, illetve a szervesanyag tartalom jól mérhető, míg a talaj kémhatása közepes hatásfokkal becsülhető a mérések alapján. Az eredmények pontossága javítható, ha diverzebb minták vizsgálatával tovább bővítjük a spektrum adatbázisát. Ezen kívül a kalibráció javításával is javulhat az eredmények pontossága. A reflektanciás spektroszkópia egy hatékony technika a talajok mennyiségi analízisében. Legfőképpen a talajtulajdonságok megbecslésére, talajkutatásra, és osztályozásra, és a talaj termőképességgel történő gazdálkodásra. A módszer használhatósága jelentősen függ a spektrális könyvtárak fejlődésétől.

Azon talajtulajdonságok, melyek a reflektanciás spektroszkópiával közvetlenül mérhetőek, lemodellezhetőek elsődleges becslésekkel. Ilyen talajtulajdonságok például a különböző talajalkotó elemek mennyisége (agyag, oxidok, szerves szén). Azon talajtulajdonságok becslése, melyek spektroszkópiával nem mérhetőek, nagyban függ a mérhető talajtulajdonságokhoz való korrelációjukkal. Ilyen talajtulajdonság például a kémhatás, termékenység és bizonyos mikro tápanyagok. Ezen talajtulajdonságok másodlagos, vagy harmadlagos becslésekkel lehet megjósolni, köszönhetően annak, hogy szoros kapcsolatban állnak az agyagtartalommal, illetve a szerves szénnel. (Fabrício et al. 2015)

6. Összefoglalás

Az elmúlt néhány évtized során történt környezeti változások rávilágítottak mekkora jelentősége lesz a mezőgazdaságnak a jövőben is. A természeti erőforrásainkkal való gazdálkodás, és a fenntartható fejlődés olyan igényeket hoztak létre, melyeket nem szabad figyelmen kívül hagyni. A talajjal való fenntartható gazdálkodásunk kritikus fontosságú a fenntartható fejlődés szempontjából. A jelenben jelentős igény mutatkozik jó minőségű, megbízható, és pontos talajinformációra, hogy hatékonyan tudjunk gazdálkodni ezen kiemelet jelentőségű természeti erőforrással. Egyre növekszik a talajinformáció gyűjtő projektek száma, melyek a talajok fizikai, és a kémiai összetételéről hivatottak információkat gyűjteni, és ezt minél jobban, gyorsabban, és alacsonyabb költségekkel, a környezet lehető legkisebb károsításával próbálják elérni. Ezen egyre növekvő igények alapján munkám során, mikor is a középső-infravörös spektroszkópia technológiát használtam talajminták gazdasági szempontból fontos paramétereinek, mint szervesanyag tartalom, kémhatás, agyartartalom, portartalom

Ezeket az igényeket vettem figyelembe, amikor munkám céljával a középső-infravörös spektroszkópiái technológiának az alkalmazhatóságát teszteltem talajminták szervesanyag tartalmának, kémhatásának, valamint agyagtartalmának, portartalmának, és kationcsere kapacitásának meghatározásában.

Munkám során a a NÉBIH Velence Talajvédelmi Laboratóriumának talajraktárából származó mintákon végeztem méréseket. A talajminták a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer projekt kezdeti évében lettek begyűjtve. A vizsgált minták a Pest vármegyei információs, erdészeti, illetve speciális TIM pontokat hivatottak reprezentálni. Munkám során a mérőhálózat 1237 pontjából 101 pont Pest vármegyére esik, és ezek megoszlása a következő: 16 db erdészeti, 68 információs, 17 speciális mérési pont. 399 db talajminta került vételezésre a talajok különböző genetikai szintjeiből, melyeken a spektrális méréseket végeztem. Laboratóriumi körülmények között légszáraz állapotban 0,2 mm-es lyukátmérőjű szitával szitált, és mozsárral darált talajmintákon végeztem spektrális abszorbancia méréseket. Mérőeszközöm a Burker Alpha II Fourier Transzformációs Infravörös Spektrométer volt.

Munkám során a felvett spektrumok és a rendelkezésre álló referencia talajadatok alapján olyan kemometriai modelleket hoztam létre, melyek lehetővé teszik, a modellek kalibrációjához hasonló összetételű talajminták szervesanyag-, homok-, por-, agyag-tartalmának, kémhatásának és kationcsere kapacitásának megbecslését.

A modellek tesztelése során kapott R^2 -érték a szervesszén és agyagtartalom esetében magas ($R^2_{\text{szervesanyag}}=0,91$ és $R^2_{\text{agyag}}0,89$), mely a vizsgált paraméterek jelentős spektrális aktivitásával magyarázható a vizsgált MIR tartományban. Az RMSE érték alapján a modellek hibája 0,47 % a szerves szén, míg 3,56 % a agyagtartalom esetében, mely közepesnek mondható. A por és homoktartalom alacsonyabb megbízhatósággal becsülhető ($R^2_{\text{por}}=0,72$ $RMSE_{\text{por}}=0,45$; $R^2_{\text{homok}}=0,67$ $RMSE_{\text{homok}}= 5,65$)

A kémhatás becslése a desztillált vizes szuszpenzió esetén, valamint a kationcsere kapacitás közepes statisztikai mutatókkal jellemezhető ($R^2 = 0,79$; $RMSE = 0,67$, valamint $R^2 = 0,69$ $RMSE = 2,56$). Annak ellenére, hogy a talajokról felvett MIR spektrumokban anyagi tulajdonságok tükröződnek olyan talajparaméter becslése is lehetséges abszorbancia spektrumok alapján, melyek számos talajalkotó által együttesen meghatározott kémiai tulajdonság, és nincs közvetlen lenyomata a spektrumokban. Következésképpen a pH és CEC becslése nem közvetlenül, hanem – jellegzetes spektrális lenyomattal rendelkező, és a kémhatással szoros korrelációt mutató – anyagi összetevők mennyiségén keresztül, közvetve történik.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Dr. Szegi Tamás belső konzulensemnek, aki vezetésével elkészült ez a dolgozat.

Szintén köszönettel tartozom másik belső konzulensemnek is, Dr. Csorba Ádámnak, aki szintén segítségemre volt.

Hálával tartozom Gergely Ildikónak, aki segítségemre volt a laboratóriumi munka során.

Köszönettel tartozom a MATE Talajtani Tanszék munkatársainak.

Illetve köszönettel tartozom a családomnak, barátaimnak, akik támogattak az elmúlt hónapokban.

8. Irodalomjegyzék

- Adar, S.Y., Shkolnisky, Y., Ben Dor, E., 2014. Change detection of soils under small-scale laboratory conditions using imaging spectroscopy sensors. *Geoderma* 216, 19e29.
- 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, 364e372.
- Blanco, H. and Lal, R., Eds. (2008) *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer, New York
- Bouma, J. (2014), Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 177: 111-120. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300646>
- Brady, Nyle C.; Weil, Ray R. (2008). *The nature and properties of soils* (14th ed.). Upper Saddle River, USA: Pearson.
- Burger Kálmán (2012): *Az analitikai kémia alapjai Kémiai és műszeres elemzés*. Semmelweis Kiadó Kft. Budapest, 642 p.
- Changes in soil organic matter molecular structure after five-years mimicking climate change scenarios in a Mediterranean savannah, *Science of The Total Environment*, Volume 857, Part 1, 2023, 159288, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159288>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722063872>)
- Chau, J. F., Brown, S., Habtom, E., Brinson, F., Epps, M., and Scott, R., “Impact of Soil Texture on Soil Ciliate Communities”, vol. 2014, 2014.
- De Vos, B., Lettens, S., Muys, B., Deckers, J. A. (2007): Walkley–Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Management*, 23, 221–229 pp.
- Fabício S. Terra, José A.M. Demattê, Raphael A. Viscarra Rossel, Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis–NIR and mid-IR reflectance data, *Geoderma*, Volumes 255–256, 2015, Pages 81-93, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.017>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706115001317>)
- FAO. (2006). *Guidelines for soil description*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 24p.
- Franzen, D. and H. Bu. 2018. <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/north-dakota-clay-mineralogy-impacts-crop-potassium-nutrition-and-tillage-systems/sf1881.pdf> IPNI. 2016. *Soil Fertility Manual*. International Plant Nutrition Manual, Peachtree Corners, GA, USA.
- Grunwald, S., Thompson, J.A., Boettinger, J.L., 2011. Digital soil mapping and modeling at continental scales e finding solutions for global issues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75, 1201e1213.

- Hegymegi, P., Spiegel, H., Filcheva, E., Gál, A. És Verheijen, F. (2007): Review and comparison of methods used for organic carbon determination. Part 2. Laboratory study. Soil Science Agrochemistry and Ecology. Vol.:XLI. No.: 4. 19-25 p.
- Hendershot, William & Lalonde, H & Duquette, M. (2007). Soil Reaction and Exchangeable Acidity. 10.1201/9781420005271.ch16.
- Horta, A., Malone, B., Stockmann, U., Minasny, B., Bishop, T., Mcbratney, A., Pallasser, R., Pozza, L. (2015): Potential of integrated field spectroscopy and spatial analysis for enhanced assessment of soil contamination: A prospective review. Geoderma, 241–242, 180-209 pp.
- http 1 Nébih. http://airterkep.nebih.gov.hu/gis_portal/tim/tim_kereso.htm (2017.november)
- http 1 Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (Nébih) Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság. <https://portal.nebih.gov.hu/-/a-tim-azaz-a-talajvedelmi-informacios-es-monitoring-rendszer-> (nincs dátum)
- Jankauskas, B., Slepeliene, A., Jankauskiene, G., Fullen, M., Booth, C. (2006): A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. Geoderma, 136/3–4, 763-773 pp
- Johan Bouma, Gabriele Broll, Todd A Crane, Olivier Dewitte, Ciro Gardi, Rogier PO Schulte, Willie Towers, Soil information in support of policy making and awareness raising, Current Opinion in Environmental Sustainability, Volume 4, Issue 5, 2012, Pages 552-558, ISSN 1877-3435,
- Knox, N., Grunwald, S., McDowell, M., Bruland, G., Myers, D., Harris, W. (2015): Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy. Geoderma, 239–240, 229-239 pp.
- Lal, R. (1995). Global soil erosion by water and carbon dynamics. Science, 267(5201), 1117-1123.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, 7(5), 5875-5895.
- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. Advances in ecological research, 27, 93-132.
- Layla M. San-Emeterio, Nicasio T. Jiménez-Morillo, Ignacio M. Pérez-Ramos, María T. Domínguez, José A. González-Pérez, (2022)
- Lord R., Sakrabani R. (2019): Ten-year legacy of organic carbon in non-agricultural (brownfield) soils restored using green waste compost exceeds 4 per mille per annum: Benefits and trade-offs of a circular economy approach. Science of The Total Environment, 686, 1057- 1068 pp.
- Mehra, Promil & Singh, Bhupinder Pal & Kunhikrishnan, Anitha & Cowie, Annette & Bolan, Nanthi. (2018). Soil health and climate change: a critical nexus. 10.19103/AS.2017.0033.04.
- Mohamed, E., Saleh, A., Belal, A., Gad, A. (2018): Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 21/ 1, 1-14 pp.

- Nelson, D. W. & Sommers, L.E (1996): Total carbon, Organic Carbon and Organic Method. in.: Methods of soil analysis, part 2. Chemical and Microbiological properties. 2nd edition. 1982. SSA Inc. Madison. 570-561 p.
- Nocita, M., Stevens, A., Toth, G., Panagos, P., van Wesemael, B., Montanarella, L., 2014. Prediction of soil organic carbon content by diffuse reflectance spectroscopy using a local partial least square regression approach. *Soil Biol. Biochem.* 68, 337e347.
- O'Mara, F., 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Ann. Bot.* 110 (6) 1263–1270.
- Pokol György (szerk.) (2017): *ANALITIKAI KÉMIA*. Typotex Elektronikus Kiadó Kft., Budapest, 511 p.
- Price, J.C., 1994. How unique are spectral signatures? *Remote Sens. Environ.* 49, 181e186.
- Reeves, J., Mccarty, G., Mimmo, T. (2002): The potential of diffuse reflectance spectroscopy for the determination of carbon inventories in soils. *Environmental Pollution*, 116/1, S277-S284 pp.
- Robertson, J & Pérez-Fernández E. (2017): Interpretation of Mid Infrared Spectra of Soils 12-28 p.
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2020). *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press.
- Schulte, R.P.O., Donnellan, T. (Eds.), 2012. A Marginal Cost Abatement Curve for Irish Agriculture. Teagasc Submission to the Public Consultation on Climate Policy Development. Teagasc, Carlow, Ireland http://www.teagasc.ie/publications/2012/1186/1186_Marginal_Abatement_Cost_Curve_for_Irish_Agriculture.pdf. Last accessed 21 March 2013.
- Schulte, Rogier & Creamer, Rachel & Donnellan, Trevor & Farrelly, Niall & Fealy, Reamonn & ODonoghue, Cathal & Huallacháin, D.. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*. 38. 10.1016/j.envsci.2013.10.002.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. et al. (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, 155–176 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>
- Soriano-Disla, J.M., Janik, L.J., Viscarra Rossel, R.A., MacDonald, L.M., McLaughlin, M.J., 2014. The performance of visible, near-, and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical, and biological properties. *Appl. Spectrosc. Rev.* 49, 139e186.
- Sparks, D. L. (Ed.). (2018). *Advances in agronomy* (Vol. 149). Academic Press.
- Stefanovits, P., Filep, Gy., Fülek, Gy. (1999): *Talajtan. Mezőgazda Kiadó*, Budapest
- Stevenson, F.J. (1994): *Humus Chemistry*, John Wiley & Sons, 496 p.
- USDA. (2017). Soil texture. Natural Resources Conservation Service.
- Vadakkattu, Gupta & Rovira, Albert & Roget, David. (2011). Principles and Management of Soil Biological Factors for Sustainable Rainfed Farming Systems. 10.1007/978-1-4020-9132-2_6.

- Van Oost, K., Quine, T. A., Govers, G., De Gryze, S., Six, J., Harden, J. W., ... & Merckx, R. (2007). The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science*, 318(5850), 626-629.
- Viscarra Rossel, R.A., Webster, R., 2012. Predicting soil properties from the Australian soil visible near infrared spectroscopic database. *Eur. J. Soil Sci.* 63, 848e860
- Waruru, B., Shepherd, K., Ndegwa, G., Sila, A., Kamoni, P. (2015): Application of midinfrared spectroscopy for rapid characterization of key soil properties for engineering land use. *Soils and Foundations* 55/5, 1181-1195 pp.
- Waruru, B., Shepherd, K., Ndegwa, G., Sila, A., Kamoni, P. (2015): Application of midinfrared spectroscopy for rapid characterization of key soil properties for engineering land use. *Soils and Foundations* 55/5, 1181-1195 pp.
- Weil, Raymond & Brady, Nyle. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. 15th edition.
- Hegymegi, P., Simon, B., and Michéli, E. (2006). Összehasonlító vizsgálatok a talajok kationcsere-kapacitására. *Agrokémia és Talajtan* 55, 2, 461-472, Available From: AKJournals <https://doi.org/10.1556/agrokem.55.2006.2.12>
- Zhanguo Bai, Thomas Caspari, Maria Ruiperez Gonzalez, Niels H. Batjes, Paul Mäder, Else K. Bünemann, Ron de Goede, Lijbert Brussaard, Minggang Xu, Carla Sofia Santos Ferreira, Endla Reintam, Hongzhu Fan, Rok Mihelič, Matjaž Glavan, Zoltán Tóth, (2018) Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 265,, Pages 1-7, ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.028>.
- S. Nardi, F. Morari, A. Berti, M. Tosoni, L. Giardini, (2004) Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers, *European Journal of Agronomy*, Volume 21, Issue 3, Pages 357-367, ISSN 1161-0301, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.10.006>.

4. sz. függelék – Hallgatói és konzulensi nyilatkozat minta

NYILATKOZAT

Alulírott HERVÁTH GERGELY IMRÁCS, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, SZENT ISTVÁN CAMPUS Campus, CSIKATLAN AGRÁRMÉRNOK MSc szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 05 hó 09 nap

Herváth Gergely
Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom /nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 05 hó 09 nap

Ry. T. Z.
Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!