

DIPLOMADOLGOZAT

Kertész-Kollár Márta

2023.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet

Környezetgazdálkodási Agrármérnöki mesterképzési szak

**A TALAJ SZERVESANYAG MINŐSÉGÉNEK HATÁSA A
MAKROAGGREGÁTUM-STABILITÁSRA**

Belső konzulens:	Dr. Szegi Tamás András egyetemi docens
intézete/tanszéke:	Környezettudományi Intézet Talajtani Tanszék
Külső konzulens:	Labancz Viktória egyetemi tanársegéd
Készítette:	Kertész-Kollár Márta

Gödöllő

2023.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	3
1.1. Bevezetés.....	3
1.2. Célkitűzés.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. A talaj	5
2.2. A talajok szervesanyaga.....	5
2.2.1. A szervesanyagok képződése és átalakulása	6
2.2.2. A talajok szervesanyagának mennyisége	7
2.2.3. A különböző humuszfrakciók csoportosítása.....	8
2.2.4. A talaj-szervesanyag jelentősége.....	9
2.3. A talaj szerkezete	11
2.3.1. A különböző aggregátum-frakciók mérettartományai és a stabilitásukért felelős tényezők	12
2.3.2. A makroaggregátumok stabilitása.....	13
3. Alkalmazott módszerek.....	15
3.1. A vizsgált anyag	15
3.2. Alapvető talajtulajdonságok meghatározása céljából végzett laboratóriumi vizsgálatok	17
3.3. Nedves szítás makroaggregátum-stabilitás vizsgálat	18
3.4. Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR)	21
3.4.1. A FT-IR Spektrométer működése	22
3.4.2. A spektrális görbék jellemzése.....	24
3.5. A szervesanyag-minőség vizsgálat.....	26
3.6. A Hargitai-féle humuszminőség meghatározási módszer	26
4. Eredmények és értékelésük	29
4.1. Makroaggregátum-stabilitás eredmények	29

4.2. Hargitai-féle humuszminőség eredmények.....	34
4.3. FT-IR eredmények	36
5. Következtetések és javaslatok.....	48
6. Összefoglalás.....	49
7. Irodalomjegyzék.....	50
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	55
8.1. Táblázatok	55
8.2. Ábrák	55
9. Hallgatói nyilatkozat	57
10. Konzulensi nyilatkozat	58

1. Bevezetés és célkitűzések

1.1. Bevezetés

Témaválasztásom háttérében a talajoknak az emberiség életében betöltött rendkívül fontos szerepe áll. A talajok állapota alapjaiban határozza meg az emberiség történelmét, jelenét, jövőjét, az emberi élet mindennapjait. A talaj szerkezete és annak minősége igen fontos talajtulajdonság, mivel számos lényeges talajban lejátszódó folyamatot befolyásol (pl. tápanyaggazdálkodás, nedvességgazdálkodás). A talajművelés, a termesztett növények és egyéb tényezők közvetlenül vagy közvetve mind nagy hatással vannak a talaj szerkezetére (Huisz 2007).

A talaj jelentős mennyiségű szenet tárol szerves, illetve szervetlen formában. A talajban tárolt szén mennyisége a talajtípustól és földhasználatától függ, így az egyes talajok esetében más és más. Megfelelő földhasználat esetén a talajban lévő szerves szénkészlet növelhető. Mivel a talajok nemcsak megkötni képesek a szenet, de hosszútávon raktározni is, így a klímaváltozás, valamint annak mérséklése szempontjából kulcsszerepet töltenek be (Michéli 2011).

Mindemellett a talaj szervesanyag-tartalma hatással is van más talajtulajdonságokra, így például nagyban befolyásolja a talajok szerkezetének kialakítását, valamint a szerkezeti elemek (aggregátumok) stabilitását, bár az eltérő textúrájú talajokon eltérő módon és mértékben. Míg homok textúrával jellemezhető talajokban javítja (kötőanyag), addig agyagos textúra esetén nehezíti, gátolja a részecskék összetapadását (Tisdall és Oades 1982). A nagy méretű ún. makroaggregátumok esetében a szerves anyagoknak csak egy része vesz részt a stabilitás növelésében, valamint egy adott mértékű szerves szénmennyiség felett már nem várható stabilizáló hatás. Tehát a hatékony szervesanyag utánpótláshoz szükséges kideríteni, hogy a szerves anyagoknak mely része vesz részt ténylegesen a stabilizálásban (Wander et al. 1994).

1.2. Célkitűzés

A kutatásom célja a szervesanyag minőség hatásának tanulmányozása a makroaggregátumok stabilitásának kialakítása szempontjából, mivel ezen méretű szerkezeti elemek stabilitása a szakirodalmi közlések alapján erősebben függ a szervesanyag hatásától, mint a kisebb, mikro méretű szerkezeti elemeké (Amezketá 1999). Ugyanakkor ez a stabilitás sérülékenyebb is az aggregátumok méretéből adódóan.

A kutatás során a talaj szervesanyag minőségének és makroaggregátum-stabilitásának kapcsolatát vizsgáltuk öt talaj esetében, melyek alapvető tulajdonságaikban (pl. talaj típus, földhasználat) különböznek. A szervesanyag minőség meghatározáshoz Bruker Alpha II. FT-IR spektrométert, a makroaggregátum-stabilitás meghatározásához Eijkelkamp nedves-szítás készüléket használtunk. A kutatásom célja a FT-IR szervesanyag minőség adatok értékelése a vizsgálatba bevont talajok esetében. Valamint a szervesanyag minőség és a makroaggregátum-stabilitás kapcsolatának tanulmányozása. A kutatás során a nedves szítással szétválasztott frakciókat külön vizsgáltuk, azt feltételezve, hogy átcsoportosul a stabilitás függvényében, így két frakció szervesanyag-összetétele eltérő lesz.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A talaj

A földkéreg legkülső szilárd, mállott burka, mely litoszféra, a bioszféra, a hidroszféra és az atmoszféra határán, azok kölcsönhatásainak zónájában helyezkedik el. Eltér az alapkőzettől: kialakulása során fizikai, kémiai, biológiai folyamatokon, málláson ment keresztül (Michéli 2011). Más megközelítésben: talaj időben és térben változó, három illetve négyfázisú polidiszperz rendszer, melyet szilárd (talajszerkezet), gáz (talajlevegő), folyadék (talajoldat) és biológiai fázis (talajlakó élőlények) alkotnak, és ezek állandó valamint dinamikus kölcsönhatásban vannak egymással (Várallyay 2002). Meghatározó tulajdonsága a termékenysége, tehát, hogy a kellő időben és mértékben szolgáltat tápanyagot és nedvességet a növények számára (Michéli 2011).

2.2. A talajok szervesanyaga

A szerves anyagok a talaj tömegének meglehetősen alacsony hányadát teszik ki és többnyire a jelentősebb részét annak felső rétegei tartalmazzák. Azonban jelenlétük fizikai-kémiai anyagtranszportok, valamint a kedvező talajszerkezet kialakítása miatt meghatározó, valamint a szárazföldi ökoszisztémák és a globális szénkörforgás fontos eleme (jelentős szénraktár) (Stefanovits et al. 1999; Six et al. 2001).

A talajban lévő szervesanyagokat a benne élő növények, valamint az elhalt mikro- és makroszervezetek maradványai, illetve az ezek bomlása során létrejött szerves vegyületek alkotják (Stefanovits et al. 1999). A szervesanyagok a talaj tömegének ásványi talajok esetén mindössze 2-5%-át teszik ki.

A talajban található szerves anyagok többféleképpen csoportosíthatóak, de alapvetően három nagy csoportba oszthatóak; a talaj élőlényei, és a talajon élő növények gyökérzete, az elhalt növényi és állati maradványok, illetve az említett maradványok bomlása során felszabadult illetve újraképződött szerves vegyületek (Németh 1996, Stefanovits et al. 1999). A három csoport közül az utóbbi kettőt tekintjük ténylegesen a talaj szervesanyagának, számos szakirodalomban az élő növényi és állati szervezeteket nem sorolják a szűkebb értelemben vett talaj szerves anyagok közé. Ezek a talajban élő, relevánsan nem talajszervesanyagnak minősülő mikro- és makroszervezetek a talajban található szerves rész kb. 15% jelentik, tehát a döntő hányadát (kb. 85%) az élettelen (abiotikus) szerves anyagok teszik ki (Füleky et al. 2011). Az élettelen szerves anyagokat két nagy csoportba lehet sorolni: a humuszanyagok, és

a nem-humuszanyagok. A nem-humuszanyagok részlegesen az elhalt élőlények maradványainak részlegesen lebomlott, átalakult termékei, melyek kémiaiilag azonosítható szerkezettel bírnak (Füleky et al. 2011).

A nem-humuszanyagoknak öt csoportját különböztetjük meg: a szénhidrátokat (poliszacharidok, pl. pektin, cellulóz, melyek monoszacharidokból, illetve uronsavakból épülnek fel, a talaj összes szervesanyag tartalmának kb.: 6-15%-át teszik ki); nitrogéntartalmú szerves vegyületeket (pl. aminosavak, fehérjék); a szerves savakat: alifás karbonsavak (pl. ecetsav, hangyasav, zsírsavak) és aromás karbonsavak (pl. szalicilsav); foszfortartalmú szerves vegyületeket (pl. foszfolipidek, nukleinsavak); lignineket (növényi vázanyag), tanninok (Füleky et al. 2011). Ezek a szerves vegyületek alapvetően szabadon nem, hanem szerves- és szervetlen anyagokhoz, többnyire az ásványi részhez tapadva vannak jelen a talajban. Jelentőségük kisebb, mint a belőlük képződött bomlástermékekből felépülő humuszanyagoknak (Füleky et al. 2011).

A humuszanyagok a talaj szerves-anyagainak azon részét képezik, amelyek a természet élő szenciklusából kikerülő szerves molekulák véletlenszerű halmazából képződnek, meghatározott képlettel nem definiálhatók. Ezekhez a hosszú szénláncból álló makromolekulákhoz rendkívül sok funkciós csoport, kapcsolódik. A környezeti rendszerekben a szervesanyag mineralizáció köztes termékeiként vannak jelen, ellenben a kémiai degradációval szemben ellenállóak, így a természet legelterjedtebb nem élő szervesanyagai. Megtalálhatóak a talajban, tőzegben, felszíni és felszín alatti vizekben, fiatalabb kőszén formákban, de az újabb kutatások során a légköri aeroszolokban is kimutatták (Füleky et al. 2011).

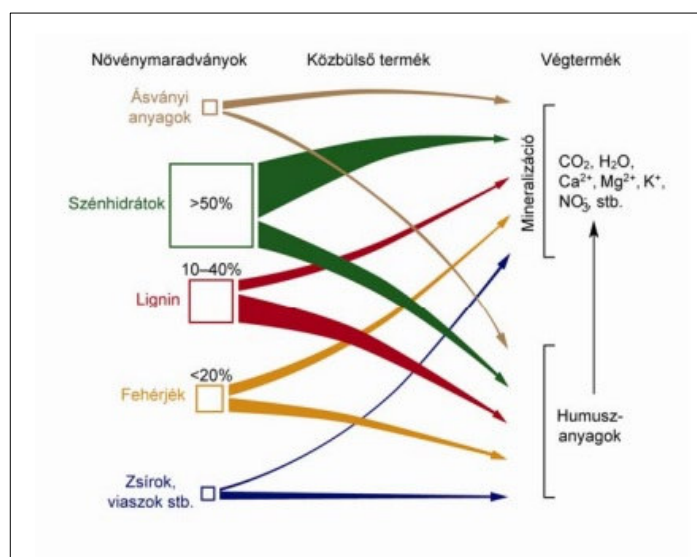
2.2.1. A szervesanyagok képződése és átalakulása

Az elhalt szerves maradványok a talajra, talajba kerülést követően jelentős átalakuláson mennek keresztül, míg humuszanyagokká alakulnak (lásd 1. ábra). Ezalatt a szerves szén nagyobb része (kb. 60-80%) szén-dioxiddá alakul, mintegy 3-8%-a beépül az élő szervezetekbe, valamint ugyancsak 3-8%-ából nem valódi humuszanyagok jönnek létre, tehát körülbelül 10-30%-a alakul valódi humuszanyagokká (Stefanovits et al. 1999). Mivel az elpusztult állati és mikrobiális szervezetek viszonylag kis össztömeget képeznek, így a talaj fő szervesanyag-utánpótlását az elhalt növényi részek alkotják (Demeter 2020). A szervesanyag lebontása a talajfauna feladata. A talajba, vagy a talaj felszínére kerülő holt biomassza átalakítását, fizikai destrukcióját, darabolását, felaprítását elsősorban a makrofauna végzi

(ízeltlábúak, földigiliszták), ezalatt a szervezetükön keresztülhaladó szervesanyag körülbelül 20%-át felhasználják. Eközben a szervesanyagok hozzáférhető felületét jelentősen megnövelik a baktériumok és a gombák számára, emellett elkeverik a talaj ásványi részeivel és a mélyebb a talaj mélyebb részeibe is lejuttatják. Ezután a bontást a gombák, sugárgombák és baktériumok végzik. Ekkor kerül sor a maradványok kémiai degradációjára, azaz a nagy és bonyolult molekulák kisebb és egyszerűbb egységekre darabolódnak, miközben a mikroszervezetek táplálékhoz és energiához jutnak (Demeter 2020, Stefanovits et al. 1999, Németh 1996). Ezután a keletkező bomlástermékek összekapcsolódva sötét színű és nagy molekulájú anyagokat hoznak létre, amikből további kondenzáció és polimerizáció következtében humuszanyagok keletkeznek (Németh 1996).

1. ábra: A talaj-szervesanyag humifikációja és mineralizációja közötti összefüggés

(Forrás: Szalai és Jakab 2011, Stefanovits Pál (1999) nyomán)



2.2.2. A talajok szervesanyagának mennyisége

A hazai talajviszonyok tekintetében elmondhatjuk, hogy míg az ásványi talajok szervesanyag-tartalma csupán 1-3%, addig a szerves, azaz láptalajoké 20% vagy afeletti. Ez a magas érték annak köszönhető, hogy az év jelentős részében fennálló vízbőség miatt a szervesanyag bontása korlátolt. Emiatt azonban ez a szervesanyag nem humifikálódott (Michéli 2011), ezért sérülékeny, kiszáradással illetve talajpusztulási folyamatokkal szemben érzékeny.

2.2.3. A különböző humuszfrakciók csoportosítása

A nem valódi humuszanyagok jelentősége sokkal kisebb mint a valódi humuszanyagoknak (Michéli 2011). A humuszanyagok háromdimenziós, kolloid tulajdonságú, aromás gyűrűket tartalmazó vegyületek. Képződésüket tekintve biogén eredetűek, azaz a természet élő szenciklusának eredményeként képződnek. Heterogén kémiai összetételű makromolekuláris anyagok (Füleký et al. 2011). Alapvetően szén-, hidrogén- és oxigén atomok alkotják a molekula vázát, melyhez eltérő mértékben kapcsolódnak nitrogén-, kén- és foszfor atomokat tartalmazó csoportok (Kovács 2010). A szervesanyagok polimerizációjának köszönhetően rendkívül hosszú szénláncból állnak, ehhez kapcsolódnak az aromás gyűrűk valamint funkciós csoportok (pl. karboxil csoportok, fenolos hidroxil csoportok, amino- és iminocsoportok) (Nyilas 2009), a szénláncához kapcsolódó funkciós csoportok mennyisége és minősége alapvetően meghatározza a humuszanyagok tulajdonságait. A humuszanyagokat három nagy csoportba sorolhatjuk, az egyik csoportba tartoznak a fulvosavak, a másik csoport a huminsavak (himatomelánsav, barna- és szürkehuminsav), a harmadik csoport a humin és a humuszszen (Nyilas 2009). A huminsavakat és a fulvosavakat összefoglalva humuszsavaknak is nevezzük.

Általánosságban elmondható, hogy fulvósavaktól a humin felé egyre erősebb szín jellemző, nő a polimerizáltság foka, melynek következtében nő a molekulaméret és a molekula tömeg, valamint a szénatomok aránya is (lásd. 1. táblázat) (Michéli 2011, Nyilas 2009), eközben csökken az oxigén koncentráció, a kationcsere kapacitás (T-érték, CEC) (Michéli 2011), valamint a savas jelleg és ebből fakadóan az oldhatóság is csökken (Nyilas 2009).

A humuszanyagok mindegyik típusa megtalálható minden talajban, de mennyiségük és egymáshoz viszonyított arányuk eltérő attól függően, hogy milyen típusú volt a kiindulási szerves anyag és mely talajban lejátszódó folyamatok domináltak leginkább (Filep 1988, Szabó 1996, Tan 2003). Így az eltérő tulajdonságú humuszanyagok révén az egyes talajokban a humuszanyagok stabilitása és viselkedése különböző, ez pedig kihat a talaj egészének tulajdonságaira, a talaj termékenységére tehát a talajminőségre is (Michéli 2011). A humuszanyagok közül a leginkább a fulvosav bír savas karakterrel. Redukáló hatású, tehát könnyen oxidálódó anyagok. Szabad savként és fémkomplexek formájában is jól oldódnak vízben, ezért elősegítik a vas- és alumíniumionok mozgását a talajban (Stefanovits et al. 1999). A huminanyagok a legstabilabb humuszvegyületek, sem lúgos, sem savas oldószerben nem oldódnak, így a talajhoz való kötöttsége ennek a humuszanyag csoportnak a legnagyobb, ami az ásványi részekhez való szoros kapcsolódásnak köszönhető (Filep 1988, Tan 2003).

1. táblázat: Az eltérő humuszanyagok egyes jellemző tulajdonságai

(Forrás: Filep (1988), Stefanovits et al. (1999), Szabó (1996))

	Huminsavak				
	Fulvósavak	Himatomelánsavak	Barna huminsavak	Szürke huminsavak	Humínok
Molekulatömeg (dalton, Da)	~2000	5000-20000	~50000	~100000	~300000
Szín	sárgásbarna	barna	sötétbarna	szürkésfekete	sötét szürkésfekete
Enzimaktivitás szerepe a humuszképződésben	legcsekélyebb	növekvő	növekvő	növekvő	legmagasabb
C-tartalom (%)	40-50	60	50	60	>60
N-tartalom (%)	0,5-2	4-5	3-5	5-8	>4
O-tartalom (%)	45-48		33-36		32-34
Összes aciditás (cmol+/kg)	900-1400		600-850		500-600
Karboxilos (cmol+ /kg)	600-900		200-500		300-400
Ásványos fázissal való kapcsolat	gyenge		növekvő		maximális
Kationcserélő képesség (cmol+/kg)	minimális	csökkenő	150-300		minimális
Vízvisszatartó képesség	minimális	csökkenő	saját tömeg 8-10-szerese		minimális
Fázis	oldott	kolloid (szol)	kolloid	kolloid	kolloid (gél)
Mozgékonyság a talajban	maximális		csökkenő		minimális
Jellemző talajtípus (mérsékelt övezetben)	Podzol		Barna erdőtalajok	Mezőségi talajok	

2.2.4. A talaj-szervesanyag jelentősége

A talajok természetes termékenysége, víz- és tápanyagszolgáltató képessége szoros összefüggésben van a talajképződés körülményeivel. A legtermékenyebb talajok mindegyikére jellemző a kalciummal való telítettség, a Ca-humátok jelenléte, valamint az ebből következő morzsás, porózus talajszerkezet és a megfelelő tápanyag-ellátottság.

A talajban található szervesanyag számos nélkülözhetetlen funkcióval bír (Demeter 2020). A humuszanyagok kis mennyiségük ellenére döntő szerepet töltenek be a talajszerkezet kialakításában, a talaj tápanyag-gazdálkodásában, hő- és vízháztartásában (Stefanovits et al. 1999). Emellett magas kationcsere-kapacitással bír, pufferkapacitása révén stabilizálja a talaj pH-ját, valamint az ökoszisztéma nitrogén tartalékát képezi, illetve a talaj mikroorganizmusai számára az egyik fő szubsztrát forrást jelenti (Demeter 2020). Képesek toxikus hatásokat tompítani (Michéli 2011), azáltal, hogy megkötik a szennyezőanyagokat és a nehézfémeket (Stevenson 1994).

A humuszanyagok jelentős mértékben javítják a talaj vízgazdálkodását, mely egyrészt a szerkezetkialakító hatásuknak köszönhető (Stefanovits et al. 1999), másrészt annak, hogy a saját tömegük többszörösének megfelelő vizet képesek felvenni, ezáltal csökkentik a kiszáradás, zsugorodás lehetőségét, homoktalajokban növelik a vízvisszatartást (Füleky et al. 2011). Emellett sötét színük és így nagyobb hőelnyelő képességük révén hatékonyabban nyelik el a Nap sugarait (Stevenson 1994, Ragályi 2011), ugyanakkor a nagy szervesanyag-tartalom növeli azonban a talaj víztartó képességét is, ami a víz nagy hőkapacitása miatt nagymértékben csökkenti a hőmérséklet-ingadozást. Továbbá a talajok, részint a szervesanyagok révén nagy mennyiségű szén képesek megkötni és tárolni (a talaj szerves és szervetlen szén készlete összességében körülbelül négyszer nagyobb, mint a növényzetben, és háromszor nagyobb, mint a légkörben tárolt szén mennyisége). Így a talajok szervesanyag tartalmának megőrzésével, valamint lehetőség szerinti növelésével a talajoknak jelentős szerepe lehet az üvegházhatású gázok (pl. CO₂, CH₄) megkötésében, és így a klímaváltozás hatásainak mérséklésében (Michéli 2011).

2.2.4.1. A talaj-szervesanyag hatása a talaj szerkezetére

A talaj-szervesanyag az ásványi részekkel (agyagásványokkal) való kapcsolódása, a talajrészecskék összekapcsolása révén vesz részt szerkezeti egységek, aggregátumok képzésében, ezáltal elősegíti stabil, porózus szerkezet kialakulását, így kedvezőbbé teszi a talaj vízgazdálkodását, lehetővé teszi a gázok cseréjét, csökkenti tömörödési és elporosodási hajlamát (Michéli 2011, Füleky et al. 2011).

Mivel a huminsavak kétvegyértékű fémionokkal alkotott sói vízben nem oldódnak, ezért képesek összecementálni a talaj ásványi vázrészeit. A talajszerkezet szempontjából ugyanis a legkedvezőbb, ha Ca-humát illetve agyag-humusz komplexek alakulnak ki. Ezek az anyagok,

amellett, hogy vízben oldhatatlanok, jelenlétükben kedvező, morzsás talajszerkezet alakul ki (Stevenson 1994, Tombácz 2003, Ragályi 2011).

Emellett további stabilizáló hatása van a szervesanyagot bontó mikroorganizmusok nyálkaanyagainak és más bomlástermékeinek (Stefanovits et al. 1999). A huminsavak vas- és alumíniumoxidokhoz illetve -hidroxidokhoz kapcsolódva szintén stabil szerkezeti egységeket hoznak létre, ám ez kevésbé előnyös talajszerkezetet eredményez, mert ezek nem elég porózusak, nincs belső pórusrendszerük (Stefanovits et. al 1999).

Igen jelentős szerkezetkialakító tényező a szerves és az ásványi kolloidok összekapcsolódásával létrejött agyag-humusz komplexum mennyisége és minősége (Stefanovits et. al 1999).

A humuszanyagok tehát a stabil, porózus szerkezet biztosításával kedvezőbbé teszik a talaj vízgazdálkodását, csökkentik tömörödési hajlamát, és fékezik a felület elporosodását (Stefanovits et. al 1999). Szerkezetjavító hatásukon keresztül befolyásolják a talaj művelhetőségét, lazítják a kötött talajokat (Stevenson 1994, Ragályi 2011).

A fentiek alapján elmondható, hogy a szervesanyag növekedésével nő az aggregátum-stabilitás, ami hozzájárul a stabil talajszerkezet kialakulásához, ami részint a szervesanyag hidrofobicitás növelő hatásának, részint a kémiai kötésszám növekedésnek köszönhető (Chenu et al. 2000). Fontos azonban a szervesanyag időbeli bekerülése is: míg a friss szervesanyag a felszabaduló szerves vegyületek által gyors, de rövidtávú hatással bír, addig a stabilabb frakciók hozzáadása kisebb hatású, de hosszantartó (Kay 1998).

2.3. A talaj szerkezete

A talajban különálló szemcsék, ásványi részek csak ritka esetben fordulnak elő, ellenben változatos méretű, formájú és elrendeződésű aggregátumokat alkotnak. Ezek változatos elrendeződése hozza létre a talaj szerkezetét és pórusrendszerét (Marshall és Holmes 1979). A talaj szerkezetét tehát olyan részecskék halmaza, aggregátumok építik fel amelyek egymáshoz szorosabban kapcsolódnak mint a többi részecskéhez (Huisz 2007, Dunai 2017). A talajszerkezet kulcsszerepet tölt be a talajban lejátszódó folyamatok működésében, így például a levegő- és nedvesség-gazdálkodásban, továbbá befolyásolja a talaj erózióra valamint rögzösödésre való hajlamát, illetve azt, hogy a talaj mennyire átjárható a talajlakó élőlények, valamint a növények gyökerei számára. Ezáltal a talajszerkezet jelentősen kihat a termésmennyiségre is (Huisz 2009). Várallyay (2002) szerint a szerkezeti elemek méretét és

alakját a genetikai talajszerkezet írja le. Ezek a tulajdonságok a talajképződés során alakulnak ki, és ezek alapján jönnek létre a különböző talajtípusokba tartozó talajok (Huisz 2012). A talaj szerkezeti állapotát, a vízzel illetve a művelő-eszközökkel, talajműveléssel szembeni ellenállását, tápanyag-gazdálkodását, mezőgazdasági használatra való alkalmasságát az agronómiai talajszerkezet fejezi ki (Huisz 2012).

2.3.1. A különböző aggregátum-frakciók mérettartományai és a stabilitásukért felelős tényezők

A talaj szerkezetét vizsgálhatjuk az aggregátumok mérete, alakja és stabilitása alapján is. A méret szerinti eloszlást agronómiai talajszerkezetnek is nevezik, általában szitasorozatokkal határozzák meg. A nemzetközi szakirodalom az aggregátumok mérethatárát 250 μ m-re teszi, az ennél nagyobbak a makro-, a kisebbek a mikroaggregátumok. Ezen belül az aggregátumok tovább csoportosíthatóak: 250-2000 μ m között kis makroaggregátumokról, míg 2000 μ m felett nagy makroaggregátumokról beszélünk (Tisdall és Oades 1982). A mikroaggregátumok méretosztálya az egyes szakirodalmakban eltérő, de alapvetően a 20-250 μ m, 50-250 μ m esetleg a 63-250 μ m közötti frakciót sorolják ide. A mikroaggregátumok tovább oszthatóak, így a 2-20 μ m frakciót iszap vagy klaszter (cluster) frakciónak hívják, a 2 μ m alatti részek pedig az agyagflokkuátumok (lásd. 2. táblázat) (Oades és Waters 1991).

Az aggregátumok képződése igen összetett folyamat, melynek során a szerkezeti elemeket eltérő szerves és szervetlen anyagok kapcsolják össze. A természetben ezek a folyamatok egymással kölcsönhatásban, egyszerre zajlanak, ezért nehéz egymástól elkülöníteni. Azonban mégis különbséget szoktak tenni külső és belső tényezők között (Kay 1997, Amezketa 1999, Dunai és Tóth 2015). A belső tényezők között a legnagyobb jelentőséggel a szervesanyag-tartalom bír. Ez részben a hidrofobicitás növelő tulajdonságának, részben a többlet kémiai kötéseknek köszönhető (Chenu et al. 2000). Számít a szervesanyag időbeli bekerülése is, a friss szervesanyag (a felszabaduló szerves vegyületeknek köszönhetően) gyors, de rövidtávú hatást eredményez, míg a stabilabb frakciók hozzáadásával kisebb, de tartósabb hatás érhető el (Kay 1998). Emellett fontos szerepe van a pH-nak, a magasabb pH és a nagyobb mésztartalom növeli a stabilitást, továbbá a mikrobiális aktivitásra is pozitívan hat, ami szintén kedvező (Boix-Fayos et al. 2001, Haynes és Naidu 1998). További pozitív hatása van az aggregátum-stabilitásra a kationcserélő kapacitás növekedésének (bár a monovalens ionok pl. Na⁺, H⁺ negatívan hatnak) (Tisdall 1996). Emellett fontos szerepe van a talajlakó szervezeteknek (megtermelt kötőanyagok révén a baktériumok általában a mikroaggregátumok, a gombák a makroaggregátumok képződésében vesznek részt) (Schutter

és Dick 2002), illetve az agyagásványoknak, vas-alumíniumoxidoknak, szeszkvioxidoznak, a makroszervezeteknek, a fizikaifeleségnek, a porozitásnak, a természetett növénynek (Dunai 2017). A külső tényezők alatt alapvetően a mezőgazdasági művelést, tápanyagellátást valamint a klimatikus adottságokat értjük (Dunai 2017, Bryan et al. 1989).

2. táblázat: A különböző frakciókba tartozó aggregátumokat kialakító tényezők

(Forrás: Oades és Waters 1991; Amezketá 1999; Lal és Shukla 2004; Nimmo 2004; Totsche et al. 2018; In Labancz et al. 2021;)

Mérettartomány neve	Mérete	Stabilitás kialakító anyagok és mechanizmusok
Agyag flokkulátumok	2 µm >	agyagásványok összekapcsolódása intermolekuláris kölcsönhatásokkal (van der Waals, elektrosztatikus)
Agyag flokkulátumok +iszap frakció	2 – 20 (50, 63) µm	agyag-iszap részecskék összekapcsolódása kolloid méretű anyagokkal: vas-alumínium oxidok, szervesanyag, mikroorganizmusok tevékenységei
Mikroaggregátumok	20 (50, 63) – 250 µm	szerves-ásványi komplexek, baktériumok élettevékenysége
Makroaggregátumok	250 µm <	talajlakó gombák élettevékenysége (pl. gombafonalak), növényi gyökerek és növényi jelenlét, szervesanyagok, nedvesedési-száradási- és fagyási-olvadási ciklusok /művelés hatásai - pl. trágya, komposzt/

2.3.2. A makroaggregátumok stabilitása

A talaj aggregátum-stabilitása azt fejezi ki, hogy a különböző degradációs folyamatok (pl. talajművelés) hogyan hatnak a talaj szerkezeti tulajdonságaira (Hernádi et al 2017). Azaz a talaj aggregátum stabilitása a degradációs folyamatokkal (pl. víz erodáló hatása) szembeni ellenállás mértékét fejezi ki az idő függvényében. A makroaggregátumok stabilitását nagy mértékben befolyásolja a talaj „élő és holt” szervesanyagaitól, ennek következtében a makroaggregátum aránya a talajban a szervesanyag tartalom alakulásával párhuzamosan változik (Lal és Shukla 2004). Biológiai szempontból a talajlakó gombák, baktériumok, valamint az egyéb mikrobiális eredetű metabolikus anyagok (pl. glomalin) nélkülözhetetlen szerepet játszanak az aggregátumokon belüli kötések kialakításában (Lal és Shukla 2004, Nimmo 2004, Dunai és Tóth 2015, Totsche et al. 2018).

Aggregátumok rendszerint a növényi gyökérszet körül is alakulnak ki, ennek az az oka, hogy a gyökérváladék serkenti a mikrobiológiai aktivitást. A makroaggregátumok kialakulásában meghatározó szerepet töltenek be a talajfauna tagjai (pl. földi giliszták, férgek, hangyák) (Coleman et al. 2018).

A szervesanyag sok esetben hidrofób bevonatot képez az aggregátumok felületén, melynek köszönhetően lassabban megy végbe az aggregátumok nedvesítése, ezáltal kevésbé iszapolódnak szét (Sullivan 1990). Azonban a szervesanyagok stabilizáló hatása nagyon könnyen sérülhet, mely leginkább a makroaggregátumokat érinti (Sullivan 1990, Blackman 1992).

A talajművelés hosszútávon csökkenti a humusz mennyiségét, amely szignifikáns korrelációt mutat a makroaggregátum-stabilitás csökkenésével is (Bartlová et al. 2015). A természetű növények szintén befolyásolhatják a makroaggregátumok-stabilitását: pl. árpa és lucerna termesztése után nagyobb stabilitás mérhető, mint kukorica monokultúrában (Baldock és Kay 1987).

3. Alkalmazott módszerek

3.1. A vizsgált anyag

A vizsgálatokba bevont minták a K119475 sz. NKFI pályázat támogatásával feltárt 55 talajszelvényből származnak. A mintavételezési helyszínek kiválasztásánál fő szempont volt, hogy a nagyobb talajadatbázisokban (AIIR, MARTHA) szereplő főtípusok részarányuknak megfelelő létszámban legyen feltárva (a tervezett 50-60 szelvényfeltárás keretein belül), valamint ezek az ország teljes területén nagyjából egyenletes eloszlásban forduljanak elő. Vizsgálatain során ezek közül a szelvények közül választottunk ötöt (2-3. ábra, 3. táblázat), mely a dolgozatomban bemutatásra kerül.

A vizsgált szelvények 2017 tavasza 2019 tavasza között lettek feltárva. A feltárást precíz előkészületek előzték meg. A szelvények kiválasztását megelőzőleg a Dövényi et al. 2010. Magyarország kistájainak katasztere, illetve különböző térinformatikai szoftverek segítségével alaposan tanulmányoztuk a területek adottságait talajtani, földtani és domborzati szempontok alapján. A területek tulajdonosával, földhasználójával történő egyeztetést, illetve a terepi bejárást követően jelöltük ki a szelvények pontos helyszínét, tájban való elhelyezkedését. A szelvények feltárását követően terepi vizsgálatokat végeztünk: A feltárt szelvényekben Munsell-színskála segítségével meghatároztuk a nedves talaj színét, gyúrópróbát végeztünk a fizikaiféleség azonosításához. Vizsgáltuk a talajszerkezetet, CaCO_3 tartalmat, illetve feljegyeztük a hidromorf bélyegeket pl.: agyaghártyák jelenléte. A mintavételt követően laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk.

2. ábra: A vizsgált talajszelvények elhelyezkedése az ország területén belül

(Forrás: saját munka)



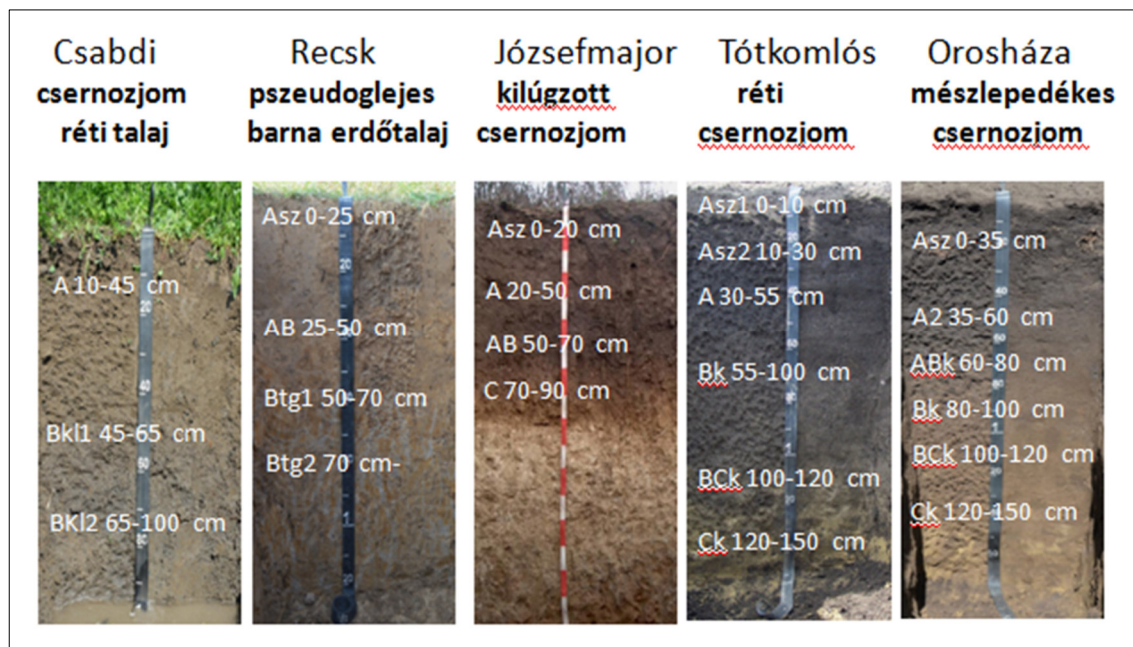
3. táblázat: A vizsgált minták tulajdonságai, talajtípusa

(Forrás: Saját munka)

Szelvény helye	Hazai talajosztályozás szerinti besorolás
Csabdi	igen mély humuszos rétegű, közepesen humuszos, felszíntől karbonátos csernozjom réti talaj löszön (331)
Józsefmajor (Hatvan)	közepes humuszos rétegű, közepesen humuszos, kilúgzott csernozjom löszön (180)
Orosháza	igen mély humuszos rétegű, közepesen humuszos típusos mészlepedékes csernozjom löszön (191)
Recsk	mély humuszos rétegű, közepesen humuszos agyagbemosódásos pszeudoglejes barna erdőtalaj agyagos üledéken (122)
Tótkomlós	igen mély humuszos rétegű, erősen humuszos mélyben sós réti csernozjom löszön (203)

3. ábra: A vizsgált szelvények

(Forrás: saját szerkesztés az Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani Intézet munkatársainak fényképei alapján)



3.2. Alapvető talajtulajdonságok meghatározása céljából végzett laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumi vizsgálatok végzésekor a Buzás et al. 1988. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei, valamint Buzás et al. 1993. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata című könyvekben leírtakat alkalmaztuk.

A laboratóriumi vizsgálatok során megmértük az Arany-féle kötöttséget, a CaCO_3 tartalmat, az agyagtartalmat, a kémhatást: pH (H_2O), valamint az összes só%-ot és a humusz%-ot is (4. táblázat). Meghatároztuk a T-értéket, S-értéket, valamint az S-érték százalékában kifejezve a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ mennyiségét is.

4. táblázat: Általános talajtulajdonságok

(Forrás: saját munka)

Talajszelvény	Szint	Mélység (cm)	Humusz (%)	pH _(H₂O)	CaCO ₃ (%)	Agyag (2 mm >)%
Csapdi	A	10-45	3,13	7,81	5,74	30,18
	B _{g1}	45-65	2,96	7,83	5,36	38,33
	B _{g2}	65-100	2,73	7,97	6,8	37,83
Józsefmajor	A _{sz}	0-20	2,84	7,65	0,95	
	A	20-50	2,65	6,97	0,11	31,03
	B	50-70	1,69	6,52	0,08	32,6
	BC	70-90	1,04	6,75	0,08	37,76
	C	90-120	0,54	8,08	13,25	34,77
Orosháza	A _{sz}	0-35	3,49	7,99	2	
	A	35-60	2,62	8,23	6,48	31,14
	B _{k1}	60-80	2,38	8,26	8,1	33,08
	B _{k2}	80-100	1,95	8,29	9,41	33,06
	BC _{k1}	100-120	1,33	8,38	12,91	33,96
	BC _{k2}	120-150	1,02	8,46	13,18	32,41
	C _k	150-170	0,63	8,69	12,45	32,27
Recsk	A _{sz}	0-25	1,61	7,17	0,07	28,16
	A _{sz} B _g	25-50	0,85	7,18	0,07	36,35
	B _{g1}	50-70	0,49	5,49	0,09	40,01
	B _{g2}	70-130	0,39	5,23	0,06	39,6
Tótkomlós	A _{sz1}	0-10	3,62	7,8	3,24	39,83
	A _{sz2}	30.okt	3,72	7,95	3,53	40,02
	A	30-55	3,38	8,09	6,59	41,26
	B _k	55-100	1,76	8,5	15,36	40,04
	BC _k	100-120	0,9	9,4	20,45	38,63
	C _{kFe}	120-150	0,44	9,75	22,48	33,8

3.3. Nedves szítás makroaggregátum-stabilitás vizsgálat

A mérések alapját az képezi, hogy az aggregátumokat ismert mértékű romboló erőnek vetjük alá, ezt követően pedig megmérjük romboló hatás ellenére megmaradt aggregátumok mennyiségét. A talajok makro-aggregátum stabilitás mérésére számos kidolgozott módszer létezik, melyek közül a nedves-szítás eljárások a legjobban elterjedtek (Kemper és Rosenau 1986, Hernádi et al. 2017). Ennek háttérében az áll, hogy a művelt területeken leginkább a víz romboló hatása a legmeghatározóbb, mert az aggregátumok hirtelen, gyors vagy nagy mértékű nedvesedése jelentősen szétiszapolhatja a talaj szerkezeti elemeit (Le Bissonnais 1996).

A nedves-szítás makro-aggregátum stabilitási vizsgálat azon a tapasztalaton alapul, hogy az aggregátumok kötőanyagának bizonyos hányada vízben mobilizálható, így ezek a talaj nedvesedése közben kioldódnak (elveszítik stabilizáló szerepüket). Más, vízben nem oldható anyagok kötőereje a nedvesítés hatására szintén csökkenhet (Six et al. 2000).

A nedves szítálás során az ismert tömegű talajmintákat folyamatos vízáramban, vagy állandó mennyiségű vízben átszítáljuk különböző- vagy egy meghatározott lyukátmérőjű szítán illetve szitasorozaton, így el tudjuk különíteni egymástól a különböző mérettartományba eső aggregátumokat, illetve a stabil és nem stabil aggregátum frakciókat. A módszer előnye, hogy a mérésből kapott adatok közvetlenül a vízálló talajaggregátumok mennyiségét adják meg, mely értékek azonos módszer esetén elviekben egymással is összehasonlíthatók (Dvoracek 1952). A leggyakoribbak az egyszítás készülékek, ilyen például az Eijkelkamp gyártmányú mérőeszköz (Hernádi et. al. 2017).

A makroaggregátum-stabilitás mérésekhez Eijkelkamp nedves-szítát használtunk (lásd. 5. ábra), mely 8db szítát tartalmaz. A szíták lyukátmérője 250 μm , ami előnyös, mert itt húzódik a mikro- és makroaggregátum frakciók mérethatára.

A mérést 1-2 mm átmérőjű szemcsékből álló, légszáraz állapotú talajmintákon végeztük. Az Eijkelkamp ajánlásainak megfelelően 4-4 g mintát mértünk be, ezt követően a mintákat maradék nélkül átvittük a szítákra. Az előnedvesítést az eredeti módszer ajánlásától eltérően, a korábbi tapasztalatokra és az irodalmi közlésekre alapozva dupla szűrőpapíron át, kapilláris úton végeztük (lásd. 4. ábra) (Kertész-Kollár 2021).

4. ábra. A talajminta előnedvesítése

(Forrás: saját szerkesztés Labancz V. 2021 fényképe alapján)



Azért választottuk ezt a megoldást, mert az eredeti módszertani leírásban található direkt gyors nedvesítés során a mintában levő levegő miatt nyomáskülönbség jön létre, melynek hatására az aggregátumok szétrobbanhatnak. Emiatt az aggregátumok szétesését nem közvetlen a szimultán vízhatás okozná, hanem a hirtelen és gyors nedvesítés miatt bekövetkező robbanás, ami torzítaná az eredményeket. Erre ad megoldást a lassú nedvesítés (Barna et al. 2017.)

A mérés előtt az előnedvesített talajmintákat tartalmazó szitákat a készülékbe helyeztük, a szitákhoz tartozó desztillált vizes edényekbe (minden szitához tartozik egy-egy edény) 92ml desztillált vizet öntöttünk, és a sziták alá helyeztük a készülékbe, majd belemerítettük a szitákat a desztillált vizes edényekbe. Ezt követően bekapcsoltuk a készüléket, amely 3 percig, percenként 34 alkalommal, 1,3 cm-es emelési magassággal fel-le emelgette a szitákat a desztillált vízben (*fn**d*). A 3 perces mérés valamint a rövid csepegési idő leteltével a minták alól kivettük a desztillált vizes edényeket, helyükre 92ml 2g/l Na-pirofoszfátot tartalmazó edényeket tettünk (minden szitához külön edény tartozik). Ezt követően a desztillált vizes méréshez hasonlóan belemerítettük a mintákat tartalmazó szitákat a folyadékba, majd a korábban ismertetett módon folytattuk a minták szétiszapolását, ezúttal 8 percen át (*fd*). A szitálást követően még diszpergálatlanul maradt aggregátumokat gumi-keverőbottal óvatosan átnyomkodtuk a szitákon és a Na-pirofoszfát oldatot tartalmazó edényekbe mostuk. Ennek köszönhetően már csak a 0,25mm-nél nagyobb elemi szemcsék illetve szerves maradványok maradtak a szitákon. A méréseket minden minta esetében nyolc ismétlésben végeztük el. A mérést követően a desztillált vizes valamint a diszpergáló szerves edények tartalmát, azaz a szétiszapolt mintákat maradékmentesen főzőpoharakba mostuk át. Ezt követően elektromos főzőlapon bepároltuk, majd szárítószekrényben 105°C-on kiszárítottuk. Szárítás után visszamértük a minták tömegét. A talajmintákban található stabil makroaggregátumok arányát (MaAS(%)) a következő egyenlet segítségével számoltuk ki:

$$MaAs (\%) = \frac{fd}{fnd + fd} * 100$$

ahol: *fn**d* a desztillált vizet tartalmazó edény (vízben nem stabil aggregátumok), *fd* pedig a diszpergáló oldatot tartalmazó edény (vízben stabil aggregátumok) bepárlási maradéka (Kertész-Kollár 2021).

5. ábra: A mérések során használt Eijkelkamp nedves szitálás készülék

(Forrás: Eijkelkamp honlapja)



3.4. Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR)

Az infravörös spektroszkópia (IR) a XX. század közepétől a leggyakrabban alkalmazott anyagazonosító módszerré vált (Szakács et al. 2012). Az anyag és az infravörös sugárzás kölcsönhatása következtében a molekulák rezgési és forgási viszonyai változnak meg (Szakács et al. 2012). Az infravörös tartomány három fő részre osztható: közeli infravörös-tartomány ($12800-4000\text{cm}^{-1}$), közepes infravörös-tartomány ($4000-400\text{cm}^{-1}$), és távoli infravörös-tartomány ($400-10\text{cm}^{-1}$) (Szakács et al. 2012). A különböző halmazállapotú mintákról készített IR-spektrum a minta ujjlenyomatának tekinthető, mert túl azon, hogy egyedileg azonosít egy molekulát, a csoportfrekvenciákon keresztül a molekula szerkezetéről is információt ad. Mivel minden egyes anyag az atomok egyedülálló kombinációjaként jön létre, két különböző anyagról nem lehet teljesen azonos infravörös-spektrumot készíteni, így lehetőséget ad arra, hogy különböző szerkezetű polimereket azonosítsunk. A spektrumban található elnyelési sávok nagysága pedig mennyiségi elemzésre ad lehetőséget (Szakács et al. 2012).

Az infravörös tartományban bekövetkező energia abszorpció feltételei közé tartozik, hogy a molekula rezgése vagy forgása során dipólusmomentum-változás következzen be, amellet, hogy a sugárzás frekvenciájának meg kell egyeznie a molekula rezgési frekvenciájával. Erre azért van szükség, mert csak aszimmetrikus töltéseloszlással (dipólusmomentummal)

rendelkező molekulában lévő atomok rezgőmozgásának amplitúdóját képes egy váltakozó elektromos tér megváltoztatni. Mivel ha a dipólusmomentummal rendelkező molekulát egy olyan elektromos sugárzás éri, melynek frekvenciája pontosan megegyezik a molekula természetes rezgési frekvenciájával, energia abszorpció történik, ezáltal a rezgés amplitúdója megnövekszik (Szakács et al. 2012).

A mintán áthaladó infravörös sugárzás hatására különböző rezgéstípusok jelennek meg a spektrumban. Vegyértékrezgések esetén a rezgő atomok vegyértéktengely mentén közelednek illetve távolodnak egymástól, de a vegyértékszög nem változik (Szakács et al. 2012).

Az infravörös spektroszkópia továbbfejlesztése a Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR), amellyel kiküszöbölhetőek a hagyományos infravörös spektroszkópia hátrányai. A hagyományos készülékek ugyanis diszperzív típusúak voltak, azaz az infravörös sugárforrás által kibocsátott energia egyedi frekvenciáit elkülönítették. Ezek a készülékek tehát minden egyes frekvenciát külön mértek, amellyel jelentős mértékben lelassították a mérést. A mai készülékekkel naponta legalább 100 mintát lehetséges mérni, míg korábban 2-4 volt jellemző, mert polikromatikus fényforrást használnak, valamint a digitalizálás is gyorsítja a mérést. A FT-IR spektroszkópia gyors, precíz és egyszerű mérési módszer tehát. Alkalmazásakor nagyon kis mennyiségű minta is elegendő a megbízható méréshez. Hátránya viszont, hogy nincs olyan oldószert, amely az egész analitikai sávban áteresztő lenne (Szakács et al. 2012).

A mai modern FT-IR készülékeket számítógépes szoftverrel lehet üzemeltetni, amely lehetőséget ad ismeretlen minták kereskedelmi forgalomban kapható termékekkel való azonosítására, mert a szoftver több ezer ismert anyag spektrumának adatbázisával össze tudja hasonlítani az ismeretlen mintát (Szakács et al. 2012).

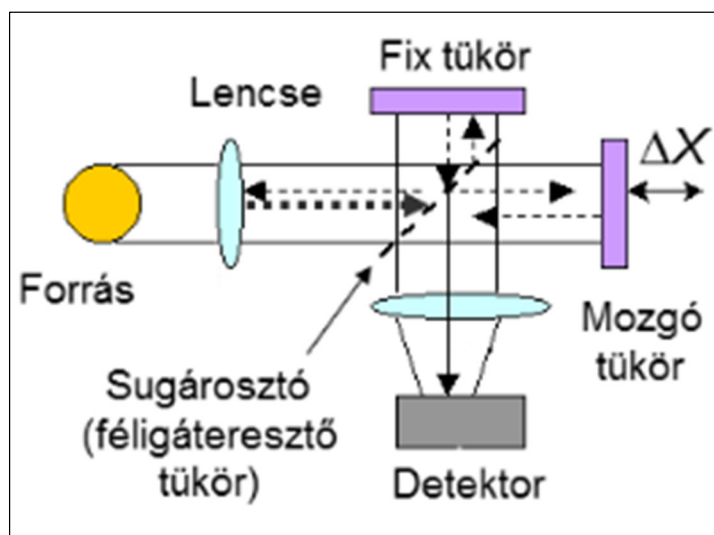
3.4.1. A FT-IR Spektrométer működése

A modern FT-IR spektrométerek négy fő részből állnak. Ezek a következők: egy fényforrás, interferométer, detektor és a tükrök (lásd. 6. ábra). A Fourier-transzformációs IR mérés alapja egy Michelson interferométer. Az interferométer a fényforrás által kibocsátott fényt két egyenlő részre bontja. Az egyik fénysugár egy álló, fix helyzetű tükörről, a másik pedig egy néhány milliméteres mozgást végző tükörről érkezik vissza, ezt követően egy lencse segítségével párhuzamos úton halad tovább. Innen a fény egy félig áteresztő tükörré kerül, majd egy része egy álló tükörré, a másik része pedig egy mozgó tükörré vetül. (A mozgó tükör helyének pontosabb meghatározására az újabb műszerekbe egy He-Ne lézert is

beépítenek.) A két sugár egy fényosztó tükrön találkozik, ahol a két fény által megtett útnak megfelelő interferencia jön létre. Ennek következtében megváltozik a sugárzás frekvenciája. Ezt követően világítjuk meg a mintát, melyről a fény a detektorba jut. Az így nyert interferencia jelből Fourier Transzformációval megkapjuk a mért minta spektrumát (Higdon 2010, Tóth J. A. et al. 2021, Tóth F. B. 2020).

6. ábra: FT-IR spekrométer vázlata

(Forrás: C1: Optikai alapok az ELI-ALPS tükrében - MSc)



3.4.2. A spektrális görbék jellemzése

A spektroszkópai vizsgálatok eredményeit az alábbi táblázatokban található spektrumadatok alapján határoztuk meg:

5. táblázat: FT-IR spektrumok jellemzése során azonosított fő csúcsokhoz rendelt rezgési folyamatok és anyagok - Táblázat a szerves talajok összetételének elemzéséhez

(Forrás: Von M. Hesse et al. 1995)

Hullámszám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Molekula (csoport)
3670-3580	O-H kötésnyúlás	szabad OH, cellulóz
3540-3480	N-H asszim. kötésnyúlás	szabad (primer) amid
2000-1900	-NH ³⁺ deformációs rezgés	ammónia
1740-1720	COO-R C=O nyúlása	észterek
1707-1710	COO-H C=O nyúlása	karbonsavak
1600-1635	O-H deformációs rezgés	cellulóz
1600-1650 (1610)	Aromás C=C nyúlás és/vagy aszimmetrikus C-O nyúlási folyamat COO-	lignin vagy más aromás anyagok, vagy aromás vagy alifás karboxilok
1550	NH ₃ ⁺ szimm. deformációs rezgés	ammónia
1505-1515	Aromás C=C nyúlási folyamat	lignin / fenolos szerkezet
1426	szimmetrikus C-O nyúlási folyamat COO- -ból, vagy nyújtási folyamatok és OH deformációk (COOH)	karboxilát, karbonsav szerkezetek (huminsav)
1371, 1450	C-H deformációk	fenolos (lignin) és alifás szerkezet
1310-1410	fenolos OH C-O nyújtási folyamatai és/vagy arilmetiléterek	fenol
1160-1000	C-O kötésnyúlás	szénhidrát
1140-1180	S-O nyúlási folyamatai	szulfátok
1100-1000	P-O nyúlási folyamatai	foszfátok
1100-950	Si-O nyúlási folyamatai	szilikátok
1050	C-O nyúlási és O-H deformációs folyamatainak kombinációja	poliszacharidok
835	síkon kívüli aromás CH	lignin
600-720	OH, síkon kívüli	fenol
405-530	S-O	szulfátok
405-530	S-O	foszfátok

6. táblázat: Ásványi anyagok abszorpciós táblázata

(Forrás: Von M. Hesse et al. 1995)

Hullámszám (cm ⁻¹)	Rezgés típusa	Anyag
3696, 3670, 3650, 3620	O-H nyúlási folyamat	Kaolinit
995	Si-O nyúlási folyamata	
908	O-H hajlítása	
3620	O-H nyúlás	Illit
982	Si-O nyúlás	
1162, 1055	Si-O nyúlások	Kvarc
797, 779	Si-O	
695	Si-O	
1405-1410	C-O nyújtás	Kalcium-karbonát
875	C-O síkban történő hajlítása	
715	C-O síkban történő hajlítása	

A fenti táblázatok mellett az online spektrum könyvtár (forrás: Spectroscopic Tools honlapja) használtam fel a rezgések valamint azok háttérében álló anyagok és molekula csoportok azonosítására.

Az infravörös spektrumot négy jellegzetes tartományra oszthatjuk:

- 3700 – 2300 cm⁻¹ X-H kötések vegyértékrezgései,
- 2250 – 2000 cm⁻¹ hármass kovalens kötés és kumulált kettős kötés vegyértékrezgései
- 1900 – 1600 cm⁻¹ a kettős kötés, mint pl. C=O, C=N és C=C kötések vegyértékrezgései
- 1600 cm⁻¹ alatti ujjlenyomat tartomány

A rezgések típusai:

- Vegyértékrezgés (kötésnyúlás) – két atom közötti kötés nyúlik, illetve rövidül. Ez a rezgéstípus nagyobb energiájú. Ezen belül megkülönböztetünk szimmetrikus vegyértékrezgést és aszimmetrikus vegyértékrezgést.
- Deformációs rezgések – A kötéstávolság nem változik csak a kötésszög. Ezen rezgésfajták kisebb energiájúak. Megkülönböztetünk:
 - Ollózó (síkbeli aszimmetrikus),

- Kaszáló (síkbeli szimmetrikus),
- Síkra merőleges szimmetrikus,
- Síkra merőleges aszimmetrikus rezgést.

A deformációs rezgések közé tartozik még a torziós rezgés is, mely több atom esetében a térbeli torziós szög megváltozását jelenti.

A közép-infravörös tartomány, melynek hullámszáma kb. 4000–400 cm⁻¹ (30–1,4 μm) a fundamentális rezgések és a kapcsolódó rotációs-vibrációs rezgések vizsgálatára alkalmas (Boros et al. 2010).

3.5. A szervesanyag-minőség vizsgálat

A nedves szitálást követően a vízben stabil és nem stabil mintákat külön vizsgáltam. A mintákat achát mozsáron porrá morzsoltam, majd 250μm átmérőjű szitán átszitáltam. Így kaptam meg a vizsgálatához szükséges szemcseméretet. Ezt követően a készülékhez tartozó kis kehelybe helyeztem egy kevés mintát, a tetejét spatulával elsimítottam, majd a gépbe helyeztem.

A mérést megelőzőleg a műszert arany bevonatú referencia mintával kalibráltam. A méréseket három illetve négy ismétlésben végeztem el. A méréseket Bruker Alpha II. FT-IR készülékkel végeztem, melyet a Bruker Optic cég gyártott, az eredményeket pedig az OPUS (Optics Users Software) programmal rögzítettem.

3.6. A Hargitai-féle humuszminőség meghatározási módszer

A vizsgálat a *Buzás et al. (1988)*, „*Talaj és agrokémiai vizsgálati módszertkönyv*”-ben leírt „*Hargitai-módszert*” követi, a módszer leírás is minden esetben erre a munkára hivatkozik. A Hargitai módszer során két oldószert használunk. 0,5%-os NaOH-dal kioldjuk a nyers szerves anyagokat és a savanyú humuszt, tehát azokat a humuszanyagokat, melyeknek kevés aromás funkciós csoportjuk van. NaF-al pedig a nagy molekulájú aromás huminsavakat és a kalciumhoz kötött huminanyagokat oldjuk ki. A kioldások elvégzése után az oldatok fényelnyelését fotométeren mérjük, egymáshoz viszonyítjuk. Így kapjuk meg az úgy nevezett Humuszstabilitási számot (Q). A számítást a következő egyenlet írja le:

$$Q = \frac{E_{NaF}}{E_{NaOH}}$$

- E_{NaF} : a NaF-os oldószerű minta abszorbancia értékének átlaga minden mért hullámhosszon, azonos mintatípuson belül (megszorozva a hígítás mértékével),
- E_{NaOH} : a NaOH-os oldószerű minta abszorbancia értéknek átlaga minden mért hullámhosszon, azonos mintatípuson belül (megszorozva a hígításmértékével),
- Q = stabilitási szám.

Első lépéseként a vizsgálandó mintákat légszáraz állapotban átszitáltuk, a durva növényi maradványoktól megtisztítottuk. Ezt követően a 0,25 mm szitán mindegyiket átszitáltuk, majd 2-2 g mennyiséget bemérve minden mintát kémcsőbe helyeztünk. A minták adagolását ezt követően újabb kémcsővekbe megismételtük, mivel a két oldószeres eljárás megköveteli, hogy minden mintára 2 kémcső jusson, melyek egyikébe a NaOH, a másikba pedig a NaF oldat kerül. Minden mintából 2 ismétlés készült. Ezután a kémcsővek egyik felébe 20 cm³ 0,5%-os NaOH oldat, a kémcsővek másik felére 20 cm³ NaF oldat került. Ezután minden kémcsövet ledugaszoltunk, alaposan összeráztunk úgy, hogy ne maradjon száraz minta. Az erőteljes rázás 3-5 percig tartott, majd a mintákat az oldószereknek megfelelően elkülönítve állványra tettük.

Az oldatban lévő minták ezután 48 órán keresztül, hűtőszekrényben álltak. Ezután szűrőpapír használatával leszűrtük a mintákat. A mintákat szűrés előtt centrifugálni nem kellett. Az átlátszatlan mintákra ötszörös, illetve tízszeres hígítást, az igen sötét színű mintákra pedig átlagosan kétszeres és háromszoros hígítást alkalmaztunk. Törekedtünk arra, hogy a hígítások extinkciója (a ki és belépő fény hányadosának logaritmus) a 400 nm-es hullámhossztartományon ne haladja meg a 2-es értéket, de a leghosszabb 750 nm-es hullámhossznál ne süllyedjen lényegesen 0,1 alá. Ezután Jenway 6405 spektrofotométer segítségével 400 és 750 nm között 9 hullámhossznál megmértük a NaOH-os és a NaF-os kivonatok extinkcióját.

A NaF-os oldószeres mintacsoport eredményeit, azonos mintatípusokon belül, az ismétléseket átlagolva, elosztva a NaOH mintacsoport megfelelő mintatípusaival, minden egyes mintára, minden hullámhossznál számítottuk az ún. Q értékeket, azaz stabilitási számot. A Hargitai-módszer számítása nem ér véget a Q - érték meghatározásánál, ugyanis kalkulál egy ún. stabilitási koefficiens, K értéket. A humuszstabilitási számot (Q) osztva az összes humusztartalommal (H) megkapjuk a humuszstabilitási koefficiens (K).

A stabilitási koefficiens (K érték) meghatározása az alábbi egyszerű módon lehetséges:

$$K = \frac{Q}{H}$$

Q: stabilitási szám, **H:** összes humusztartalom a talajban *Tyurin* szerint,

K: stabilitási koefficiens

A K érték meghatározása után az eredményeket az alábbi táblázat szerint értékelhetjük.

7. táblázat: A K érték kapcsolata a szervesanyag minőségével

(Forrás: Buzás et al. 1988)

0,001	nyersavar-szintek, növényi maradványokban gazdag rétegek
0,01	tőzegek, szikesek, humuszos szintjei, szerves trágyák
0,1	láptalajok, réti talajok, podzolos barna erdőtalajok humuszos szintjei
1	hazai barna erdőtalajok, Ramann-féle barnaföldek humuszanyagai
10	csernozjomok humuszanyagai

4. Eredmények és értékelésük

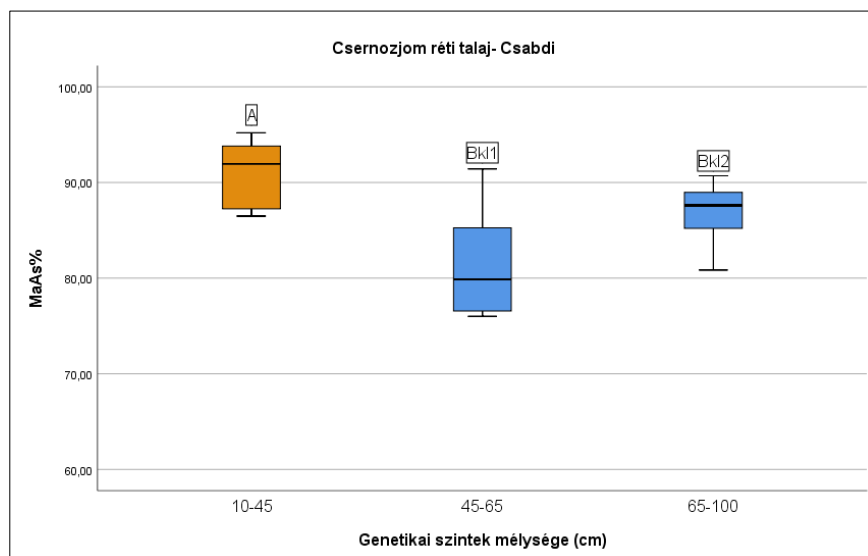
4.1. Makroaggregátum-stabilitás eredmények

A vizsgált talajok (Csabdi, Józsefmajor, Orosháza, Recsk, Tótkomlós) makroaggregátum-stabilitását (MaAS%) a BSc szakdolgozatomban vizsgáltam, de itt is ismertetem.

Általánosságban elmondható, hogy a makroaggregátumok stabilitásának szelvénybeli alakulása jelentősen függött az egyes talajtípusok jellemző tulajdonságaitól. A szervesanyag stabilizáló hatása mellett a karbonát- és vastartalom, valamint a jelenlévő anyagok együttes hatása játszott jelentős szerepet a makroaggregátumok stabilitásának kialakításában. Ugyanígy szerepe volt a magasabb makroaggregátum stabilitás kialakításában az időszakos vízhatásnak, valamint a feldúsult agyagtartalomnak, agyagfelhalmozódásnak is. A legmagasabb stabilitási értékeket a vizsgált csernozjom réti talaj (Csabdi) humuszos felszíni "A" szintje esetében tapasztaltunk (MaAs%: 90,96%). Hasonlóan magas stabilitási értéket (MaAs%: 87,95) mutatott a vizsgált pszeudoglejes barna erdőtalaj (Recsk) humuszos felszíni "A" szintje is. Legalacsonyabb stabilitása a talajképző kőzeteknek volt. Ez összhangban van azzal a törvényszerűséggel, hogy a felszíntől lefelé a fokozatosan csökkenő szervesanyag-tartalommal csökken a makroaggregátumok stabilitása is (Kertész-Kollár 2021).

A vizsgált **csernozjom réti talaj** (Csabdi) esetében is fontos stabilizáló hatása volt feltehetően a humuszanyag mellett a vas vegyületek jelenlétének is, ez valószínűsíthető a csernozjom talajokhoz képest elve magasabb makroaggregátum stabilitás értékek miatt. A legfelső humuszos szintek vélhetően a vas-humátok jelenléte miatt magasabb makroaggregátum-stabilitást mutattak (7. ábra). Míg ahol a vas mennyisége és a szervesanyag is csökkent, ott az aggregátum stabilitás mértéke is visszaesett. Azonban az erőteljesebb vízhatás megjelenésével ismét növekedett a makroaggregátum stabilitás értéke (Kertész-Kollár 2021).

7. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a csernozjom réti talaj esetében Csabdi
(Forrás: Kertész-Kollár 2021)

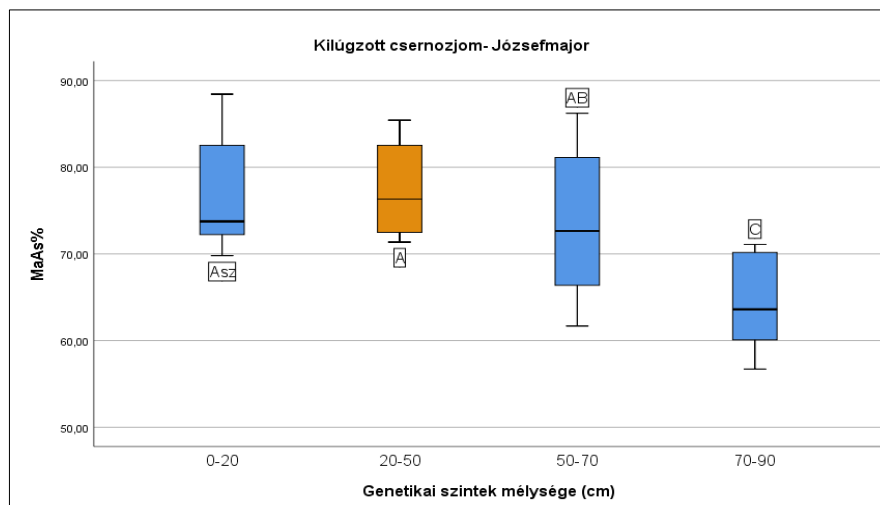


A három vizsgált **csernozjom (mezőségi) talaj** közül általánosan magasabb stabilitása volt a **kilúgzott csernozjomnak** (Józsefmajor) (8. ábra). A legfelső humuszos "Asz" szint makroaggregátum stabilitása 76,09% volt, míg az alatti lévő nem művelt "A₂" szintnek 78,01%. A vizsgált csernozjom talajok esetében megfigyelhető volt a művelés aggregátumromboló hatása is. Míg a felső szántott szintek makroaggregátum-stabilitása alacsonyabb, addig a szántott szint alatti humuszos "A" szintek stabilitása általában magasabb volt (Kertész-Kollár 2021).

8. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a kilúgzott csernozjom talaj esetében

(Józsefmajor)

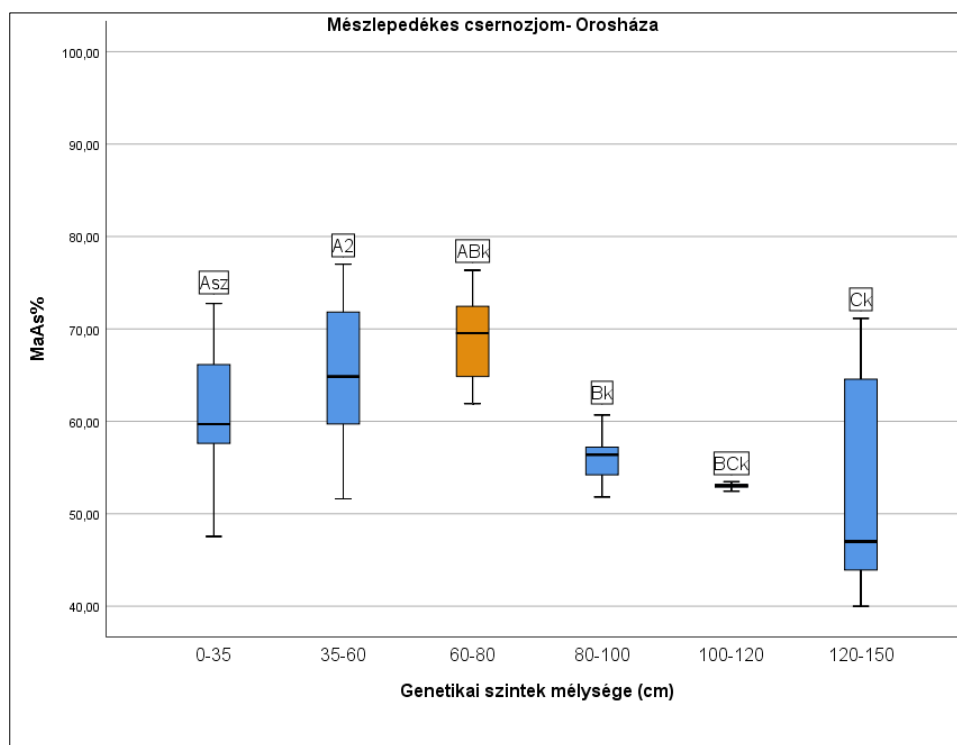
(Forrás: saját munka)



A vizsgált **mészlepedékes csernozjom talaj** (Orosháza) esetében a legmagasabb stabilitása az átmeneti "ABk" szintnél volt tapasztalható (9. ábra), ahol a szervesanyag mellett (noha mennyisége kevesebb, mint a felszíni szintekben) egyszerre van jelen a másodlagos, pedogén kalcium-karbonát is. Feltehetően ezek együttes jelenléte a víz romboló hatásának ellenállóbb aggregátumokat alakított ki. Ezt követően a talajképző kőzet felé haladva egyre csökkent mindenhol a makroaggregátumok stabilitása. Ennek oka valószínűleg a szervesanyag jelenlétének megszűnése, mivel a karbonát-tartalom ettől független a mélységgel párhuzamosan növekedett (Kertész-Kollár 2021).

9. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a mészlepedékes csernozjom talaj esetében (Orosháza)

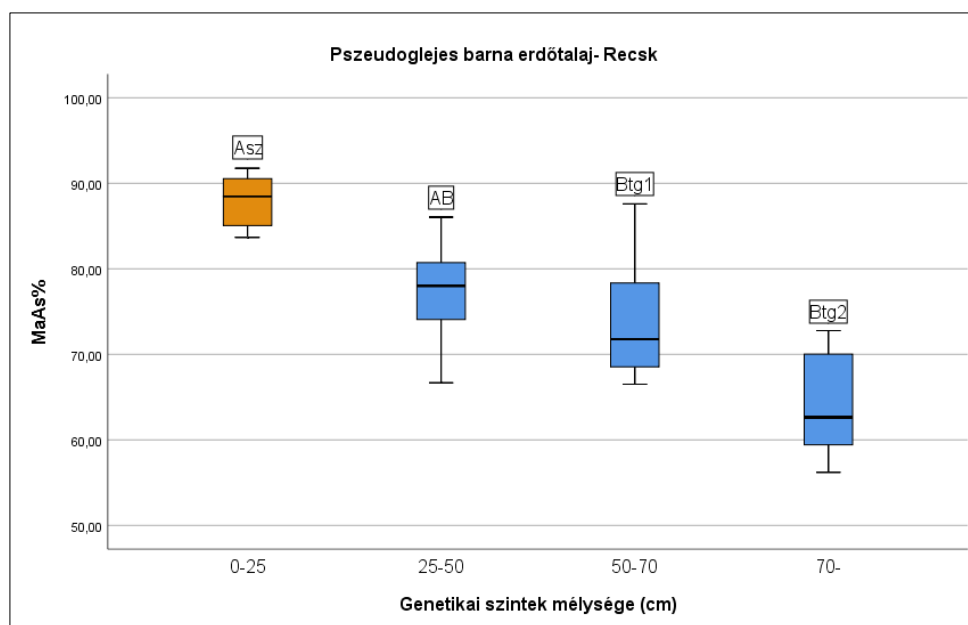
(Forrás: Kertész-Kollár 2021)



A vizsgált **pseudoglejes barna erdőtalaj** (Recsk) esetében elmondható, hogy a makroaggregátum stabilitás a mélyebb szintek felé haladva fokozatosan csökkent és mindenhol meghaladja a 60%-os értéket (10. ábra). A felszíni szint magas stabilitási értéket mutatott (MaAs%: 90,96%). Ez többek között magyarázható azzal is, hogy bár korábban művelés alatt állt, jelenleg azonban évek óta gyepként funkcionál (Kertész-Kollár 2021).

10. ábra: A stabil makroaggregátumok aránya (MaAs%) a pszeudoglejes barna erdőtalaj genetikai szintjeiben (Recsk)

(Forrás: Kertész-Kollár 2021)

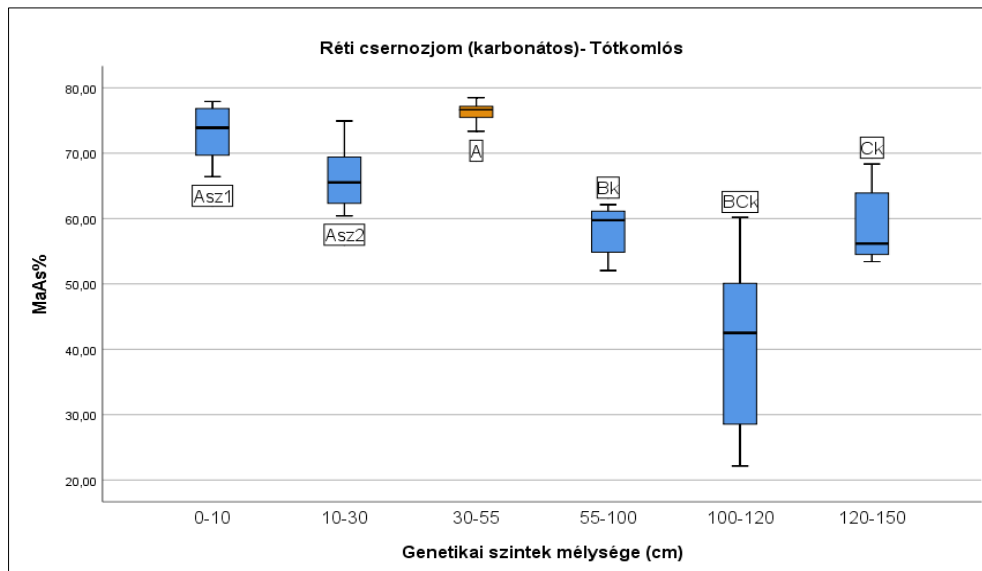


A réti csernozjom talaj (Tótkomlós) esetében a legmagasabb stabilitás a szántott szintek alatti "A" szintben volt mérhető (11. ábra). Ezt követően a mélyebb szintek felé haladva csökkent a stabilitás, azonban az alapképző kőzetben ismét magasabb stabilitási értéket mértünk.

11. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a réti csernozjom talaj esetében

(Tótkomlós)

(Forrás: saját munka)



4.2. Hargitai-féle humuszminőség eredmények

A csernozjom réti talaj, Csapdi esetében a szintek mélységével párhuzamosan csökkent mind a Q, mind a K érték. Míg a felszínhez közeli (10-45cm) szint Q értéke 9,19 valamint K értéke 2,94, addig az alsóbb szinteken ezek az értékek már kisebbek, 45-65 cm-en a K érték 0,85, 65-100 cm között pedig már csak 0,61 (8. táblázat). Tehát a felső szintekben elsősorban a hazai barnaerdő talajok illetve Ramann-féle barnaföldek humuszanyagai találhatóak meg (6. táblázat), melyek stabilabbak, az alsóbb szintek alacsony K értékei pedig lebomlatlan szerves maradványokra utal. A K érték alapján tehát fentről lefelé haladva csökken a humuszanyagok stabilitása. Ezzel szemben az orosházai mészlepedékes csernozjom talaj esetében mind a felszín közelében, mind a mélyebb szintekben magas stabilitási értékeket kaptunk, tehát az egész szelvényben a csernozjomokra jellemző humuszanyagok dominálnak. Azonban a Q és a K érték, és így a humuszanyagok stabilitása is negatívan korrelál a szintmélységgel, vagyis a mélyebb szintekben magasabb Q és K értéket kaptunk, azaz itt a mélyebb szintekben stabilabb humuszanyagok találhatóak, mint a felszín közelében. A pszeudoglejes barna erdő talaj, Recsk esetében a stabilitási értékek szintén fordítottan korrelálnak a szintmélységgel, azonban mindvégig alacsonyak (Q és K érték kisebb 1-nél), amely lebomlatlan növényi maradványokra utal. Az eredményekből az is kitűnik továbbá, hogy a józsefmajori (kilúgzott csernozjom talaj) és tótkomlói (réti csernozjom talaj) szelvényekből vett minták esetében a

stabilitási értékek kezdetben növekednek a szintmélységgel, majd csökkennek. Míg Józsefmajor esetében a K érték minden szintben 1-10 közötti szám, ami az erdőtalajokéhoz hasonló humuszanyagok jelenlétére utal, addig Tótkomlósnál ez az érték minden szintben 10 feletti, ami arra enged következtetni, hogy a csernozjomok humuszanyagai a jellemzőek ebben a talajban.

8. táblázat: A Hargitai-féle humuszminőség meghatározási módszer Q és K eredményei a vizsgált szelvényekre vonatkozóan

(Forrás: saját munka)

Szelvény helye	mélység (cm)	Hargitai Q	Hargitai K
Csabdi	10-45	9,19	2,94
	45-65	2,53	0,85
	65-100	1,67	0,61
Józsefmajor	0-20	3,80	1,34
	20-50	4,22	1,59
	50-70	5,17	3,06
	70-90	1,71	1,64
Orosháza	0-35	44,01	12,59
	35-60	96,88	36,96
	60-80	90,14	37,94
	80-100	74,42	38,21
	100-120		
	120-150		
Recsk	0-25	0,80	0,49
	25-50	0,73	0,86
	50-70		
	70-150		
Tótkomlós	0-10	67,15	18,52
	10-30	69,11	18,58
	30-55	174,39	51,61
	55-100	19,81	11,27
	100-120		
	120-150		

4.3. FT-IR eredmények

Az egyes szelvények FT-IR készüléssel mért eredményeit az OPUS (Optics Users Software) program segítségével értékeltük ki.

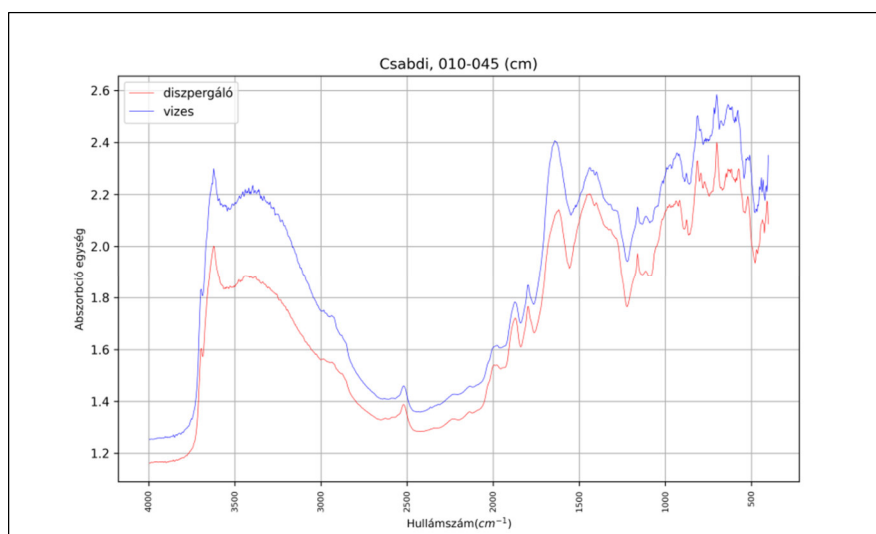
Csabdi esetében jellemzően 3-5 csúcsot azonosítottunk szintenként és frakciónként. Az első csúcs a $3600-3700\text{ cm}^{-1}$ tartományba esett (9. ábra), ami az O-H kötésnyúlás rezgése, amely szabad -OH csoportokra, cellulózra utal. A második csúcsot $1620-1670\text{ cm}^{-1}$ tartományban mértük, amely az O-H csoportok deformációs rezgésének, az (aromás) C=C kötés nyúlásának, valamint az aszimmetrikus C-O kötésnyúlási folyamatának kötésnyúlásának tartománya. Ez tehát cellulóz, lignin vagy más aromás anyagok, vagy aromás vagy alifás karboxilok jelenlétére utal. A harmadik csúcs az $1449-1457\text{ cm}^{-1}$ hullámhosszon mértük ami a C-H deformációs rezgés illetve a C-O és C=C kötés nyúlási rezgése, ezek a hullámcsúcsok éterek, karbonátok jelenlétére utalhat. A negyedik csúcsot a 811 cm^{-1} illetve a 813 cm^{-1} hullámhosszon mértük, ami a C-C vázrezgésének, valamint C-H kötés rezgésének tartományába esik, amely ez a csúcs tehát dimetil gyökök jelenlétét jelzi. Az ötödik csúcsot $620-700\text{ cm}^{-1}$ tartományon mértük, amely a síkon kívüli -OH rezgések, illetve a Si-O rezgés tartománya, ez tehát fenol és kvarc jelenlétét mutatja.

A két frakció görbéi hasonlóan alakultak (12. ábra), azonban több helyen is eltérés mutatkozott az Opus által azonosított csúcsokban (9. táblázat). A 10-45 cm-es szint diszpergáló szerves frakciójában az 1454 cm^{-1} és a 811 cm^{-1} hullámhosszon csúcsot a program, míg a vizes frakcióban nem. Hasonlóan a 65-100 cm-es szintben szintén csak a diszpergáló szerves frakcióban kaptunk csúcsot a 1457 cm^{-1} és a 813 cm^{-1} frekvencián. Illetve a 45-65 cm-es szint vizes frakciójában a második csúcsot az 1662 cm^{-1} hullámhosszon azonosította az Opus, míg a diszpergáló szerves frakcióban nem azonosított csúcsot ezen a frekvencián.

A két frakció görbéi esetében jelentős különbséget láthatunk az abszorbancia értékek között, ami a mérettartományi különbségeknek tudható be.

12. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, csernozjom réti talaj Csabdi

(Forrás: saját munka)



9. táblázat: Az Opus által azonosított csúcs értékek, csernozjom réti talaj Csabdi

(Forrás: saját munka)

Minta neve	csúcs 1	csúcs 2	csúcs 3	csúcs 4	csúcs 5
Csabdi diszpergáló_10-45	3692	1627	1454	811	698
Csabdi vizes_10-45	3623	1630	n.	n.	693
Csabdi diszpergáló_45-65	3627	n.	1449	n.	695
Csabdi vizes_45-65	3764	1662	1443	n.	671
Csabdi diszpergáló_65-100	3619	1651	1457	813	695
Csabdi vizes_65-100	3623	1637	n.	n.	622

A táblázat első oszlopában olvashatjuk a szelvény nevét, és azt, hogy milyen mélységből származik az adott minta. Az ezt követő oszlopokban a kapott csúcsokhoz tartozó frekvenciák találhatóak.

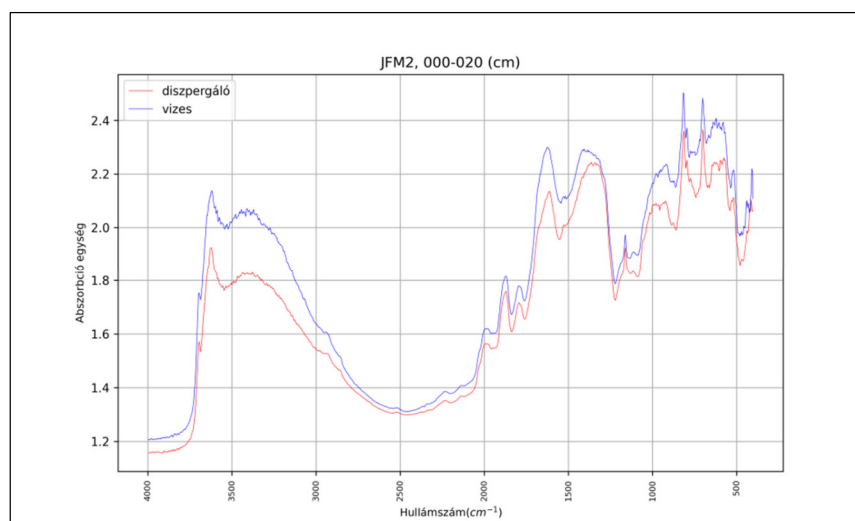
A józsefmajori szelvényben szintenként és frakciónként 4-6 csúcsot azonosítottunk. Az első csúcsot 3619-3666 cm^{-1} között mértük (13. ábra), ez frekvencia tartomány az O-H kötésnyúlásának rezgési tartománya, amely szabad -OH inokra, valamint cellulóz jelenlétére utal. A második csúcsot jellemzően az 1624-1661 cm^{-1} tartományban azonosította az Opus, ugyanakkor a 0-20 cm-es diszpergáló szerrel kezelt frakcióban bár nem jelölt csúcsot a

program, de az 1610 cm^{-1} -es hullámhosszon kiugró értéket találtunk. Ezek a hullámhosszok az Aromás C=C nyúlás illetve aszimmetrikus C-O nyúlási folyamat rezgéseinek, valamint az O-H deformációs rezgés tartományába esnek. Ez tehát lignin vagy más aromás anyagok, aromás vagy alifás karboxilok illetve cellulóz jelenlétét jelzi. A harmadik csúcsot $1320\text{-}1396\text{ cm}^{-1}$ között azonosítottuk, amit fenolos -OH csoportok és a C-O kötés nyúlási folyamatai okozhattak, ami fenol jelenlétét mutatja. A negyedik csúcsot a $812\text{-}814\text{ cm}^{-1}$ hullámhosszokon kaptuk, ami a C-C vázrezgés és a C-H kötés rezgése, ez pedig dimetil gyökökre utal. Az ötödik csúcsot a $697\text{-}699\text{ cm}^{-1}$ tartományon azonosította a program, illetve a $0\text{-}20\text{ cm}$ -es vizes frakcióban találtunk még kiugró értéket a 700 cm^{-1} -es hullámhosszon. Ez a hullámhossztartomány a síkon kívüli -OH ionok rezgési tartománya, amely fenol jelentére utal. Hatodik csúcsot csak az $50\text{-}70\text{ cm}$ -es vizes frakcióban azonosítottunk a 426 cm^{-1} hullámhosszon, amely S-O kötések rezgésének tudható be, szulfátok, foszfátok jelenlétét jelzi. Ugyancsak az $50\text{-}70\text{ cm}$ mélységben, a vizes frakcióban találtunk kiugró értéket az 1878 cm^{-1} -es hullámhosszon is, melyet a program nem azonosított, ez a frekvencia a C=C kötésnyúlás frekvenciája.

A két frakció görbéi szabad szemmel nézve hasonlóan alakultak (13. ábra), azonban több helyen is eltérést találtunk a program által azonosított csúcsokban (10. táblázat). A $0\text{-}20\text{ cm}$ -es szint diszpergálószeres frakciójában a harmadik csúcsot az 1339 cm^{-1} hullámhosszon azonosította a program, míg a vizes frakcióban nem azonosította ezt a csúcsot. A $20\text{-}50\text{ cm}$ -es szint vizes frakciójában a második csúcsot az 1635 cm^{-1} hullámhosszon kaptuk, míg a diszpergálószeres frakcióban nem kaptunk csúcsot ezen a frekvencián. Ugyanezen szint diszpergálószeres frakciójában csúcsot kaptunk a 812 cm^{-1} hullámhosszon, míg a vizes frakcióban itt nem azonosítottunk csúcsot. Az $50\text{-}70\text{ cm}$ -es szint diszpergálószeres frakciójában az Opus csúcsot azonosított a 699 cm^{-1} hullámhosszon, míg a vizes frakcióban nem. Ugyanakkor a vizes frakcióban csúcsot azonosítottunk az 1661 cm^{-1} és a 426 cm^{-1} hullámhosszon, míg a diszpergálószeresben frakcióban nem.

13. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, kilúgzott csernozjom talaj Józsefmajor

(Forrás: saját munka)



10. táblázat: Az Opus által azonosított csúcs értékek, kilúgzott csernozjom talaj Józsefmajor

(Forrás: saját munka)

Minta neve	csúcs 1	csúcs 2	csúcs 3	csúcs 4	csúcs 5	csúcs 6
JMF_diszp_0-20	3625	1610*	1339	813*	698	
JMF_vizes_0-20	3619	1624	n.	812	700*	
JFM_diszp_20-50	3619	n.	1335	812	699	
JFM_vizes_20-50	3627	1635	1396	n.	699	
JFM_diszp_50-70	3621	n.	1320	813	699	
JFM_vizes_50-70	3666	1661	1372	814	n.	426

*ezeket a csúcsokat a program nem jelezte, de a görbén jól kivehetőek voltak

A táblázat első oszlopában olvashatjuk a szelvény nevét, és azt, hogy milyen mélységből származik az adott minta. Az ezt követő oszlopokban a kapott csúcsokhoz tartozó frekvenciák találhatóak.

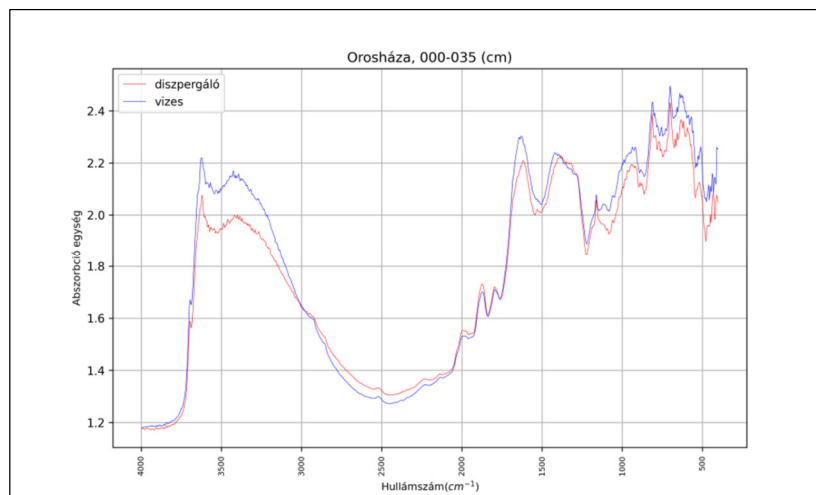
Az orosházi szelvényben 6 genetikai szint stabil és nem stabil frakcióját vizsgáltuk. A mérési eredmények vizsgálatakor szintenként és frakciónként 3-5 csúcsot azonosítottunk. Az első csúcsot a 3618-3628 cm^{-1} hullámhosszokon kaptuk. Ez a frekvencia az O-H kötésnyúlás tartományába esik, így tehát szabad -OH csoportok valamint cellulóz jelenlétét

feltételezhetjük. A második csúcsot 1621-1635 cm^{-1} között azonosítottuk, amely az O-H deformációs rezgés illetve az aromás C=C nyúlás illetve az aszimmetrikus C-O nyúlási folyamat rezgési tartományába tartozik. Ez tehát cellulóz; lignin, más aromás anyagok, aromás vagy alifás karboxilok jelenlétére enged következtetni. A harmadik csúcsnál eltérő eredményeket kaptunk. A 0-35 cm és 35-65 cm-es szintek stabil frakcióiban 1369 illetve 1395 cm^{-1} hullámhosszon kaptuk a harmadik csúcsot (14. ábra), ami a fenolos -OH csoportok és a C-O kötés nyúlási folyamatainak rezgési tartományába esik, aminek következtében fenol jelenlétét valószínűsíthetjük. Ugyanezen szintek vizes frakcióiban a program nem jelölt ki csúcsot. A 80-100 cm-es szint vizes frakciójában 1507 cm^{-1} hullámhosszon kaptunk kiugró értéket (15. ábra), mely az NH_3^+ deformációs rezgések, C-H és gyűrűs C=C rezgések frekvencia sávjába esik. A többi szint stabil és nem stabil frakcióiban 1447-1456 cm^{-1} között azonosítottunk csúcsot, ez pedig a C-H deformációs rezgés, C-O és C=C kötés nyúlás rezgési tartományába esik, mely alapján éterek jelenlétére következtethetünk. Negyedik csúcsot a program csak 35-60 cm stabil, és a 120-150 cm vizes frakciójában azonosított a 811 cm^{-1} illetve a 806 cm^{-1} hullámhosszon. Ezek a hullámhosszak a C-C vázrezgés illetve C-H kötés rezgéseinek tartományába tartozik, ennek alapján dimetilek valamint 4-szubszt. piridinek jelenlétét feltételezhetjük. Az ötödik csúcsot 613-699 cm^{-1} tartományban azonosította a program, mely síkon kívüli -OH csoportok rezgési tartománya, ez tehát fenol jelenlétét mutatja. Az orosházi szelvényt vizsgálva elmondható, hogy a felső szintek (0-35 cm és 35-60 cm) görbéi némileg eltértek a többi szint görbétől (az 1220-1530 cm^{-1} tartományban). Ezt a különbséget valószínűleg az eltérő szintek eltérő szervesanyagai okozták.

A szelvény egyes szintjeiben több helyen is különbséget találtunk a két frakcióban azonosított csúcsok között (11. táblázat). Míg a 0-35 cm-es szint diszpergálószeres frakciójában az Opus csúcsot azonosított az 1369 cm^{-1} hullámhosszon, addig a vizes frakcióban nem. Ugyanezen szint vizes frakciójában azonban csúcsot kaptunk az 1635 cm^{-1} hullámhosszon, ahol a diszpergáló szeresben a program nem azonosított csúcsot. A 35-60 cm-es szint diszpergálószeres frakciójában csúcsot kaptunk az 1395 cm^{-1} és a 811 cm^{-1} hullámhosszon, azonban a vizes frakcióban nem. A 100-120 cm-es szint vizes frakciójában csúcsot azonosítottunk az 1624 cm^{-1} hullámhosszon, míg a diszpergálószeresben nem. A 120-150 cm-es szintben a 697 cm^{-1} hullámhosszon a diszpergálószeres frakcióban csúcsot azonosított a program, míg a vizesben nem. Ugyanebben a szintben a 806 cm^{-1} hullámhosszon a vizes frakcióban csúcsot azonosított az Opus, míg a diszpergálószeresben nem.

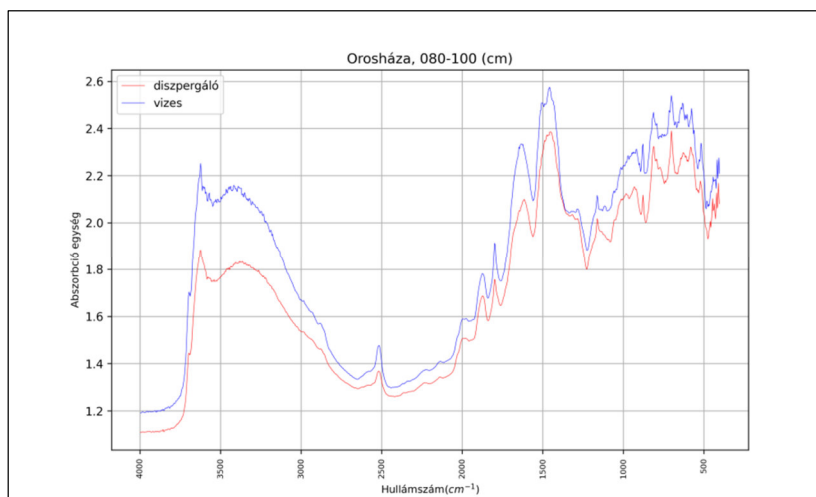
14. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, mészlepedékes csernozjom talaj Orosháza

(Forrás: saját munka)



15. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, mészlepedékes csernozjom talaj Orosháza

(Forrás: saját munka)



11. táblázat: Opus által azonosított csúcs értékek, mészlepedékes csernozjom talaj Orosháza
(Forrás: saját munka)

Minta neve	csúcs 1	csúcs 2 /1600/	csúcs 3	csúcs 4 /800/	csúcs 5
Orosháza_0-35_diszp	3619	n.	1369	n.	699
Orosháza_0-35_vizes	3621	1635	n	n.	621
Orosháza_35-60_diszp	3622	1621	1395	811	695
Orosháza_35-60_vizes	3619	1635	n.	n.	698
Orosháza_60-80_diszp	3618	n.	1454	n.	696
Orosháza_60-80_vizes	3628	n.	1449	n.	697
Orosháza_80-100_diszp	3624	n.	1454	n.	698
Orosháza_80-100_vizes	3628	n.	1507	n.	699
Orosháza_100-120_diszp	3626	n.	1454	n.	697
Orosháza_100-120_vizes	3619	1624	1447	n.	613
Orosháza_120-150_diszp	3625	n.	1456	n.	697
Orosháza_120-150_vizes	3624	n.	1456	806	n.

A táblázat első oszlopában olvashatjuk a szelvény nevét, és azt, hogy milyen mélységből származik az adott minta. Az ezt követő oszlopokban a kapott csúcsokhoz tartozó frekvenciák találhatóak.

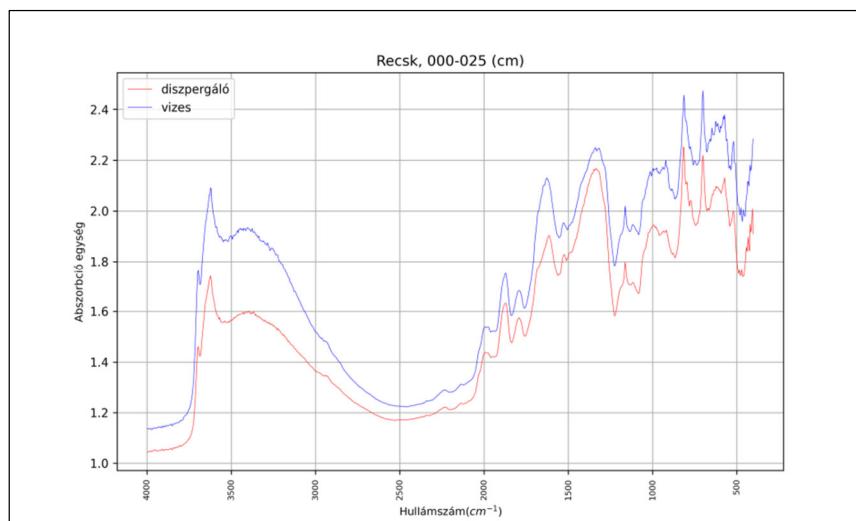
Recsk esetében szintenként és frakciónként 4-6 csúcsot azonosítottunk. Az első csúcs 3620-3649 cm^{-1} közé esett (16. ábra), amely az O-H kötésnyúlás tartománya, így szabad -OH valamint cellulóz jelenlétére következtethetünk. A második csúcsot 1632-1638 cm^{-1} hullámhosszon kaptuk amely az aromás C=C nyúlás illetve az aszimmetrikus C-O nyúlási folyamat, valamint az O-H deformációs rezgés tartományába esik. Ez tehát lignin vagy más aromás anyagok illetve aromás vagy alifás karboxilok valamint cellulóz jelenlétére enged következtetni. A harmadik csúcsot az 1314-1345 cm^{-1} tartományban azonosítottuk, ami a fenolos -OH és a C-O kötés nyúlási folyamatainak rezgési tartománya, mely fenol jelenlétére utal. A negyedik csúcsot 810-813 cm^{-1} között kaptuk, amely C-C vázrezgés és a C-H kötés rezgése, ez pedig dimetilekre utal. Az ötödik csúcsot 695-702 cm^{-1} között mértük, amely a síkon kívüli -OH rezgések tartományába esik, ez tehát szintén fenol jelenlétét mutatja. Hatodik csúcsot egyedül a 70 cm alatti szint vizes frakciójában azonosított a program a 425

cm^{-1} hullámhosszon, amely az S-O rezgések tartományába tartozik, tehát szulfátok, foszfátok jelenlétét jelzi.

A recski szelvény szintjeinek frakcióit vizsgálva több helyen is eltérést találtunk a program által azonosított csúcsokban a két frakció között (12. táblázat). Az Opus csúcsot azonosított a 25-50 cm-es szintben a 812 cm^{-1} hullámhosszon a diszpergálószeres frakcióban, míg a vizesben nem. Ugyanakkor az 1632 cm^{-1} hullámhosszon a vizesben azonosított csúcsot, a diszpergálószeresben pedig nem. Az 50-70 cm-es szint vizes frakciójában csúcsot kaptunk az 1638 cm^{-1} hullámhosszon, a diszpergálószeresben nem. A 70 cm alatti szint vizes frakciójában csúcsot kaptunk az 1633 cm^{-1} és a 425 cm^{-1} hullámhosszon, a diszpergálószeresben nem.

16. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, pseudoglejes barna erdőtalaj Reस्क

(Forrás: saját munka)



12. táblázat: Opus által azonosított csúcs értékek, pszeudoglejes barna erdőtalaj Recsk*(Forrás: saját munka)*

Minta neve	csúcs 1	csúcs 2 /1600/	csúcs 3	csúcs 4	csúcs 5	csúcs 6 /400/
Recsk_0-25_diszp	3622	n.	1345	812	700	n.
Recsk_0-25_vizes	3620	n.	1318	810	699	n.
Recsk_25_50_diszp	3623	n.	1318	812	697	n.
Recsk_25-50_vizes	3622	1632	1318	n.	700	n.
Recsk_50-70_diszp	3620	n.	1317	812	695	n.
Recsk_50-70_vizes	3621	1638	1314	811	702	n.
Recsk_70_diszp	3648	n.	1339	810	697	n.
Recsk_70_vizes	3649	1633	1325	813	698	425

A táblázat első oszlopában olvashatjuk a szelvény nevét, és azt, hogy milyen mélységből származik az adott minta. Az ezt követő oszlopokban a kapott csúcsokhoz tartozó frekvenciák találhatóak.

Tótkomlós esetében összesen 6 frekvencia tartományban azonosítottunk csúcsot. Az első csúcs itt is a 3616-3661 cm^{-1} tartományban volt, mely az O-H kötésnyúlás tartománya, ami szabad -OH csoportok valamint cellulóz jelenlétét mutatja. A második csúcsot a 2520 cm^{-1} hullámhosszon jelölte ki a program, de csak 120-150 cm -es szint vizes frakciójában. Ez a hullámhossz az S-H kötésnyúlás rezgési tartománya. Ez a frekvencia szabad hidrogének továbbá kalcium karbonát jelenlétét jelzi, amely karbonátos alapkőzetre utal. A harmadik csúcsot az 1620 és 1622 cm^{-1} hullámhosszokon kaptuk, amely az O-H deformációs rezgés, az aromás C=C nyúlás illetve aszimmetrikus C-O nyúlási folyamat tartománya. Ez tehát cellulóz, lignin, aromás anyagok illetve aromás vagy alifás karboxilok jelenlétére enged következtetni. A negyedik csúcsot a 0-10 és a 10-30 cm-es szintek (17. ábra) stabil frakciójában az 1396 valamint az 1397 cm^{-1} hullámhosszon azonosította az Opus, amely a fenolos -OH csoportok, a C-O kötés nyúlási folyamatainak rezgési tartományába tartozik, így fenol jelenlétére következtethetünk. Ugyanezen szintek vizes frakcióiban az Opus nem jelölt ki csúcsot, a szelvény mélyebb szintjeiből származó minták esetében pedig az 1454-1466 cm^{-1} hullámhosszokon azonosított kiugró értékeket (18. ábra). Ez a hullámhossz tartomány a C-H deformációs rezgés, C-O és C=C kötés nyúlás, C=Se kötésnyúlás, C-C és C-O kötések rezgéseinek tartományába esik, így tehát ez a frekvencia a csúcs éterek, kalcium-karbonát

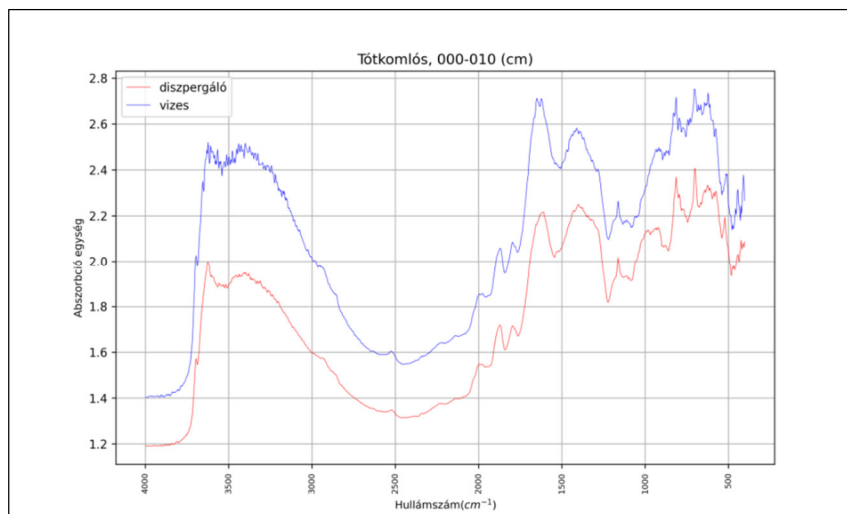
jelenlétére enged következtetni. Az ötödik csúcsot csak a 0-10 és a 10-30 cm-es szintek vizes frakcióiban azonosította az Opus a 813 cm^{-1} hullámhosszon. Ez pedig a C-C vázrezgések és a C-H kötés rezgéseinek tartománya, amely dimetil csoportokra utal. A hatodik csúcsot eltérő helyeken azonosította az Opus. A 10-30 cm-es és az 55-100 cm-es szint stabil frakciója esetében az 574 cm^{-1} illetve 572 cm^{-1} hullámhosszon mutatott csúcs értéket, mely frekvencia csúcs cisz-alkénekre és foszfátokra utal. A 100-120 cm-es szint vizes frakciójában 589 cm^{-1} hullámhosszon azonosítottunk csúcsot, ez a C-CO-C síkbeli deformációs rezgés tartományába esik, így tehát karbonil csoportok jelenlétéről kapunk tájékoztatást. A szelvény többi szintje esetében a $609\text{-}698\text{ cm}^{-1}$ hullámhossz tartományban kaptunk csúcsértéket, amely a síkon kívüli -OH csoportok rezgési tartománya, ami fenol jelenlétére utal. A tótkomlósi szelvényben a szintmélységgel lefelé haladva különbséget tapasztaltunk, némileg a felső szintek (0-10 cm és 10-30) is eltérnek egymástól, valamint a mélyebb szintektől, ez valószínűleg kapcsolatban áll a makroaggregátum-stabilitás eltérő értékeivel. Továbbá a talajképző közetkez közelében egyre inkább érvényre jut a karbonát hatása.

A szelvényben a vizes és a diszpergálószeres frakciót vizsgálva több helyen is különbséget tapasztaltunk a program által azonosított csúcsokban (13. táblázat). A 0-10 cm-es szint diszpergálószeres frakciójában csúcsot azonosítottunk az 1396 cm^{-1} és a 698 cm^{-1} hullámhosszon, míg a vizes frakcióban nem. Ugyanebben a szintben a vizes frakcióban csúcsot kaptunk az 1622 cm^{-1} és a 813 cm^{-1} hullámhosszon a diszpergálószeres frakcióban pedig nem kaptunk csúcsot ezeken a frekvenciákon. A 10-30 cm-es szint diszpergálószeres frakciójában csúcsot azonosítottunk az 1397 cm^{-1} és a 574 cm^{-1} hullámhosszon, míg a vizes frakcióban nem. Ugyanebben a szintben a vizes frakcióban csúcsot az Opus csúcsot azonosított az 1622 cm^{-1} és a 813 cm^{-1} hullámhosszon a diszpergálószeres frakcióban pedig nem kaptunk csúcsot ezeken a hullámhosszokon. A 120-150 cm-es szintben a program segítségével csúcsot kaptunk a 2520 cm^{-1} és az 1620 cm^{-1} hullámhosszon a vizes frakcióban, míg a diszpergálószeres frakcióban nem.

17. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, réti csernozjom talaj

Tótkomlós

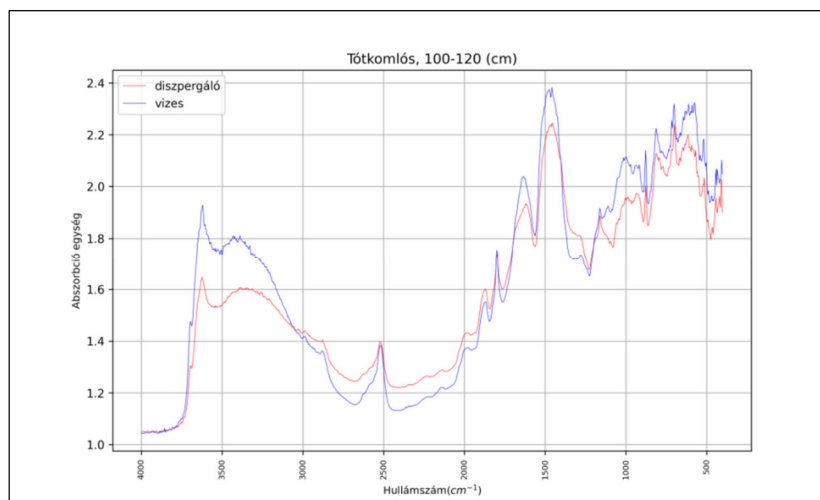
(Forrás: saját munka)



18. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, réti csernozjom talaj

Tótkomlós

(Forrás: saját munka)



13. táblázat: Opus által azonosított csúcs értékek, réti csernozjom talaj Tótkomlós*(Forrás: saját munka)*

Minta neve	csúcs 1 /3600/	csúcs 2 /1800 /	csúcs 3 /1600/	csúcs 4 /1300/	csúcs 5 /800/	csúcs 6 /500/
Tótkomlós_0-10_diszp	3631	n.	n.	1396	n.	698
Tótkomlós_0-10_vizes	3661	n.	1622	n.	813	n.
Tótkomlós_10-30_diszp	3627	n.	n.	1397	n.	574
Tótkomlós_10-30_vizes	3616	n.	1622	n.	813	n.
Tótkomlós_30-55_diszp	3618	n.	n.	1466	n.	697
Tótkomlós_30-55_vizes	3620	n.	n.	1456	n.	672
Tótkomlós_55-100_diszp	3619	n.	n.	1458	n.	572
Tótkomlós_55-100_vizes	3625	n.	n.	1454	n.	697
Tótkomlós_100-120_diszp	3624	n.	n.	1454	n.	609
Tótkomlós_100-120_vizes	3619	n.	n.	1456	n.	589
Tótkomlós_120-150_diszp	3624	n.	n.	1460	n.	697
Tótkomlós_120-150_vizes	3625	2520	1620	1456	n.	698

A táblázat első oszlopában olvashatjuk a szelvény nevét, és azt, hogy milyen mélységből származik az adott minta. Az ezt követő oszlopokban a kapott csúcsokhoz tartozó frekvenciák találhatóak.

5. Következtetések és javaslatok

A kutatásunk során a vizsgált talajokból származó mintákat nedves szitálással szétválasztottuk vízben stabil és nem stabil frakcióra. Ezt követően FT-IR készüléssel külön vizsgáltuk a két frakciót. A vizsgálat során több helyen is eltérést tapasztaltunk a vizes és a diszpergáló szeres frakció eredményei között. A görbéken látható intenzitás különbség abból adódik, hogy a nedves szitálás során szétválasztott frakciók (vizes és diszpergáló szerrel kezelt) különböző mérettartományba tartoznak (az egyszítás módszer esetén ez a mérethatár $250\mu\text{m}$).

A vizsgálat megkezdésekor azt feltételeztük, hogy a nedves szitálás során a szervesanyag átcsoportosul, így a stabil és nem stabil frakciók szervesanyag-összetétele eltérő lesz, ez több esetben be is igazolódott.

A Hargitai módszerrel a kontroll mintákat vizsgáltuk, amely segítségével az egyes szelvényekben eltérő minőségű humuszanyagokat azonosítottunk.

6. Összefoglalás

Talajaink különféle méretű és összetételű aggregátumokból épülnek fel, melyek jellemezhetőek méretükkel, alakjukkal és stabilitásukkal egyaránt. Mivel a talajok szerkezetét az aggregátumok építik fel, ezért a talajszerkezet kialakulása és megmaradása erősen függ azok stabilitásától. Ennek köszönhetően az aggregátum-stabilitás az egyik legfontosabb talajfizikai paraméter, mely a talaj degradációval (pl. erózió, defláció) szembeni ellenállásának mértékét mutatja meg. Az aggregátumok képződése igen összetett folyamat, mely több tényezőtől (fizikai, kémiai, biológiai aggregációs és fragmentációs folyamatok) függ, valamint antropogén tényezők (pl. agrotechnika) is befolyásolják. Ezért fontos, hogy stabilitásukat ne csupán egy tényező, hanem komplex folyamatok mentén értékeljük.

Kutatásunkban 5, változatos tulajdonságok alapján kiválasztott talajszelvényt vizsgáltunk. A szelvényekből genetikai talajszintenként vett minták makroaggregátum-stabilitását valamint szervesanyag összetételét vizsgáltuk. A makroaggregátum stabilitás vizsgálatához Eijkelkamp nedves szita készüléket, a szervesanyag minőség vizsgálatához Bruker Alpha II. Fourier Transzformációs Infravörös Spektrométert használtunk. Emellett Hargitai-féle humuszminőség meghatározást is végeztünk.

A kutatás során a nedves szitálással elválasztott frakciókat külön vizsgáltuk, azt feltételezve, hogy a különböző frakciókban eltérő minőségű szervesanyagokat azonosítunk, ez azonban nem minden esetben volt így. Ezért a későbbiekben hasonló vizsgálatok elvégzésekor célszerű a nedves szitás elválasztást követően erősebb lúggal feltárni a mintát és ezt követően alávetni szervesanyag minőség vizsgálatnak.

7. Irodalomjegyzék

- Amezketá, E. (1999): Soil aggregate stability: a review Journal of Sustainable Agriculture, 14(2-3): 83-151. DOI: [10.1300/J064v14n02_08](https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08)
- Baldock, J. A. és Kay B. (1987): Influence of cropping history and chemical treatments on the water-stable aggregation of silt loam soil, Department of Land Resource Science, 67(3): 501-511. DOI: [10.4141/cjss87-047](https://doi.org/10.4141/cjss87-047)
- Barna Gy., Bakacsi, Zs., Labanacz, V., Hernádi, H., Makó, A. (2017): Methodological experiences of aggregate stability measurements In: CELKOVA A. (szerk.) Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System. Bratislava, Szlovákia: Institute of Hydrology SAS, 29-35p.
- Bartlová, J., Badalíková, B., Pospíšilová, L., Pokorný, E. & Šarapatka, B., (2015): Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. SoilWat. Res. 10 (3). 147–154. DOI: [10.17221/132/2014-SWR](https://doi.org/10.17221/132/2014-SWR)
- Blackman, J.D., (1992): Seasonal variation in the aggregate stability of downland soils. Soil Use Manage. 8 (4). 142–150. DOI: [10.1111/j.1475-2743.1992.tb00912.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1992.tb00912.x)
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. C. és Soriano-Soto, M.D. (2001): Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators, Catena, 44(1): 47-67. DOI: [10.1016/S0341-8162\(00\)00176-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4)
- Boros B., Bufa A., Csóka B., Dörnyei Á., Farkas N., Felinger A., Kiss I., Kilar A., Kilar F., Lambert N., Makszin L., Páger Cs., Petz A. (2010): Műszeres analitika gyakorlatok. Pécsi Tudományegyetem (TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0030). Letöltés dátuma: 2022.09.13. Forrás: <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kemia7/www/book.html>
- Bryan, R. B., Govers, G. és Poesen, J. (1989): The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application, Catena 16(4-5): 393-412. DOI: [10.1016/0341-8162\(89\)90023-4](https://doi.org/10.1016/0341-8162(89)90023-4)
- Buzás I. (szerk.), Bálint Sz., Fülek Gy., Györi D., Hargitai L., Kardos J., Lukács A., Molnár E., Murányi A., Osztóics A., Pártay G., Rédly L., Szébeni Sz. (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertan 2, A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 243p.
- Buzás I. (szerk.), Daróczi S., Dódy I., Kalmán A., Kocsis I., Pártay G., Rajkai K., Rózsavölgyi J., Stefanovits P., Szili Kovács T., Szűcs L., Várallyay Gy. (1993): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertan 1, A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata, Budapest: INDA 4231 Kiadó, 357 p.
- Chenu, C., Le Bissonais, Y. és Arrouays, D. (2000): Organic Matter Influence on Clay Wettability and Soil Aggregate Stability, Soil Science of America Journal, 64(4): 1479-1486p. DOI: [10.2136/sssaj2000.6441479x](https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6441479x)
- Coleman, C. D., Callahan Jr., M. A. és Crossley Jr., D. A., (2018): Secondary Production: Activities of Heterotrophic Organisms - Microbes. In: Fundamentals of Soil Ecology (3rd ed.). Academic Press. 47–76.
- Demeter I. (2020): *Az ökológiai és konvencionális gazdálkodás hatása a nyírségi homoktalajok szervesanyagának mennyiségi- és minőségi, valamint a talaj mikrobiális tulajdonságaira.* [Ph.D értekezés] Gödöllő: Szent István Egyetem Biológiai Tudományi Doktori Iskola. Forrás: https://archive.unicam.hu/sites/default/files/demeter_ibolya_tezis.pdf

Dövényi Z. (szerk.) Becse A., Mezősi G., Ádám L., Juhász Á., Marosi S., Somogyi S., Szilárd J., Ambrózy P., Konkolyné Bihari Z., Király G., Molnár Zs., Bölöni J., Csiky J., Vojtkó A., Rajkai K., Tóth G., Tiner T., Michalkó G., Keresztesi Z. (2010): Magyarország kistájainak katasztere, Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet

Dunai A. (2017): *A szerves- és ásványi trágyázás, valamint a különböző talajművelési módok hatásainak vizsgálata egyes talajfizikai paraméterekre tartamkísérletben* [Ph.D értekezés] PKeszthely: Pannon Egyetem Fesztetics Doktori Iskola. Forrás: http://real-phd.mtak.hu/616/1/Dunai_Attila_dissertation.pdf

Dunai A. és Tóth Z. (2015): Szerves- és műtrágyázás tartamhatása a talajaggregátumok stabilitására agyagbemosódásos barna erdőtalajon, *Közlöny*, 64(1): 29-52. DOI: [10.1556/0088.2015.64.1.4](https://doi.org/10.1556/0088.2015.64.1.4)

Dvoracsek, M., (1952): Adatok a talajszerkezet vízállóságának fiziko-kémiai alapjaihoz. In: *Agrokémiai Kutató Intézet 1950-es évkönyve*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó 141–158p.

Filep Gy.(1988): *Talajkémia*. Budapest: Akadémiai Kiadó

Fülek Gy., Bidló A., Bíró B., Csákiné Tombác E., Kristófné Horváth E., Michéli E., Pápay L., Tóthné Farsang A. (2011): *Talajvédelem, talajtan*. Veszprém: Pannon Egyetem - Környezetmérnöki intézet. Letöltés dátuma: 2021.08.10. Forrás: <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/03-Talajtan-talajvedelem.pdf>

Haynes, R. J. és Naidu, R. (1998): Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51: 123-137p.

Hernádi H., Barna Gy., Makó A. (2017): *Agrárágazat: Talajszerkezet és aggregátumstabilitás*. Letöltés dátuma: 2021.07.15. forrás: <https://agraragazat.hu/hir/talajszerkezet-es-aggregatum-stabilitas/>

Higdon, T. (2010): FT-IR spectroscopy technology, market evolution and future strategies of Bruker Optics Inc., Massachusetts Institute of Technology, 13-14 pp.

Huisz A. (2007): A talaj aggregátum-stabilitása az egységes aggregátum-stabilitási mutató tükrében, *Agrártudományi Közlemények*, 26: 83-99. Letöltés dátuma: 2021.08.10. Forrás: https://www.researchgate.net/publication/335654710_The_aggregate_stability_of_the_soil_in_respect_to_the_uniform_aggregate_stability_indicator/fulltext/5d7259644585151ee4a0ea72/The-aggregate-stability-of-the-soil-in-respect-to-the-uniform-aggregate-stability-indicator.pdf

Huisz A. (2009): Talajaggregátumok stabilitásának vizsgálata: a homok-korrekció és jelentősége, *Agrártudományi Közlemények*, 35: 29-47. DOI: [10.34101/actaagrar/35/2807](https://doi.org/10.34101/actaagrar/35/2807)

Huisz A. (2012): *A talajszerkezet és szervesanyag-megoszlás változásainak jellemzése új módszerekkel művelési tartamkísérletben*. [Ph.D értekezés] Debrecen: Kerpely Kálmán Doktori Iskola. Forrás: <https://docplayer.hu/6239494-A-talajszerkezet-es-a-szervesanyag-megoszlas-valtozasainak.html>

Kay, B.D., (1997): Soils tructure and organic carbon: a review. In: *Soil Processes and the Carbon Cycle* (Eds.: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F. & Stewart B.A.). CRC Press, BocaRaton, FL. 169–197p.

Kay, B. D. (1998): Soil structure and organic carbon: a review, In: *Soil Processes and the Carbon Cycle*, Eds.: (Lal, R, Kimble, J., Follett, R. F. és Stewart, B. A.), CRC Press. Boca Raton, 169-197p.

- Kemper, W.D. és Rosenau, R.C. (1986): Aggregate Stability and Size Distribution. In: Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods (ed.: KLUTE, A.) 2nd ed. Agronomy Monograph 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 425–442. DOI: [10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17](https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17)
- Kertész-Kollár M. (2021): *Talajok szervesanyagának mennyiségi és minőségi, továbbá makroaggregátum-stabilitás vizsgálata eltérő talajtípus esetén*. [BSc szakdolgozat] Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék
- Kovács K. É. (2010): *Dél-kelet alföldi termálvizekből kinyert humuszanyagok jellemzése*. [Ph.D értekezés] Szeged: Környezettudományi Doktori Iskola. Forrás: https://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/737/2/T%C3%A9zisek_Kov%C3%A1csK.pdf
- Labancz V., Barna Gy., Szegi T., Makó A. (2021): A talajok aggregátum-stabilitásának vizsgálati lehetőségei, I. Makroaggregátum-stabilitás, 70(1): 87-109. DOI: [10.1556/0088.2021.00092](https://doi.org/10.1556/0088.2021.00092)
- Lal, R. és Shukla, M.K. (2004): Principles of Soil Physics. Marcel Dekker, New York, 699p.
- Le Bissonnais, Y. (1996): Aggregate Stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and Methodology, European Journal of Soil Science, 47(4): 425-437. DOI: [10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x)
- Marshall, T. J. és Holmes, J. W. (1979): Soil Physics, Cambridge University, Cambridge, 345p
- Michéli E. (2011): *Talajvédelem*. Gödöllő: Szent István Egyetem, 95p Letöltés dátuma: 2021.09.15. Forrás: <https://docplayer.hu/4980818-Talajvedelem-micheli-erika-erika.html>
- Németh Tamás (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. Budapest: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete 382p
- Nimmo, J. R. (2004): Porosity and Pore Size Distribution, in Hillel, D., ed. Encyclopedia of Soils in the Environment: London, Elsevier, v. 3, p. 295-303.
- Nyilas T. (2009): *Talajok szerves anyagának jellemzése rock-eval pirolízis vizsgálatok eredményei alapján*. [Ph.D értekezés] Szeged: Környezettudományi Doktori Iskola. https://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/1417/1/Nyilas_Tunde_disszertacio.pdf
- Oades, J. M. és Waters, A. G. (1991): Aggregate hierarchy in soils, Australian Journal of Soil Research, 29(6): 815-828. DOI: [10.1071/SR9910815](https://doi.org/10.1071/SR9910815)
- Ragályi P. (2011): Komposztált vágóhídi melléktermékek és húsliszt hatása talajra, szántóföldi növények terméshozamára és elemösszetételére, Doktori értekezés, Budapest, 148p.
- Schutter, M. E. és Dick, R. P. (2002): Microbial community profiles and activities among aggregates of winter fallow and cover-cropped soil, Soil Science Soc. America Journal, 66(1): 142-153. DOI: [10.2136/sssaj2002.1420](https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1420)
- Six, J., Carpentier, A., van Kessel, C., Merckx, R., Harris, D., Horwath, W.R., Lüscher, A. (2001): Impact of elevated CO₂ on soil organic matter dynamics as related to changes in aggregate turnover and residue quality, Plant and Soil 234: 27-36.

Six, J., Elliott, E.T. és Paustian, K. (2000): Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy, Soil Science Soc. America Journal 64(3): 1042–1049. DOI: [10.2136/sssaj2000.6431042x](https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6431042x)

Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (1999): Talajtan. Budapest: Mezőgazda Kiadó 470 p.

Stevenson, F.J. (1994): Humus Chemistry, John Wiley & Sons, 496 p.

Sullivan, L.A. (1990): Soil organic matter, air encapsulation and water-stable aggregation. J. Soil Sci. 41(3): 529–534. DOI: [10.1111/j.1365-2389.1990.tb00084.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00084.x)

Szabó I. M. (1996): A bioszféra mikrobiológiája II.. Budapest: Akadémiai Kiadó

Szakács H., Varga Cs., Nagy R. (2012): Polimerek mérés technikája, Pannon Egyetem, 129p. Letöltés dátuma: 2022.09.15. Forrás: <https://docplayer.hu/2715134-Polimerek-merestechnikaja-szakacs-hajnalka-pannon-egyetem-varga-csilla-pannon-egyetem-nagy-roland-pannon-egyetem.html>

Tan, K.H (2003): Humic Matter in Soil and the Environment, Marcel Dekker, Inc., New York, 371 p. DOI: [10.1201/9780203912546](https://doi.org/10.1201/9780203912546)

Tisdall, J. M. (1996): Formation of Soil Aggregates and Accumulation of Soil Organic Matter, In: Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils, (Eds.: Carter, M. R. és Stewart, B. A.), CRC Press. Boca Raton, FL, 57-96p

Tisdall, J. M. és Oades, J. M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33 (2): 141–163. DOI: [10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x)

Tombácz, E. (2003): Talajreleváns határfelületi és kolloid kölcsönhatások. MTA Doktori értekezés, Szeged

Tóth F. B. (2020): *Eltérő takarmányozású sertések hígtrágyájával kezelt talajok spektrális tulajdonságai*. [BSc Szakdolgozat] Gödöllő: Szent István Egyetem Környezettudományi Intézet. Talajtan Tanszék.

Tóth J. A., Döbröntey R., Szegi T., Michéli E., Csorba Á. (2021): Fourier-transzformációs közép-infravörös spektroszkópia alapú szervesanyag-tartalom becslés tábla szintű reprezentativitás-vizsgálata kemometriai módszerekkel, Agrokémia és Talajtan 70 (2021)1, 65-82 DOI: [10.1556/0088.2021.00076](https://doi.org/10.1556/0088.2021.00076)

Totsche, K.U., Amelung, W., Gerzabek, M.H., Guggenberger, G., Klumpp, E., Knief, C., Lehndorff, E., Mikutta, R., Peth, S., Prechtel, A., Ray, N. és Kögel-Knaber, I. (2018): Microaggregates in soils. J. Plant Nutr. Soil Sc. 181(1): 104–136.

Várallyay Gy. (2002): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai, Akadémiai Kiadó, Budapest, 164p

Wander, M.M., S.J. Traina, B.R. Stinner, and S.E. Peters. (1994): Organic and Conventional Management Effects on Biologically Active Soil Organic Matter Pools. Soil Sci. Soc. Am. J. 58(4): 1130–1139. DOI: [10.2136/sssaj1994.03615995005800040018x](https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800040018x)

Internetes források:

Spectroscopic Tools honlapja. Letöltés dátuma: 2022.10.10. forrás: <http://www.science-and-fun.de/tools/>

Ábrák:

C1: Optikai alapok az ELI-ALPS tükrében - MSc : [http://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/HU%20-%20Optikai%20alapok%20az%20ELI-ALPS%20t%C3%BCkr%C3%A9ben%20I.%20-%20Msc%20\(e-learning\)/fouriertranszformcis_ir_kszlkek.html](http://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/HU%20-%20Optikai%20alapok%20az%20ELI-ALPS%20t%C3%BCkr%C3%A9ben%20I.%20-%20Msc%20(e-learning)/fouriertranszformcis_ir_kszlkek.html)
(2023.11.06.)

Eijkelkamp: <https://www.royaleijkelkamp.com/products/lab-testing-equipment/soil-physical-research/aggregate-stability/>

Von M. Hesse, H. Meier, B. Zeeh (1995): Spektroskopische Methoden in der Organischen Chemie. 5. überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlage, Stuttgart, 364 p.

Szalai Zoltán, Jakab Gergely (2011): Bevezetés a talajtanba környezettanosoknak, Budapest: ELTE 167p

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

8.1. Táblázatok

- 1. táblázat:** Az eltérő humuszanyagok egyes jellemző tulajdonságai 9. oldal
- 2. táblázat:** A különböző frakciókba tartozó aggregátumokat kialakító tényezők 13. oldal
- 3. táblázat:** A vizsgált minták tulajdonságai, talajtípusa 16. oldal
- 4. táblázat:** Általános talajtulajdonságok 18. oldal
- 5. táblázat:** FT-IR spektrumok jellemzése során azonosított fő csúcsokhoz rendelt rezgési folyamatok és anyagok - Táblázat a szerves talajok összetételének elemzéséhez 24. oldal
- 6. táblázat:** Ásványi anyagok abszorpciós táblázata 25. oldal
- 7. táblázat:** A K érték kapcsolata a szervesanyag minőségével 28. oldal
- 8. táblázat:** A Hargitai-féle humuszminőség meghatározási módszer Q és K eredményei a vizsgált szelvényekre vonatkozóan 35. oldal
- 9. táblázat:** Az Opus által azonosított csúcs értékek, csernozjom réti talaj Csabdi 37. oldal
- 10. táblázat:** Az Opus által azonosított csúcs értékek, kilúgzott csernozjom talaj Józsefmajor 39. oldal
- 11. táblázat:** Opus által azonosított csúcs értékek, mészlepedékes csernozjom talaj Orosháza 42. oldal
- 12. táblázat:** Opus által azonosított csúcs értékek, pszeudoglejes barna erdőtalaj Recsk 44. oldal
- 13. táblázat:** Opus által azonosított csúcs értékek, réti csernozjom talaj Tótkomlós 47. oldal

8.2. Ábrák

- 1. ábra:** A talaj-szervesanyag humifikációja és mineralizációja közötti összefüggés 7. oldal
- 2. ábra:** A vizsgált talajszelvények elhelyezkedése az ország területén belül 16. oldal
- 3. ábra:** A vizsgált szelvények 17. oldal
- 4. ábra:** A talajminta előnedvesítése 19. oldal
- 5. ábra:** A mérések során használt Eijkelkamp nedves szítás készülék 21. oldal

6. ábra: FT-IR spekrométer vázlata	23. oldal
7. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a csernozjom réti talaj esetében (Csabdi)	30. oldal
8. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a kilúgzott csernozjom talaj esetében (Józsefmajor)	31. oldal
9. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a mészlepedéskes csernozjom talaj esetében (Orosháza)	32. oldal
10. ábra: A stabil makroaggregátumok aránya (MaAs%) a pszeudoglejes barna erdőtalaj genetikai szintjeiben (Recsk)	33. oldal
11. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a réti csernozjom talaj esetében (Tótkomlós)	34. oldal
12. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, csernozjom réti talaj Csabdi	37. oldal
13. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, kilúgzott csernozjom talaj Józsefmajor	39. oldal
14. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, mészlepedékes csernozjom talaj Orosháza	41. oldal
15. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, mészlepedékes csernozjom talaj Orosháza	41. oldal
16. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, pszeudoglejes barna erdőtalaj Recsk	43. oldal
17. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, réti csernozjom talaj Tótkomlós	46. oldal
18. ábra: FT-IR görbék alakulása a stabil és nem stabil frakcióban, réti csernozjom talaj Tótkomlós	46. oldal

9. Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseről és eredetiségéről

A hallgató neve: Kertész-Kollár Márta
A Hallgató Neptun kódja: 00601B
A dolgozat címe: A talaj szervesanyag minőségének hatása a makroaggregátum-stabilitásra
A megjelenés éve: 2023.
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Talajtani Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat 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 könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtárirépzitori rendszerében.

Kelt: 2023.Október 25.

Hallgató aláírása

10. Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Kertész-Kollár Márta (név) (hallgató Neptun azonosítója: OO6O1B) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2023 év október hó 24 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.