



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2021. november 24.

TDK DOLGOZAT

TALAJOK SZERVESANYAGÁNAK MENNYISÉGI ÉS MINŐSÉGI, TOVÁBBÁ MAKROAGGREGÁTUM- STABILITÁS VIZSGÁLATA ELTÉRŐ TALAJTÍPUS ESETÉN

Quantitative and qualitative analysis of soil organic matter and investigation of macroaggregate stability in case of different soil types

Készítette: Kertész-Kollár Márta, OO6O1B
Környezetmérnök BSc, 4. évfolyam
Nappali tagozat
Gödöllő

Témavezetők: **Dr. Szegi Tamás András**, egyetemi docens, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék
Labancz Viktória, egyetemi tanársegéd, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék

Talajtani Tanszék
Gödöllő
2021.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Célkitűzés.....	3
3. Irodalmi áttekintés.....	4
3.1. A talaj.....	4
3.2. A talajok szervesanyaga.....	4
3.2.1. Szervesanyagok képződése, átalakulása.....	5
3.2.2. A talajok szervesanyagának mennyisége.....	6
3.2.3. A talajok szervesanyagának minősége.....	7
3.2.4. A szervesanyag jelentősége a talajban.....	10
3.3. A talajok szerkezete.....	11
3.3.1. A különböző aggregátum frakciók méretei és a stabilitásukat kialakító tényezők.....	12
3.3.2. A makroaggregátumok stabilitását befolyásoló tényezők.....	14
3.3.3. A makroaggregátumok stabilitása és a szervesanyag kapcsolata.....	14
3.4. A hazai talajosztályozás.....	15
4. Anyagok és módszerek.....	22
4.1. A vizsgált anyag.....	22
4.2. Az alapvető tulajdonságok meghatározása céljából végzett laboratóriumi vizsgálatok.....	23
4.3. Nedves szítás mérés Ejkeltkamp nedves szítás készülékkel.....	23
4.4. Lézer diffraktometriás szemcseméret analízis.....	26
4.5. Szén-nitrogén-kén analízátor (CNS).....	28
5. Eredmények és értékelésük.....	29
5.1. Makroaggregátum-stabilitás eredmények.....	29
5.2. A lézerdiffraktometriás mérések eredményei.....	33
5.3. CN eredmények.....	35
5.4. Következtetések és javaslatok.....	37
6. Összefoglalás.....	39
7. Irodalomjegyzék.....	40
8. Köszönetnyilvánítás.....	44
9. Mellékletek:.....	45

1.Bevezetés

Az emberiség élete jelene és történelme szervesen összekapcsolódik a talajokkal. A talaj az agrárium révén fontos eleme az élelmiszerellátásunknak. Azonban ezen túlmenően is lát el funkciókat, ezek részint ökológiai, részint emberi tevékenységhez kötődő funkciók. Ökológiai szempontból fontos tulajdonsága a termékenység, mely által mind a természetes, mind a termesztett növények alapvető termőhelyéül szolgál. Valamint életteret ad a talajlakó állatoknak, és szabályozó funkciókat is ellát, szűrő-, tompító-, átalakító folyamatok színtere. Emberi tevékenység szempontjából közeget biztosít az építmények és a közlekedés számára, megőrzi a földtörténeti és a történelmi emlékeket (Michéli 2011). Emellett szűri és szolgáltatja a vizet, amely mind az élővilág, mind az emberi élet, valamint az agrárium szempontjából is fontos tulajdonságnak számít, hiszen vízfelhasználásunk egy jelentős részét a talajból vesszük ki.

Napjainkban a talajok védelme egyre fontosabbá válik, melynek háttérében a klímaváltozás áll. Ennek oka, hogy talaj jelentős mennyiségű szén tárol szerves illetve szervetlen formában. A talajban tárolt szén mennyisége függ a talajtípusától és a földhasználatától. A talajban lévő szervesanyag tartalom megőrzésével és mennyiségének növelésével csökkenteni tudjuk az éghajlatváltozás mértékét és hatásait, így ez korunk fontos feladatává vált (Michéli 2011).

Emellett a talaj szervesanyaga hatással van többi talajtulajdonságra is. A szerves komponensek befolyásolják az aggregátum stabilitást, de a különböző textúrájú talajokban eltérő módon. Míg az agyag textúra esetén gátolja a részecskék összetapadását, addig a homok textúra esetében kötőanyagként szolgál (Tisdall és Oades 1982). A makroaggregátumok tekintetében megállapították, hogy a szervesanyagoknak csak egy része vesz részt a stabilizálásban (vízzel szembeni ellenállás), valamint egy bizonyos szerves szénmennyiség felett már nem várható stabilizáló hatás. Ezért a hatékony szervesanyag utánpótláshoz szükséges azonosítani, hogy a szervesanyagoknak mely része vesz részt ténylegesen a stabilizálásban (Wander et al. 1994).

2. Célkitűzés

A talaj szervesanyag tartalma és makroaggregátumok stabilitása egymással szorosan összefügg, és e két tényező jelentősen befolyásolja a talaj tulajdonságait. Így a kutatásunkban ezt a két tulajdonságot vizsgáltuk részletesen. A szervesanyag minőségi vizsgálatára jelenleg elterjedt módszer a CNS analízis, mely 800-1200°C közötti hőmérsékleten tárja fel a mintát, és ad eredményt a minta szén, nitrogén, kén tartalmáról.

Kutatásunkban 5 hazai talajszelvényből származó, változatos talajtulajdonságok alapján begyűjtött minta makroaggregátum-stabilitását, szervesanyag mennyiségét-és minőségét vizsgáltuk, valamint elemeztük a köztük fennálló kapcsolatokat, összefüggéseket.

Feltevések szerint a nem stabil aggregátum frakciót többnyire a szervesanyagok, míg a stabil aggregátum frakciót az agyagásványok (illetve más szervesetlen komponensek) stabilizálják. Célunk az volt, hogy nagyszámú minta adatbázison vizsgáljuk ezen feltevés értelmében a stabil- és nem stabil makroaggregátum-frakciót stabilizáló anyagokat a különböző talajtulajdonságok figyelembe vétele mellett.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. A talaj

A talaj a fölkéreg legkülső szilárd, mállott burka a pedoszféra, amely a litoszféra, az atmoszféra, a hidroszféra és a bioszféra kölcsönhatásainak zónájában helyezkedik el. Fontos tulajdonsága a termékenység, azaz a kellő időben és mennyiségben szolgáltat nedvességet és tápanyagot a növények számára. eltér az alapkőzettől, képződése során valamilyen fizikai, kémiai, biológiai átalakuláson ment keresztül (Michéli 2011). A talaj időben és térben változó, három illetve négyfázisú polidiszperz rendszer, melyet szilárd (talajszerkezet), folyadék (talajoldat), gáz (talajlevegő) és biológiai fázis (talajlakó élőlények) alkotnak, és ezek állandó és dinamikus kölcsönhatásban vannak egymással (Várallyay 2002).

3.2. A talajok szervesanyaga

A szerves anyagok a talaj tömegének csupán kis hányadát teszik ki és túlnyomóan annak felső rétegeiben találhatóak. Jelenlétük a fizikai-kémiai anyagtranszportok, valamint a kedvező talaj szerkezet kialakítása miatt mégis nélkülözhetetlen, valamint a szárazföldi ökoszisztémák és a globális szén ciklus fontos eleme (jelentős szén-rezervoár) (Stefanovits et al. 1999.; Six et al. 2001).

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

A talajban található szervesanyagok többféleképpen csoportosíthatóak, de alapvetően három nagy csoportba sorolhatjuk; a talaj élőlényei és a talajon élő növények gyökérzete, az elhalt növényi és állati maradványok, valamint a fent említett maradványok bomlása során felszabadult, illetve újraképződött szerves vegyületek (Németh 1996, Stefanovits et al. 1999). Ezek közül az utóbbi két csoportot tekintjük ténylegesen a talaj szervesanyagának, a még élő növényi és állati szervezeteket számos szakirodalomban nem sorolják a szorosabb értelemben vett talaj szervesanyagok közé. Ezek a talajban élő relevánsan nem talaj szervesanyagnak minősülő makro- és mikroszervezetek a szerves részek kb. 15%-át teszik ki, a döntő többséget az élettelen (abiotikus) szerves-anyagok jelentik, amely mintegy 85%-ot jelent. (Fülek 2011). Az élettelen szervesanyagokat két nagy csoportba lehet osztani: a humuszanyagok és a

nem-humuszanyagok. A nem-humuszanyagok növényi- és állati maradványok részelegesen lebomlott, átalakult termékei, szerkezetük kémiai azonosítható. (Fülek 2011)

A nem-humuszanyagok jellegzetesen 5 csoportba oszthatók: szénhidrátok (poliszacharidok pl. cellulóz, pektin, monoszacharidokból és uonsavakból épülnek fel, a talaj összes szervesanyag-tartalmának 6-15%-a); nitrogéntartalmú szerves vegyületek (pl. aminosavak, fehérjék); ligninek (növényi vázanyag), tanninok; szerves savak: alifás karbonsavak (pl. hangyasav, zsírsavak) és aromás karbonsavak (pl. szalicilsav, galluszsav); tartalmú szerves vegyületek (pl. foszfolipidek, nukleinsavak) (Fülek 2011).

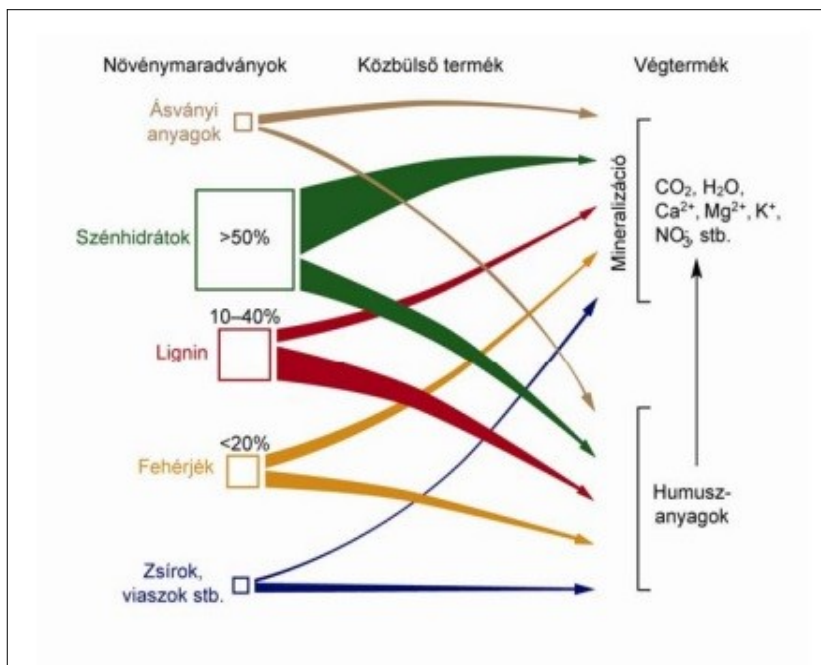
A fenti vegyületek többnyire nem szabadon, hanem szerves- és szerves anyagokhoz, általában az ásványi szemcsékhez kötötten találhatók a talajban. Jelentőségük kisebb, mint a belőlük képződő a bomlástermékek összekapcsolódásával felépülő humuszanyagoknak (Fülek 2011).

A humuszanyagok a természet élő szén ciklusából kikerülő szerves molekulák véletlenszerű halmazából képződő, kémiai heterogén összetételű (meghatározott képlettel nem rendelkező), funkció csoportokban gazdag makromolekuláris anyagok. A környezeti rendszerekben a szervesanyag mineralizáció köztes termékeinek tekinthetők, a kémiai degradációval szemben azonban viszonylag ellenállóak, így a természet legelterjedtebb nem élő szerves anyagai, megtalálhatók a talajokban, tőzegben, felszíni és felszín alatti vizekben, fiatalabb szénekben és a legújabb kutatások szerint a légköri aeroszolokban is (Fülek 2011).

3.2.1. Szervesanyagok képződése, átalakulása

A talajra kerülő holt szervesanyag jelentős átalakulásokon megy keresztül, míg humuszanyagok keletkeznek belőle (lásd 1. ábra). Eközben a szerves szén nagy része, mintegy 60-80%-a szén-dioxiddá alakul, körülbelül 3-8%- a élő szervezetekbe épül be, szintén 3-8%-ából nem valódi humuszanyagok képződnek, és mintegy 10-30%-ából jönnek létre valódi humuszanyagok (Stefanovits et al. 1999). A talaj szervesanyag utánpótlásának főforrását a növényi maradványok jelentik, mivel az elpusztult állati és mikrobiális szervezetek jelentősen kisebb összterületet tesznek ki (Demeter 2020). A szervesanyag bontása a talajban lakó élőlények tevékenysége. A talajba kerülő holt biomassza maradványok átalakítását, fizikai destrukcióját a makrofauna (ízeltlábúak, földigiliszták) kezdi meg a maradványok felaprításával, eközben a szervezetükön áthaladó szervesanyag mintegy 20%-át hasznosítja. E tevékenységük közben a szervesanyagok támadható felületét jelentős

mértékben megnövelik a baktériumok és a gombák számára, valamint elkeverik az ásványi részekkel és a talaj mélyebb rétegeibe is lejuttatják. Ezt követően a baktériumok, gombák, sugárgombák folytatják a bontást, a maradványok kémiai degradációját, mely során a nagy és bonyolult molekulák kisebb, egyszerűbb egységekre esnek szét. Eközben a mikroszervezetek táplálékhoz és energiához jutnak (Demeter 2020, Stefanovits et al. 1999, Németh 1996). Ezt követően a keletkezett bomlástermékek egymáshoz kapcsolódva sötét színű, nagy molekulájú anyagokat hoznak létre, melyekből további polimerizáció és kondenzáció útján humuszanyagok keletkeznek (Németh 1996). A szerves maradványok bontása történhet aerob és anaerob körülmények között is. Aerob körülmények esetén a szerves szénből szén-dioxid, víz és talaj-szervesanyag képződik, valamint a szerves szén enzimatis lebonatása mellett végbemegy a tápelemek mineralizációja is: a szerves nitrogénből ammónium-ion és nitrát-ion, a szerves foszforból foszfátok, a szerves kénből szulfátok képződnek. Anaerob körülmények között a szén metánná alakul, a nitrátból nitrit, dinitrogén-oxid, nitrogén és ammónium-ion képződik, a szulfátból pedig szulfit, szulfid, elemi kén, hidrogén-szulfid és végső soron kénhidrogén keletkezik (Zacháry 2019). A természetben a körülményektől függően mindkét folyamat végbemegy, de az aerob folyamatok energetikai és tápanyaghasznosítási szempontból kedvezőbbek.



1. ábra: A talaj-szervesanyag humifikációja és mineralizációja közötti összefüggés
Stefanovits P. (1999) ábrája (Forrás: Szalay és Jakab 2011)

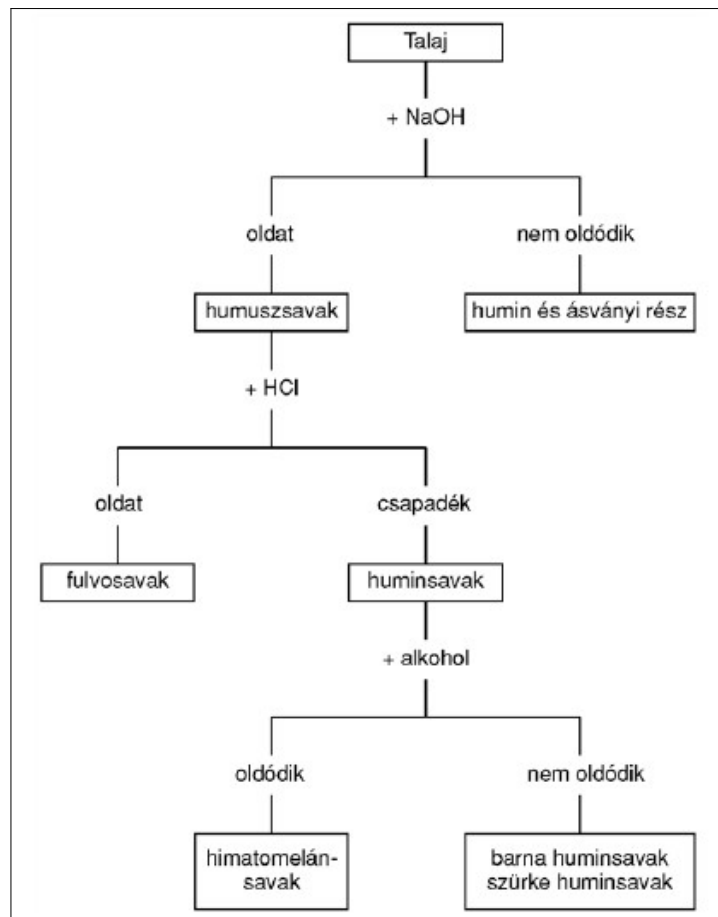
3.2.2. A talajok szervesanyagának mennyisége

A szervesanyagok mennyisége nagymértékben függ a képződési feltételektől; nedvességtartalom, hőmérséklet, kiindulási anyagok stb. (Filep 1988). A képződött vegyületek (ahogy gyakran a humuszanyagok is) többnyire nem szabadon, hanem szerves és szervetlen anyagokhoz, általában az ásványi szemcsékhez kötötten találhatóak a talajban. Jelentőségük kisebb mint a belőlük képződő a bomlástermékek összekapcsolásával felépülő humuszanyagoknak (Fülek, 2011). A szervesanyagok kedvező hatással vannak a talaj víz- és tápanyag-gazdálkodására, valamint növelik az aggregátum-stabilitást. Továbbá a talajélet, a talajfauna szempontjából is fontos szerepet tölt be. Így általánosságban elmondhatjuk, hogy a szervesanyag mennyiségének növekedésével javul a talaj minősége. A szervesanyag mennyisége függ a talajélettől, a talajt borító növényzettől, a talajra kerülő holt szervesanyagtól stb. Így szoros összefüggés van a talaj szervesanyag tartalma és a művelési ág között, például amennyiben egy gyepet vagy egy erdőt a továbbiakban szántóként kezdenek el hasznosítani, úgy minden bizonnyal csökkenni fog a szervesanyag-tartalma (Michéli, 2011). Ezzel együtt azonban a szervesanyag mennyiségén túl a minőség is fontos. Hazai talajaink szervesanyag-tartalma az ásványi talajok esetében kb. 1-3%, míg az ún. szerves, láptalajok esetében ez az érték 20% feletti, ami annak köszönhető, hogy a vízbőség miatt a szervesanyag bontása korlátozott. Így azonban ez a szervesanyag nem humifikálódott (Michéli, 2011), valamint rendkívül érzékeny, bolygatás hatására könnyen oxidálódik és széndioxid formájában távozik a talajból. Ezzel szemben egy kisebb mennyiségű, de stabilabb állapotú szervesanyag kevésbé sérülékeny, kevésbé érzékeny pl. a művelés vagy egyéb tényezők hatásaira.

3.2.3. A talajok szervesanyagának minősége

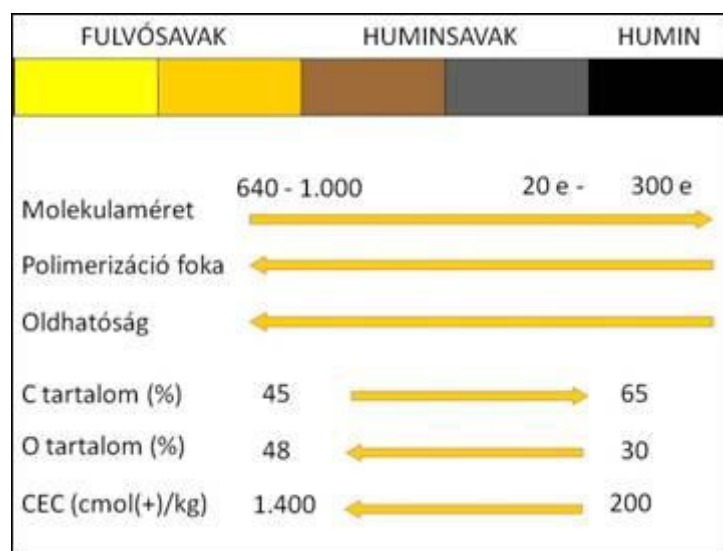
A humuszanyagok háromdimenziós, aromás karakterű, kolloidális rendszerek; kolloid tulajdonságaik, állapotváltozásaik meghatározzák viselkedésüket a környezeti rendszerekben. A humuszanyagok biogén eredetűek, a természet élő szenciklusának eredményeként képződő, kémiai heterogén összetételű makromolekuláris anyagok (Fülek 2011). Főként szénből, hidrogénből és oxigénből épülnek fel, emellett változó mértékben tartalmazhatnak nitrogént, kén, esetleg foszfort (Kovács 2010). Jellemző tulajdonságuk, hogy a szervesanyagok polimerizációja útján kialakult rendkívül hosszú szénláncból állnak, melyhez aromás gyűrűk és funkciócsoportok (karboxil csoportok, fenolos hidroxil csoportok, amino- és iminocsoportok) kapcsolódnak. A humuszanyagok három nagy csoportba oszthatóak, az első csoport a fulvosavak, a második a huminsavak (himatomelánsav, barna- és szürke huminsav),

a harmadik a humin és a humuszszen (Nyilas 2009). A fulvosavak a talajból 0,5%-os nátrium-hidroxiddal kioldhatóak, és az oldat (sósavval történő) megsavanyítása után is az oldatban maradnak (lásd 2. ábra) (Nyilas 2009, Stefanovits et al., 1999). Ez esetben azonban egyes nem humuszanyagok pl. poliszacharidok is az oldatban maradnak. A fulvosavak és sóik vízben oldhatók. Redukáló és komplexképző tulajdonságaik révén szerepet játszanak a vas és az alumínium talajban való mozgásában, így képződésük, jelenlétük a biológiailag kevésbé aktív, savanyú talajokban jellemző, ez esetben a humuszanyagok 70%-át is oldhatják, csernozjom talajok esetében a humuszanyagok mintegy 15-20%-át teszik ki (Nyilas 2009). A huminsavak híg nátrium-hidroxidban jól oldódnak, de az oldat megsavanyítása után kicsapódnak, az így keletkezett csapadék egy része meleg alkoholban oldható, ez tartalmazza a himatomelánsavakat, az alkoholban nem oldódó csapadék pedig a barna huminsavakat és a szürke humin savakat tartalmazza (lásd 2. ábra) (Stefanovits et al. 1999, Nyilas 2009). Ezt követően a csapadékból a barna huminsavak 5%-os nátrium-hidroxiddal kioldhatóak, míg a szürke huminsavak visszamaradnak (lásd 2. ábra) (Nyilas 2009). A barna huminsav a barna erdőtalajokban és a láptalajokban található nagyobb mennyiségben, jellemzően ott fordul elő jelentősebb mennyiségben, ahol a humuszosodás előrehaladott és aktív mikrobiológiai tevékenység folyik. Hazánkban a csernozjom talajok humuszanyagai tartalmazzák magasabb arányban (Nyilas 2009). A humin és a humuszszen csoport hideg lúggal nem oldható ki a talajból, az ilyen módon visszamaradt szervesanyag egy része forró lúgban oldódik, ez a humin, más része nem oldódik, ez a humuszszen. Amennyiben a talaj ásványi részét kioldjuk, feltárjuk belőle hidrogén-fluoriddal, úgy a humuszszen is oldatba vihető (Nyilas 2009). A fulvosav, himatomelánsav, barna huminsav, szürke huminsav, humin és humuszszen sorban növekszik a molekulaméret (szénlánc hossza), a polimerizáció mértéke, ezzel párhuzamosan csökken a funkciócsoportok, az aktív gyökök aránya, így csökken a savas jelleg és az oldhatóság (Nyilas 2009).



2. ábra: A híg lúggal kevert talajból kioldódó humuszfrakciók (Stefanovits et al. 1999)

Más értelmezés szerint a valódi humuszanyagok biogén eredetű, heterogén szerves makromolekulákból másodlagos szintézis során keletkező bonyolult, képlettel nem definiálható, sötét színű, kolloid tulajdonságokkal rendelkező savkarakterű polimerek. A humuszanyagok a talajra jellemző szervesanyagok, amelyek a humuszosodás (talajképző folyamat) során keletkeznek. Több különböző frakcióból állnak (fulvosav, huminsav, humin). Ezen frakciók tulajdonságait az őket felépítő aromás gyűrűk, valamint az ezekhez kapcsolódó oldalláncok és funkciós csoportok aránya határozza meg (Michéli 2011). A fulvosavtól a humin felé haladva nő a polimerizáció foka, így a molekula méret és a molekula tömeg is, valamint nő a szénkoncentráció és a szín is egyre sötétebbé válik. Ezzel szemben csökken az oxigén koncentráció, a kationcsere-kapacitás (T érték vagy CEC) és az oldhatóság (lásd 3. ábra). A különböző humuszfrakciók mindegyike megtalálható a talajokban, de mennyiségük és egymáshoz viszonyított arányuk eltérő, mely az eltérő tulajdonságoknak köszönhetően elősegíti a különböző minőségű talajok képződését (Michéli 2011).



3. ábra: A humuszfrakciók tulajdonságai (Michéli 2011)

3.2.4. A szervesanyag jelentősége a talajban

A szervesanyagok több szempontból is fontos szerepet töltenek be a talajban. Fontos szerepük van a tápanyag gazdálkodásban, tápanyagot jelentenek, valamint kationcserekapacitása révén segítik a tápanyagok felvételét és megőrzését (Michéli 2011, Stefanovits et al. 1999). Emellett tompítja a szélsőséges kémhatásokat (Michéli 2011, Demeter 2020), az ökoszisztéma nitrogén-tartalékát képezi, valamint a talajmikroorganizmusok számára az egyik fő szubsztrátforrás (Demeter 2020). Továbbá az ásványi részekkel való kapcsolódás során részt vesz a talajszerkezet kialakításában, elősegíti a stabil, porózus szerkezet kialakulását, csökkentve ezzel a talaj tömörödési és elporosodási hajlamát. Emellett kedvező hatással van a vízgazdálkodásra, ami a nagy nedvességmegkötő képességének köszönhető (Michéli 2011, Stefanovits et al. 1999, Demeter 2020), illetve a kationcserekapacitás és a stabil talajszerkezet által közvetve is javítja azt (Michéli 2011, Stefanovits et al. 1999). A legtermékenyebb talajok közös jellemzője, hogy kalciummal telített, jó minőségű humusz (Ca-humátok) található bennük, valamint jellemző rájuk az ezzel együtt járó morzsás, porózus szerkezet és a jó tápanyag-ellátás (Stefanovits et al. 1999). Sötét színének köszönhetően javítja a talaj hőgazdálkodását, elősegíti a felmelegedését (Michéli 2011, Stefanovits et al. 1999, Demeter 2020). Továbbá a széntárolásban is fontos szerepet tölt be, aminek az az oka, hogy a talajban lévő szerves és szervesetlen szén mennyisége összességében négyszerese a növényzet, és háromszorosa a levegő szénkészletének. Ezért a talajok szervesanyagának megőrzése, illetve növelése jelentős az üvegházhatású gázok (szén-dioxid, metán) légkörben lévő mennyiségének csökkentésében, és így a globális klímaváltozás, illetve hatásainak

megfékezésében (Michéli 2011, Demeter 2020). A bolygószintű éghajlatváltozás ugyanakkor a talajok szervesanyag készletének minőségére is kedvezőtlenül hat (Demeter 2020).

3.3. A talajok szerkezete

A talajban az egyedi szemcsék (ásványi komponensek) önmagukban csak ritkán fordulnak elő. Különféle elrendeződésben, változatos alakú és méretű aggregátumok formájában vannak jelen, amelyek egyedi elrendeződése alakítja ki a talajszerkezetét, létrehozva ezzel pórustereket (Marshall és Holmes 1979). A talajszerkezetét tehát a talajrészecskék csoportjai hozzák létre, melyek egymáshoz nagyobb erővel kötődnek, mint a többi talajszemcséhez (Huisz 2007, Dunai 2017), a szerkezeti elemek összetett folyamatok során, számos különböző ragasztóanyag és kötőerő hatására keletkeznek (Huisz 2007). A talajszerkezet tulajdonságait tekintve igen összetett, mivel az alkotóelemek mérete, alakja és kémiai összetétele különböző, továbbá az aggregátumokat kialakító mechanizmusok is (a talajképző folyamatoktól függően) elég változatosak lehetnek. Az aggregátumok alakja mérete, térbeli elrendeződése határozza meg a pórusok méretét és kapcsolatrendszerét, befolyásolva ezzel a hő, gáz, víz és oldott tápanyagok szállítását, valamint raktározását, tehát számos fizikai, kémiai és biológiai folyamatot (Peng et al. 2015). A talaj szerkezeti elemei fizikailag és biokémiaileg védik a bennük található szervesanyagot a lebontással szemben, meghatározva ezzel a talaj termékenységét, hő- és vízgazdálkodó képességét, szennyező anyagokkal szembeni pufferkapacitását (Stefanovits et al. 1999).

A talaj szerkezete leírható az aggregátumok alakja, mérete és stabilitása szempontjából is. Alak szerint vizsgálva az aggregátumokat, morfológiai talajszerkezetről beszélünk. Az aggregátumok méret szerinti eloszlását agronómiai talajszerkezetnek is nevezzük (általában szitasorokkal határozzák meg) (Kemper és Rosenau 1986, Stefanovits et al. 1999). A talajszerkezete jellemezhető az aggregátumok stabilitásával is. A stabilitás azt fejezi ki, hogy az aggregátum milyen mértékben ellenálló a degradációs folyamatoknak (például a víz eliszapoló hatásával, valamint az esőcseppek és a talajművelés mechanikai romboló hatásával szemben) az idő függvényében. Segítségével jellemezhető az adott talaj erózióra való hajlama is. Ezek az aggregátum stabilitási mutatók felhasználhatóak a különböző mezőgazdasági beavatkozások, talajművelés erodáló hatásainak becslésére, előrejelzésére (Labancz et al. 2021), ezáltal a megelőzés egyik fontos eszköze lehet. A talajaggregátumok stabilitását több tényező is befolyásolja, Ballenegger (1933) szerint ezek közül a két legfontosabb a humusz és az agyagszemcsék jelenléte.

3.3.1. A különböző aggregátum frakciók méretei és a stabilitásukat kialakító tényezők

Az aggregátum frakciók és tulajdonságaik változatosak, egymástól eltérőek. A nemzetközi szakirodalom a 250 μ m-nél nagyobb aggregátumokat makro-, a 250 μ m-nél kisebbeket mikroaggregátumoknak nevezi. (Huisz 2012, Labancz et al. 2021) A makroaggregátumok tovább csoportosíthatóak, 250-2000 μ m közötti tartományt „kis makroaggregátumok”, míg a 2000 μ m feletti frakciót „nagy makroaggregátumokként” tartják számon. (Labancz et al. 2021) Ezen túlmenően azonban már nem olyan egységes a csoportosítás. Egyes szerzők szerint a mikroaggregátumok alsó határa 20 μ m, mások a 250 μ m-es tartományt veszik ebbe a kategóriába. (Huisz 2007). A 2 μ m alatti részecskéket agyagflokkuátumok néven különítik el, a 2-20 μ m-es csoport az agyagflokkuátumok és iszaprészecskék összekapcsolódásával kialakult aggregátumokat iszap vagy klaszter (cluster) frakciónak hívják (lásd 1. táblázat) (Oades és Waters 1991; Jastrow et al. 1996; Totsche et al. 2018, Labancz 2021). Magyarországon többek között Stefanovits és munkatársai (1999) határozták meg eltérő tulajdonságaik illetve saját tapasztalataik alapján az egyes frakciók mérethatárait: 10 μ m alatt finom mikroaggregátumok, 10-250 μ m között mikroaggregátumok, 250-1000 μ m között kis makroaggregátumok, 1000-3000 μ m között közepes makroaggregátumok, 3000-10000 μ m között nagy makroaggregátumok, 10000-20000 μ m között kisebb megaaggregátumok, 20000 μ m felett nagyobb megaaggregátumok (Stefanovits et al. 1999).

Az aggregátum stabilitást befolyásoló tényezők két nagy csoportra oszthatóak: a talaj jellemzőiből adódó belső tényezőkre (pl. ásványi és szerves eredetű cementáló anyagok, szervesanyag-tartalom), illetve a talajtól független külső tényezőkre, hatásokra (pl. környezeti, mezőgazdasági művelés okozta hatások) (Amezketá 1999). Az aggregátumok kialakulása és lebomlása összetett folyamat, mely számos tényező együttes hatására vezethető vissza. Ilyenek lehetnek a talajképződési folyamatok, a környezet, a talajművelés, a növényzet, a talaj mikrobiológiai aktivitása, a talaj fagyása és kiszáradása, a rendelkezésre álló talajnedvesség, valamint a talajtulajdonságok: a szerkezet, az ásványianyag-tartalom, a szervesanyag-tartalom, a kicserélhető ionok, a tápanyagkészlet (Huisz 2007). A belső tényezők között az egyik legfontosabb a szervesanyag tartalom. Általánosságban elmondható, hogy a szervesanyag mennyiségének növekedésével nő az aggregátum-stabilitás. Ennek hátterében egyrészt a szervesanyag hidrofobicitás növelő hatása, másrészt a kémiai kötések számának növekedése áll (Chenu 2000). Fontos a szervesanyag időbeli bekerülése is, a friss szervesanyag hozzáadása a felszabaduló szerves vegyületek révén gyors hatást eredményez, azonban általában rövid időre. Ezzel szemben a stabilabb frakciók hozzáadása kisebb hatást

eredményez, de tartósabb (Kay 1998). A kationcserélő kapacitás szintén hozzájárul az aggregátum-stabilitáshoz, növekedésével, nő a stabilitás (azonban a monovalens ionok pl.: Na⁺, H⁺, csökkentik a stabilitást) (Tisdall 1996). A pH-nak is fontos szerepe van, a magasabb pH és magasabb mésztartalommal együttesen stabilitás növelő, több nagyméretű aggregátum keletkezik, továbbá javítja a mikrobiális aktivitást, ami szintén pozitívan hat (Boix-Fayos et al. 2001, Haynes és Naidu 1998). A talajlakó szervezetek, mikroorganizmusok jelentősége nagy, mivel az általuk termelt kötőanyagok jelentősen növelik a stabilitást. Míg a gombák alapvetően a makroaggregátumok kialakulására, addig a baktériumok a mikroaggregátumok képződésére vannak hatással (Schutter és Dick 2002). Emellett meghatározó még az agyagásványok, vas-alumíniumoxidok, szeszkvioxidok, a makroszervezetek jelenléte, a fizikaiféleség, a porozitás, a termesztett növény faja (Dunai 2017). A külső tényezők közé általában klimatikus viszonyokat, a talajművelést, tápanyag ellátást soroljuk (Dunai 2017, Bryan et al. 1989), melyek közvetlenül, vagy közvetve a belső tényezők megváltoztatásával hatnak.

1. táblázat: A különböző méretű aggregátumokat létrehozó folyamatok és anyagok:

(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-olvaszási ciklusok /művelés hatásai - pl. trágya, komposzt/

3.3.2. A makroaggregátumok stabilitását befolyásoló tényezők

A makroaggregátumok stabilitása nagymértékben függ a talaj „élő és holt” szervesanyagaitól, ezért a stabil makroaggregátumok aránya párhuzamosan változik a talaj szervesanyag-tartalmának alakulásával (Lal és Shukla 2004). A makroaggregátumok közötti kötések kialakításában jelentős szerepet játszanak a talajlakó baktériumok, gombák és egyéb mikrobiális eredetű metabolikus anyagok (pl.: glomalin) (Lal és Shukla 2004; Nimmo 2004; Dunai és Tóth 2015). Makroaggregátumok a növények gyökerei körül is kialakulnak, mivel a növények gyökérváladéka fokozza a mikrobiális aktivitást. Továbbá jelentős szerepet játszik a makrofauna is (pl.: hangyák, férgek, giliszták) (Nimmo 2004).

A szervesanyag az aggregátum felületén hidrofób bevonatot képez, mely ezáltal csökkenti a szétiszapolódás lehetőségét (Sullivan 1990). A szervesanyag stabilizáló hatása azonban sérülékeny, mely elsősorban a makroaggregátumokat érinti. A hosszútávú talajművelés következtében csökken a humusztartalom is, amely egyértelmű összefüggésben áll a makroaggregátum-stabilitás csökkenésével is. A makroaggregátum-stabilitást a termesztett növények is befolyásolják (Baldock és Kay 1987).

3.3.3. A makroaggregátumok stabilitása és a szervesanyag kapcsolata

A szervesanyagok jelenléte ellentmondásos a talaj aggregátumainak stabilizálása szempontjából. A szervesanyagok ugyanis más-más szerepet töltenek be a különböző méretű aggregátum frakciókban (makro-és mikroaggregátumok). A stabilizáló hatás emellett függ a talaj textúrájától is (Shanmuganathan és Oades 1983). Míg agyag textúrájú talajok esetében a szervesanyag lefedi az agyagrészecskék felületi töltését emiatt negatívan hat az összetapadás erősségére (a Van der Waals kötések nem tudnak létrejönni), addig homok textúrájú talajok esetében a szervesanyag kötőanyagként funkcionál (Tisdall és Oades 1982). Valószínűsíthető továbbá, hogy a szerves-szénkészlet egyes összetevői aktívabban, míg mások kevésbé vesznek részt az aggregátumok stabilizálásban (Perfect és Kay 1991). Más kutatások kimutatták, hogy az aggregátumok stabilitása szorosabban összefügg az aktívabb, mozgékonyabb szervesanyagok jelenlétével, mint a szervesanyag mennyiségével általában (Puget et al. 1995). A makroaggregátumok tekintetében megállapították továbbá, hogy a szervesanyagoknak csak egy bizonyos része felelős a stabilitásért (vízzel szembeni stabilitásért), valamint, hogy egy bizonyos szerves-szénmennyiség növekedés felett már nincs további stabilizáló hatás (Tisdall és Oades 1982). A hatékony szervesanyag-pótláshoz szükséges lenne azonosítani azon szervesanyag típusokat, melyek ténylegesen részt vesznek a stabilizálásban (Wander et al. 1994).

3.4. A hazai talajosztályozás

A magyar talajosztályozási rendszert genetikai és talajföldrajzi osztályozási rendszernek nevezzük. Genetikai, mert a talajokat fejlődésükben vizsgálja, és a fejlődés egyes szakaszai, a típusok alkotják az osztályozás egységeit. Valamint azért talajföldrajzi, mert a földrajzi törvényszerűségeket szem előtt tartva egyesíti a típusokat a főtípusokban. Fontos kiemelni, hogy a talaj minden tulajdonsága a talajfejlődés eredménye, legyen az fizikai, kémiai vagy biológiai jellegű, ezért mindezen hatások összessége jellemzi és határozza meg a talaj típusát, valamint alacsonyabb osztályozási egységeit is (Stefanovits et al. 1999). A genetikai osztályozás keretein belül különböző szinteket különítünk el, amelyek alapján a talajokat főtípusokba, típusokba, altípusokba, változatokba, helyi változatokba és talajcsoportokba rendezzük.

Főtípus: A talajosztályozási rendszer legmagasabb egységét, a főtípust a rokon típusok egyesítésének eredményeként hozták létre. Ezen egységben jelentős szerephez jut a földrajzi szemlélet, amely a hasonló földrajzi környezet hatását hivatott kifejezni. A hazai, genetikus szemléletű talajosztályozási rendszerben 9 főtípust különböztetünk meg, ezek a következők: váztalajok, közethatású talajok, barna erdőtalajok, csernozjom talajok, szikes talajok, réti talajok, láptalajok, mocsári erdők taljai, öntés- és lejtőhordalék talajok. Ezeken belül találhatóak az egyes talajtípusok (Stefanovits et al. 1999).

Típus: A talajtípusba, mint rendszertani egységbe soroljuk azokat a talajokat, amelyek hasonló környezeti tényezők együttes hatásának eredményeként jöttek létre, a talajfejlődés folyamán hasonló fejlődési állapotot, fejlettségi szintet értek el, és egyazon folyamattársulás által jellemezhetőek (Stefanovits et al. 1999).

Altípus: Meghatározásakor a típus jellemzésére szolgáló folyamattársulás keretén belül az egyes folyamatok erőssége szolgáltat alapot az altípusba történő besoroláshoz.

A különféle kísérőfolyamatok által történik a talajok változati – és alacsonyabb rendszertani - szinten való értékelése is. A változatok kialakításánál mindenkor azokat a jellegeket, folyamatokat, és ezek erősségét vesszük alapul, amelyek az adott talajtípus termékenysége szempontjából a lehető legnagyobb befolyást gyakorolják (Szabolcs et al. 1966). Utóbbiakat általában csak speciális esetekben (pl. üzemi genetikai talajtérképek, vagy tudományos vizsgálatok) különítik el.

A **váztalajok** típusához tartoznak azok a talajok, melyekben a biológiai, kémiai folyamatok nem mennek végbe olyan mértékben mint más talajoknál a kedvezőtlen adottságok miatt (pl.

kedvezőtlen talajképző kőzet, erózió, defláció). Ide soroljuk a köves, sziklás váztalajokat; a kavicsos váztalajokat; a földes kopár talajokat; a futóhomok és jellegtelen homok talajokat valamint a humuszos homok talajokat (Stefanovits et al. 1999, Füleký 2011). A kavicsos váztalajok főként folyók menti teraszokon és medrekben alakulnak ki. Ezek a talajok kedvezőtlen víz- és tápanyaggazdálkodással rendelkeznek, melynek oka a folyó által lerakott kavicsos, iszapos hordalék. A köves, sziklás váztalajok alapvetően a hegyvidéki tájakon jellemzőek, ahol az erózió következtében az alapkőzet a felszín közelében található. A földes kopár talajokat a talajpusztulás jellemzi, a felszíni erózió miatt a humuszosodás folyamata kevéssé érvényesül. A futóhomok és jellegtelen homoktalajok csoportja nem rendelkezik érdemleges talajképző tulajdonságokkal, valamint az állandóan változó felszínén a kevés szervesanyag miatt nem jön létre egybefüggő növényborítás. A humuszos homoktalajok talajképző bélyegei közül csak a humuszképzés van jelen, más talajképző folyamat nem megy végbe (Stefanovits et al. 1999, Füleký 2011).

A **kőzethatású** talajokat legfőképpen az jellemezi, hogy erőteljes humuszosodás ment végbe az amúgy sekély termőrétegű talajon. Ezen kívül típusára jellemző a szerves-ásványi kolloidok kialakulása, valamint a szélsőséges vízgazdálkodás. Típusait a talajképző kőzet alapján csoportosítjuk. A humuszkarbonát talajok szervesanyag tartalma 2-4 %-ra tehető. Szerkezete laza és morzsás, mely hazánkban leginkább löszös területen mutatkozik meg. Vízgazdálkodása és a kilúgzási folyamatai gyengék. A rendzina talajok tömör, meszes alapkőzeten alakultak ki, így hazánkban mészkövön, tömör márgán és dolomiton találhatóak. A jó vízgazdálkodás és meglehetősen erős humuszosodással szemben gyenge a kilúgzása és tápanyag-szolgáltatása a sekély termőréteg miatt. A fekete nyirok talajok nevüket az agyagtartalmuk és a szélsőséges vízgazdálkodásukról kapták. Ezek a talajok vulkanikus alapkőzeten alakultak ki, szmektit tartalmuk magas, karbonátot nem tartalmaznak. Kilúgzásuk gyenge, humuszosodásuk erőteljes, valamint szerkezetük szemcsés. Ezeken a talajokon alapvetően csak lágyszárú növénytakaró képes fennmaradni. A ranker talajokat a tömör kőzetalajokon való képződés és a sekély termőrétege miatt sorolják ebbe a főtypusba. Vízgazdálkodása és tápanyag-eloszlása gyenge (Stefanovits et al. 1999, Füleký 2011).

A **láptalajok** olyan területeken alakultak ki, melyeket az év nagy részében vízborítás jellemez, illetve amikor nem borítja víz, olyankor is vízzel telített. Emiatt a növényzet (elsősorban vízi növényzet) elhalása után a szerves maradványok levegőtlen viszonyok között, lassan bomlanak el, a szervesanyag felhalmozódik. Ilyen körülmények között a humifikáció tőzegesedéssel társul. A láptalajok képződésének másik módja a mohaláp

képződés, ekkor a tőzegmoha generációi egymás fölé épülnek, ám ez hazánkban ritka (Stefanovits et al. 1999). Tehát az ásványi talajokhoz képest sokkal magasabb szervesanyag-, és tőzeg tartalommal rendelkeznek (Fuchs et al. 2019). A rajtuk jellemzően lezajló folyamatok a következők: tőzegképződés, humuszosodás, kotusodás, kiszáradás, e folyamatok mértéke alapján lehet őket típusokba sorolni. A mohaláp talajok fő építő növényzete a tőzegmoha, mely a már említett módon, a tőzegmoha generációk egymás fölé településével alakul ki. Magas humusztartalom, savanyú kémhatás és alacsony ásványi anyag tartalom jellemezi. A rétláp talajok legfőbb ismertetőjele a vízborítottság. Víz- és tápanyaggazdálkodásuk egyaránt szélsőséges. Kémhatásukat tekintve gyengén savanyúak. A lecsapolt és telkesített rétláp talajok az emberi beavatkozás miatt jöttek létre. A sok lecsapolás miatt csökkent a talajvízszint, kiszáradt a talaj és eltűnt a vízborítottság. A telkesített területeket szántóföldként hasznosítják (Stefanovits et al. 1999, Füleký 2011).

A **csernozjom** talajok főbb jellemzője a magas humusztartalom, melyet a felső szintjeinek sötét színe jelez. Jellemző rá a kedvező morzsás szerkezet valamint a kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása. A csernozjom talajokra jellemző talajképző folyamatok a következők: humuszosodás, kilúgozás agyagosodás, a szénsavas mész floktuálása, sófelhalmozódás, vasmozgás. A humusz tartalom mélységi elhelyezkedése és mennyisége szerint több típusra osztják a csernozjom talajokat. Az öntéscsernozjom talajok típusába azok a talajok tartoznak, melyek esetében az öntés jelleghez csernozjom képződés, azaz szervesanyag felhalmozódás társul. Az öntéscsernozjomokat a rétegződés, rozsdafoltok és a humuszosodás jellemezi. Rétegeiben feltűnik a homok, iszap és az agyag is. Vízgazdálkodása és tápanyagtartalma közepes, melyek függenek a vízelvezető képességétől és a talajban hasznosítható nitrogéntől és ásványi anyagoktól. A kilúgzott csernozjom talajokban a kilúgzás következtében karbonátok csak a humuszos szint alatt, a talajképző kőzetben találhatóak. A humuszos szint mélyre hatol és két részre osztható, a felső egyenletesen humuszos "A" szintre és a fokozatosan csökkenő humusztartalmú "B" szintre. Vízgazdálkodása jó, melyet a morzsás szerkezet következtében kialakult jó víztartó és vízáteresztő képesség biztosít. A mészlepedékes csernozjom talajok nevét a bennük található mészrétegről kapta. A mésztartalom a felszíntől számított 30-70 cm mélyen helyezkedik el. Létrejöttjüket a folyamatos kilúgzásoknak és a lepedékképződéseknek köszönhetik. Szerkezte morzsás, kémhatása gyengén lúgos, humusztartalma 3-4 %, víztározó és vízáteresztő képessége jó. A réti csernozjom talajokban a humusz-felhalmozódás mellett vízhatás van jelen. Mélységi eloszlása, szerves anyag tulajdonságai és a tömörödöttség tekintetében különbözik a többi a

csernozjom talajoktól. Tápanyag-szolgáltató képessége kedvező a növényzet számára. Szerkezete szemcsés, a humuszos szintek sötét, barnás-fekete színűek. Szintjeinek átmenete éles és rövid (Stefanovits et al. 1999, Fuchs et al. 2019).

A **barna erdőtalajok** fő típusában egyesített talajok az erdők és a fás növényállomány által teremtett mikroklíma és talajklíma, a fák által termelt és évenként földre jutó szerves anyag, valamint az azt elbontó, főként gombás mikroflóra hatására jönnek létre. A mikrobiológiai folyamatok által megindított biológiai, kémiai és fizikai hatások a talajok kilúgozását, elsavanyodását és szintekre tagolódását váltják ki. A barna erdőtalajokat jellemző talajképző folyamatok a következők: humuszosodás, kilúgzás, agyagosodás, agyagvándorlás, agyagszétesés, kovárvány képződés, glejesedés, savanyodás. A karbonátmaradványos barna erdőtalajok ott alakulnak ki, ahol az erdőtalajokat kialakító kilúgozási folyamat gyengesége miatt a magas karbonát tartalmú talajképző kőzet szénsavas meszt nem képes teljességgel kioldani, vagy a talajképződés megindulása óta eltelt idő rövid volt a kilúgozás befejeződéséhez. Emiatt a talaj savanyodás kevésbé jellemző, azonban a humuszosodás erősebben van jelen mint általában a barna erdőtalajokban. A csernozjom barnaerdő talajok szelvényében két folyamat nyomai láthatók. Az egyik a kilúgozás, ami a talajtípust a barna erdőtalajokhoz kapcsolja és aminek a következménye a vasas agyagosodás, a másik az erőteljes humuszosodás, ami már a csernozjom talajok fő típusára jellemző. A barnaföldekhez azokat a talajokat soroljuk, amelyekben a humuszosodás, valamint a kilúgozás folyamatához csak az erőteljes agyagosodás és a gyenge savanyodás járul. Ennek következményeként a kilúgozási és a felhalmozódási szint agyagtartalma közötti különbség, a két szint agyagtartalmának hányadosában kifejezve 1,2 alatt van, ugyanakkor mindkét szint több agyagot tartalmaz, mint a talajképző kőzet (karbonátmentes anyagra számítva) (Stefanovits et al. 1999). Az agyagbemosódásos barna erdőtalajok közé soroljuk azokat a talajokat, amelyekben a humuszosodás, a kilúgozás, az agyagosodás folyamatait az agyagos rész vándorlása és a közepes mértékű savanyodás kíséri. Felismerhetők a szintekre tagozódás, a kilúgozási szint fakó színe és a sötétebb, agyaghártyás felhalmozódási szint alapján. A podzolos barna erdőtalajokra jellemző a humuszosodás, a kilúgozás, az agyagosodás, valamint az agyagbemosódás mellett a podzolosodás. Ezek a talajok az agyagos rész szétesésének jeleit mutatják, a savanyodás pedig erőteljesen jelentkezik bennük. A pangó vizes barna erdőtalajokban a humuszosodás, a kilúgozás, az agyagosodás, az agyagvándorlás és az agyagszétesés folyamatához a glejesedés is társul, a savanyodás pedig erőteljes mértéket ölt. Kovárványos barna erdőtalajok homokon alakulnak ki. Ezekben a talajokban az olyan

alapvető folyamatok mint a humuszosodás, kilúgozás, agyagosodás, agyagvándorlás, savanyodás és ritkán előforduló podzolosodás mellett kovárvány képződés figyelhető meg, mely a szelvényben csíkozást eredményez. A savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok közé tartoznak Magyarország legsavanyúbb talajai, amelybe az erőteljes savanyodás az acid mull típusú humuszosodáshoz, a kilúgozáshoz és a humuszosodáshoz társul. Kilúgozási szintjük sok szerves anyagot tartalmaz, ami rendszerint a csarabos, áfonyás erdei aljnövényzet következménye, a pH-ja 3,5-4,5 között van. A vas és az alumínium jelenléte állandó. A humuszos szint határa éles. Az alatta lévő felhalmozódási szintben szintén jelentős a savanyúság, de a pH itt már 5 körüli (Stefanovits et al. 1999).

A szikes talajok A szikes talajok kialakulásában és tulajdonságaikban a vízben oldható sók valamint a felfelé irányuló vízmozgás döntő szerepet játszanak. Ezek a sók részben a talajoldatban oldott állapotban, részben pedig a szilárd fázisban, kristályos sók alakjában vannak, vagy a nátrium ionos formában a kolloidok felületén adszorbeálva található. A sók mennyisége, minősége és a talajszelvényben való eloszlása szabja meg a szikes talajok tulajdonságait és típusba sorolását (Fülek 2011). A bennük jellemzően lezajló talajképző folyamatok a következők: humuszosodás, kilúgozás, sófelhalmozódás. A szoloncsák talajok közé soroljuk azokat a talajokat, amelyeknek a felső szintjeire a vízben oldódó nátriumsók felhalmozódása jellemző. Szelvényük felépítése nem mutat erős tagolódást, a nátriummal telített kolloidok miatt a fizikai tulajdonságaik kedvezőtlenek, a kémhatásuk pedig erősen lúgos. A vízben oldódó sók mennyisége a feltalajban eléri a 0,3-0,5%-ot (Stefanovits et al. 1999). A szoloncsák-szolonyec talajok közé azokat a talajokat soroljuk, amelyekben megtalálhatóak a szoloncsák talajokra jellemző tulajdonságok, de megjelenik bennük a szolonyecsedés, az oszlopos szint kialakulásának jelei. A vízben oldható sók mennyisége, a sók minősége, a sók eloszlása, ugyanúgy, mint a szénsavasmész-tartalom, a szoloncsákéhoz hasonló. Ugyanakkor a szintekre való tagozódás már határozottan felismerhető, mert tömör, gyengén oszlopos, szolonyeces "B" szintjük is van. Ez az oszlopos szint általában a felszínhez közel helyezkedik el, és egyben a legnagyobb mértékű sófelhalmozódás helye is (Stefanovits et al. 1999). A réti szolonyec talajokra jellemző, hogy a vízben oldható sók maximuma a szelvény mélyebb részeire esik, így a szelvény felső részeiben nincs, vagy kevés a vízben oldódó só. A kicserélhető kationok között jelentős a nátrium mennyisége (15 S%-nál nagyobb). Jellemző rájuk az oszlopos szerkezetű, szolonyeces "B" szint (Stefanovits et al. 1999). A sztyeppesedő réti szolonyec talajokban a szikesedés mellett a sztyeppesedés is jelen van, azaz itt a talajvízszint süllyedése miatt a felső szintekben már nem érvényesül a víz

hatása. A talajvízszint általában 3 m-nél mélyebben van, és ennek megfelelően a szénsavas mész, a vaskiválások és a rozsdafoltok mélyebben találhatók (Stefanovits et al. 1999). A másodlagos elszikesedett talajokra jellemző, hogy az eredeti talajtípus (csernozjom, réti vagy öntéstalaj) tulajdonságai mellett a szikesedés is megfigyelhető. Ezek a talajok általában hibás öntézés következtében alakulnak ki, amikor a talajvíz szintje megemelkedik az öntözés hatására, vagy az öntöző víz sótartalma magas (Stefanovits et al. 1999).

A **réti talajok** keletkezésének oka a talaj nedvesedése. E folyamat következménye a sötétebb nyirkos talaj, élesen elkülönülő alsó rétegek és a túlzott szerves anyag felhalmozódást (Fuchs et al. 2019). Ehhez a típushoz tartoznak a szoloncsákos réti talajok, melyeket az említett nedvesedés és sók felhalmozódása hozott létre. A vízgazdálkodásuk szélsőséges. Tápanyaggazdálkodása szintén szélsőséges a túlzott nedvességtartalom miatt a könnyen felvehető nitrogén vegyületek termelése kis mértékű. A foszfátok felvetőséget a vasvegyületek csökkentik (Stefanovits et al. 1999). A szolonyeces réti talajok a réti talajok bélyegeit viselik, azonban e mellé társul a csekély mértékű szikesedések is. Felső szintjének a víz- és tápanyaggazdálkodása megfelelő, azonban ez nem jellemző az alsóbb szintekre, ami a növényzet megfelelő tápanyagellátását gátolja. A típusos réti talajok azok a talajok, amelyek szelvényében csak a réti talajok kialakulására jellemző folyamatok és az ezek következtében kialakult tulajdonságok találhatók meg. A túl sok nedvesség miatt a szervesanyagok a humuszos szinteknek szürkés fekete, fekete színt adnak. Az egyenletesen humuszos "A" szint alatt fokozatosan csökkenő "B" szint található, amely vékonyabb a csernozjom talajok "B" szintjénél. Az öntés réti talajokban az öntés és a réti talajok képződésének folyamatai egyaránt megtalálhatók. Megjelenik szerkezetében a rétegződés (öntés talajok), valamint a humuszosodás (réti talajok). Vízgazdálkodásuk kedvező, tápanyag-gazdálkodásuk szintén kedvező, de a kisebb szervesanyag tartalom, valamint a talajok lassú tavaszi felmelegedése miatt a nitrogénszolgáltató képességük gyenge. A lápos réti talajok esetében a láposodás és a rétiesedés egyaránt jelen van. E két képződési folyamat közös vonása, hogy időszakos, illetve állandó vízbőség hatására mennek végbe, ezért viszonylag gyakoriak ezek az átmeneti talajok. Vízgazdálkodását túlzott nedvességtartalom jellemzi, mely a tápanyaggazdálkodásra is hatással van (a nitrogén és a foszfor nagy része nehezen felvehető formában van jelen). A csernozjom-réti talajok azokon a réti területeken képződtek, amelyek hosszabb ideje mentesek már a felszíni-, illetve a talajvíz hatásától. Szervesanyaguk a csernozjomokéhoz hasonló, a réti hatásra utalnak azonban a mélyebb szintek rozsdafoltjai, valamint a mészfelhalmozódás réti

jellege. Vízháztartása és tápanyagtartalma jobb a réti talajokhoz képest (Stefanovits et al. 1999, Füleký 2011).

Az **öntés- és lejtőhordalék talajok** egy összevont főtípus. Az öntéstalajok az időszakonként megismétlődő áradások következtében, a visszamaradó üledéken alakultak ki. A lejtőhordalék talajok az erózió hatására elmozdult talajrészek másodlagos lerakódásának következtében jöttek létre. Az öntés- és lejtőhordalék talajokban tehát nincs szintekre tagolódás, az egyes rétegben megmutatkozó különbségek a lerakott hordalék tulajdonságaitól, nem pedig a talajképző folyamatok hatásától függenek. Tulajdonságaikat tehát a lejtők alján felgyűlt, vagy a folyó által lerakott anyagok határozzák meg (Füleký 2011). A nyers öntéstalajokat a folyók kiapadása, majd az újra feltöltődése hozta létre. Kiapadáskor a talaj kiszárad, területét befedi a növényzet, majd ez a sok szerves anyag újra víz alá kerül, mely egy újabb réteget képez a talajban. A folyamatos apadás és áradás miatt mélyreható változás nem tud végbemenni. Vízgazdálkodásuk általában kedvező, tápanyag-gazdálkodásuk közepes (Stefanovits et al. 1999). A humuszos öntéstalajok esetében a talajképződés első nyomai (elsősorban a humuszosodás) maradandó jellegűek. A humuszos réteg 20–40 cm vastag és szervesanyag-tartalma 1–2%. Vízgazdálkodásuk közepes, túlnedvesedés csak ritkán fordul elő. Tápanyag-gazdálkodásuk közepes, nitrogéntartalmuk a humusztartalomtól, míg foszfor- és káliumellátottságuk az üledék tulajdonságaitól és származási helyétől függ (Stefanovits et al. 1999). A lejtőhordalék talajok a közeli magasabb fekvésű területekről lehordott talaj és kőzetrészek felhalmozódása által alakultak ki. Mivel a lejtőhordalék talajok anyaga csak a közvetlen közelükből származhat, ezért tulajdonságaik a közeli magasabban fekvő területek talajtípusától és erodáltságának mértékétől függenek. Vízgazdálkodásuk általában jó, azonban ha a szállított anyagban sok a talajképző kőzet, úgy romlik a szerkezetük és így a vízgazdálkodásuk is. Tápanyag-gazdálkodásuk a leülepedett hordalék humusztartalmától függ (Stefanovits et al. 1999).

A **mocsári erdők talajainak** kialakulásában az állandó vízbőség és az erdők talajalakító hatása játszik szerepet. A vízbőség azonban erdei növénytakaró alatt nem okoz szervesanyag felhalmozódást, így a talajfejlődés iránya eltér a réti- és a láptalajokétól. A jellemző talajképző folyamatok a következők: humuszosodás, kilúgozás, glejesedés, savanyodás. Vízgazdálkodásukat vízfelesleg jellemzi. Általában korábbi ártereken alakulnak ki, így árvíz esetén időszakos vízborítás alá kerülhetnek. Tápanyag-gazdálkodásuk kedvezőtlen, kevés nitrogént tartalmaznak, a talaj szervesanyagának minősége szintén kedvezőtlen (Stefanovits et al. 1999).

4. Anyagok és módszerek

4.1. A vizsgált anyag

Kutatásunkban 5, tulajdonságaik alapján változatosan kiválasztott hazai talajszelvényből származó (lásd 4. ábra) mintákat vizsgáltunk (lásd 2. táblázat). A talajszelvények 2017 tavaszától 2019 tavaszáig tartó időszakban lettek feltárva. A feltárás gondos előkészületeket igényelt. A talajszelvények kiválasztása előtt részletesen tanulmányoztuk a területek talajtani, geológiai és domborzati viszonyait. Ehhez Magyarország kistájainak kataszterét (2010) és különböző térinformatikai szoftvereket használtunk fel. A talajszelvények pontos térbeli kijelölését, tájban való elhelyezését terepi bejárás, valamint azt megelőzően a területek tulajdonosával, gazdálkodójával történő egyeztetés előzte meg. A szelvények leírásához terepen meghatároztuk a Munsell-színskálának megfelelő nedves szín értékeket, a fizikai féleség megállapításához a gyúrópróbát végeztük el. A talajszelvényben leírtuk az egyes szinteket, morfológiai bélyegeket, hidromorf bélyegeket, valamint a köztük található átmenetet. A talajminták gyűjtését, majd szakszerű elhelyezését és tárolását követően laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk.



4. ábra: A feltárt talajszelvények helyszínei (saját szerkesztés)

2. táblázat: A vizsgált talajszelvények helyszíne és talajtípusa

	Szelvény helye	magyar talajosztályozás szerinti besorolás
1.	Csabdi	igen mély humuszos rétegű, közepesen humuszos, felszíntől karbonátos csernozjom réti talaj löszön (331)
2.	Józsefmajor (Hatvan)	mély humuszos rétegű, közepesen humuszos, nem karbonátos (meszezett) erdőmaradványos csernozjom talaj löszön (172)
3.	Orosháza	igen mély humuszos rétegű, közepesen humuszos típusos mészlepedékes csernozjom löszön (191)
4.	Recsk	mély humuszos rétegű, közepesen humuszos agyagbemosódásos pszeudoglejes barna erdőtalaj agyagos üledéken (122)
5.	Tótkomlós	igen mély humuszos rétegű, erősen humuszos mélyben sós réti csernozjom löszön (203)

4.2. Az alapvető tulajdonságok meghatározása céljából végzett laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumi vizsgálatokat Buzás I. (szerk.), 1988. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei, valamint Buzás I. (szerk.) 1993. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata könyvek alapján végeztük el.

A laboratóriumi alapvizsgálatokkal genetikai talajszintenként vett mintákból meghatározásra került az Arany-féle kötöttség, a CaCO_3 tartalom, a kémhatás: pH (H_2O), valamint az összes só% és a humusz % is. Meghatároztunk a T-értéket, S-értéket, S-T értéket, valamint az S érték százalékában kifejezve a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ mennyiségét is.

3.3. Nedves szítás mérés Ejkelkamp nedves szítás készülékkel

A talajok aggregátum stabilitási méréseinek alapja, hogy az aggregátumokat ismert nagyságú romboló erőnek vetjük alá, majd megmérjük a romboló hatás ellenére épen maradt aggregátumok mennyiségét. A makro-aggregátum stabilitás mérésére számos módszer található a szakirodalomban, ezek közül legelterjedtebbek a nedves-szítás eljárások (Kemper és Rosenau 1986; Hernádi et. al. 2017). Ennek oka, hogy mezőgazdasági termőterületek többségén a víz romboló hatása a legjelentősebb; az aggregátumok hirtelen, gyors vagy túlzott

mértékű nedvesedése jelentős mértékben szétiszapolhatja a talaj szerkezeti elemeit (Le Bissonnais 1996).

A nedves-szítás vizsgálat előnye, hogy azonos módszerrel előkészített, azonos mérési körülmények (szita lyukátmérője, mozgatás amplitudója, áztatás ideje) között mért minták esetén a mért aggregátum-stabilitási mutatók összehasonlíthatóak (Hernádi et. al. 2017). A nedves-szítás makro-aggregátum stabilitási vizsgálat azon tapasztalatot veszi alapul, hogy az aggregátumok kötőanyagainak bizonyos hányada vízben mobilizálható, ezért ezek a talaj nedvesedésével párhuzamosan kioldódnak (elveszítik stabilizáló szerepüket). Más, vízben nem oldható anyagok kötőereje a nedvesítés hatására szintén csökkenhet (Six et al. 2000).

A nedves-szítás mérések alapja, hogy ismert tömegű talajmintát folyamatos vízáramban vagy állandó mennyiségű vízben, eltérő (vagy csak egy meghatározott) lyukátmérőjű szitán vagy szitasorozaton átszítálunk, elkülönítve ezzel a különböző mérettartományba sorolható aggregátum frakciókat. A módszer előnye, hogy a mérésből nyert 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 mérésekhez Eijkelkamp nedves-szita készüléket használtunk (lásd 6. ábra). A készülék 8db szitát tartalmaz, 250 μm -es lukátmérővel. A 250 μm -es lukátmérő azért előnyös, mert ez a mikro- és makroaggregátum frakciók mérethatára.

A vizsgálatot 1-2 mm-es légszáraz állapotú talajmintákon végeztük. Az eredeti Eijkelkamp ajánlásoknak megfelelően minden esetben 4 g mintát mértünk be, majd ezeket maradék nélkül átvittük a szitákra. Az előnedvesítést az eredeti módszer ajánlástól eltérően korábbi mérési tapasztalatokra és irodalmi közlésekre alapozva dupla szűrőpapíron keresztül, kapilláris úton, lassan végeztük (lásd 5. ábra).



5. ábra: A minták előnedvesítése kapilláris úton (Fotó: Labancz V., 2021)

Ennek oka, hogy az aggregátumok az eredeti módszertani leírásban közölt direkt gyors nedvesítés során a bennük található levegő miatt, a nyomáskülönbség hatására szétrobbanhatnak. Így azok szétesése nem a közvetlen a szimulált vízhatásnak, hanem a hirtelen túl gyors nedvesítés hatására bekövetkező robbanásnak lenne köszönhető. Ezt küszöböli ki a lassú nedvesítés (Barna et al. 2017).

A mérések során az előnedvesített talajmintákat tartalmazó szitácskákat a készülékbe helyeztük, belemerítettük a készülék desztillált vizet tartalmazó edényeibe (minden szitácskához saját edény tartozik), majd a készülék bekapcsolás után 3 percig, percenként 34-szer, 1,3 cm-es emelési magassággal fel-le emelgette a szitákat a folyadékban (fnd). A 3 perc eltelte és rövid lecsepegési idő után a minták alatt kicseréltük az edénykéket. Az új edényekbe Na-pirofoszfát diszpergáló oldatot öntöttünk (koncentrációja: 2g/l), belemerítettük a mintákat tartalmazó szitácskákat, majd folytattuk a minták szétiszapolását az előzőekben ismertetettek szerint, ezúttal 8 percig (fd). Ez után a még diszpergálatlan talajaggregátumokat gumi-keverőbottal a szitán óvatosan átnyomkodtuk, majd a Na-pirofoszfátot tartalmazó edénybe mostuk. Így a diszpergálás után a szitákon már csak a 0,25 mm-nél nagyobb elemi szemcsék, illetve a különféle szerves maradványok maradtak. A méréseket minden esetben nyolc ismétlésben végeztük. Mind a desztillált vizet, mind pedig a diszpergáló oldatot tartalmazó gyűjtőedény tartalmát főzőpohárba mostuk át maradékmentesen, majd elektromos főzőlapon bepároltuk, 105 °C-on szárítószekrényben kiszárítottuk, majd megmértük a tömegüket. A

talajminták stabil makroaggregátumainak arányát (MaAS (%)) az alábbi egyenlet alapján számítottuk ki:

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

ahol: fnd a desztillált vizet tartalmazó edény (vízben nem stabil aggregátumok), fd pedig a diszpergáló oldatot tartalmazó edény (vízben stabil aggregátumok) bepárlási maradéka.



6.ábra: A makroaggregátum-stabilitás mérésére használt Eijkelkamp készülék

4.4. Lézer diffraktometriás szemcseméret analízis

A lézer diffraktometriás részecskeméret-elemzési módszert eredetileg az 1970-es években fejlesztették ki ipari célokra (élelmiszer- és gyógyszeripar), és a talajtudományban az 1980-as évekig nem alkalmazták (Özer et al. 2010). A lézer diffrakciós módszert ma már egyre szélesebb körben végzik a talajok mechanikai összetételének meghatározására (Ryzak és Bieganowski 2011, Yang et al. 2015). A lézer diffraktometriás szemcseanalízis elméleti alapja az, hogy a készülékben áramoltatott, megfelelő koncentrációjú talajszuszpenziót monokromatikus lézersugár világítja át és a részecskék által többféle szögben szórt fényt (részecskeméretétől függő fényszórást) egy multidetektor érzékeli (Bürkholz és Polke, 1984). A detektorok által rögzített fényszórási kép-adatokat a választott optikai modell segítségével transzformálják, a teljes térfogat részeit diszkrét számú méretosztályba sorolják, majd az eredményt térfogati részecskeméret-eloszlásként adják meg (De Boer et al. 1987, Allen 1990).

A módszer előnye a gyorsasága (kb. 3-10 perc/minta) és könnyű reprodukálhatósága mellett, hogy a mérési eredményt folytonos részecskeméret-eloszlási függvényként adja meg, így az eredmények könnyebben összevethetők különböző szemcseméret osztályozási rendszerek és mérési módszerek mechanikai összetétel adataival (pl. ülepitéses módszerek eredményeivel) (Makó et al. 2017). Ugyancsak a mérési módszer előnyös tulajdonsága, hogy viszonylag kis mintamennyiséget igényel (néhány 0,3-0,5 g), hátránya lehet ugyan ebből adódóan az, hogy a kis bemért mintamennyiségek miatt felmerülhet a vizsgált minták reprezentativitásának kérdése (Miller és Schaetzel 2012). Minden esetben törekedni kell a minták lehető legjobb homogenizálására, valamint az ismétlések mintaanyagának reprezentatív kivételére.

A lézerdiffraktometriás szemcseanalízis vizsgálatokat Malvern Mastersizer 3000 készülékkel végeztük, Hydro LV előkészítőegységgel kiegészítve (lásd 7. ábra). A készülék mérési tartománya 10 nm és 3500 μm között van. Keverési sebesség 2750 rpm volt. Az ultrahang teljesítménye 40W maximum (frekvencia: 40kHz (névleges)), mely 100% teljesítménnyel üzemelt, az ultrahangozás időtartama 240 sec volt. Az előkészítő egység térfogata 600 cm^3 , a mérések során a tartály a „levelsensor” beállítása alapján 100%-os térfogat kihasználással működött. A fénygyengítési mutató a mérések során ezen készülék esetében (Mastersizer 3000) 5-20% között mozgott a beállítási javaslatoknak megfelelően. A Mastersizer 3000 készülékkel végzett mérések esetén a vizsgált mintákhoz diszpergálószerként 8 cm^3 , az előkészítő egységbe további 25 cm^3 Calgon-oldatot (nátrium-hexametafoszfát, nátrium-karbonát oldat) adagoltunk. Minden mérés 5 percig 5 record felvételével, 3 új bemérésből származó ismétlésben zajlott. A mérések során légszáraz, nem előnedvesített talajmintákkal dolgoztunk. A vizsgálatot mind a három mintatípuson (kontroll, nedves szitálásból származó két frakció: nem diszpergált, diszpergált) elvégeztük.



7. ábra: Lézerdiffraktometriás szemcseanalizátor, MalvernMastersizer 3000, Hydro LV előkészítőegység (ELKH ATK TAKI) (Foto: Labancz V., 2021)

4.5. Szén-nitrogén-kén analizátor (CNS)

A talajminták szén és nitrogén-tartalmának meghatározása Elementar varioMAX CNS elemanalizátor segítségével történt. A mennyiségi analízis alapja a minta magas hőmérsékletű feltárása 800°C-1200°C közötti választható hőmérsékleten. A gáz halmazállapotú reakciótermékek keverékét a készülék komponenseire választja szét (tisztítást követően), majd ezután egy TCD (hővezetőképesség) detektorral méri.

A detektor mérőjele alapján, a bemérési tömeg és a kalibrációs görbe segítségével megtörténik a százalékos elemtartalom értékek sorozatának kiszámítása és rögzítése (varioMACRO, [http 2](#)).

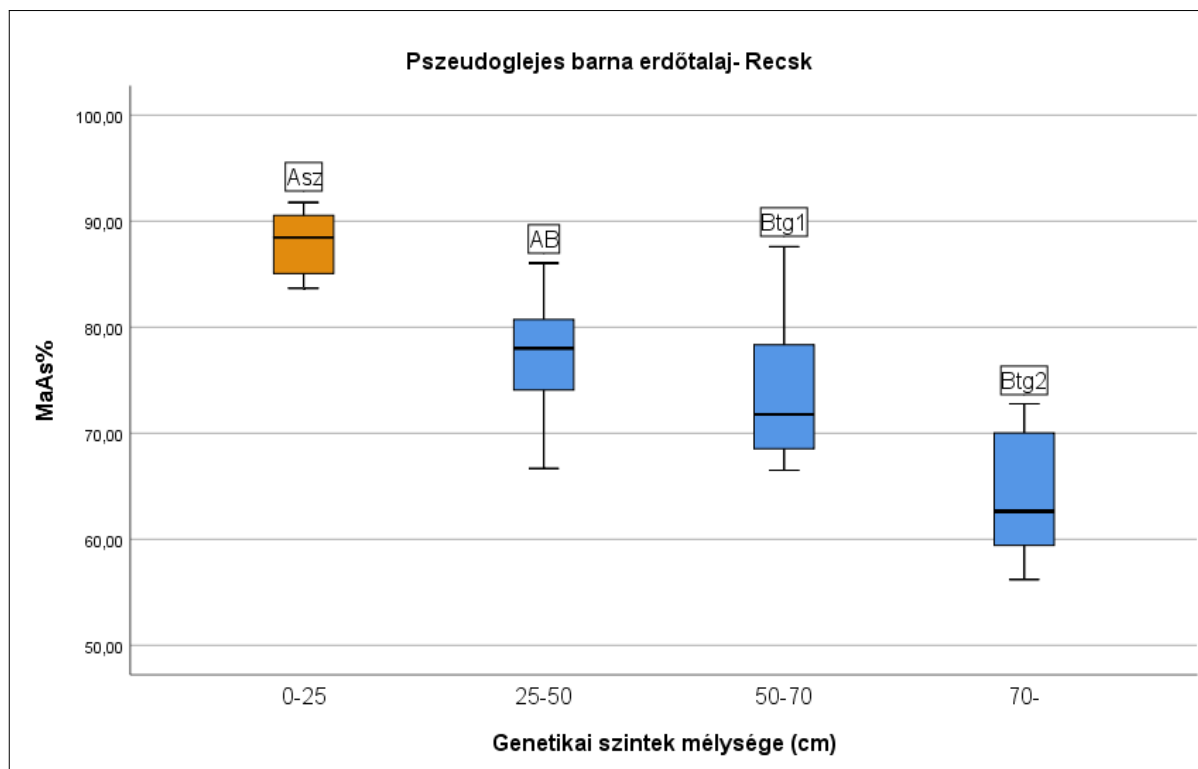
A mintákból 60-90 mg-ot mértünk be egy kerámiatégelybe, wolfram-oxid katalizátort adtunk hozzá, így került a kemencébe, ahol 1140 °C-on történt az égetés.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. Makroaggregátum-stabilitás eredmények

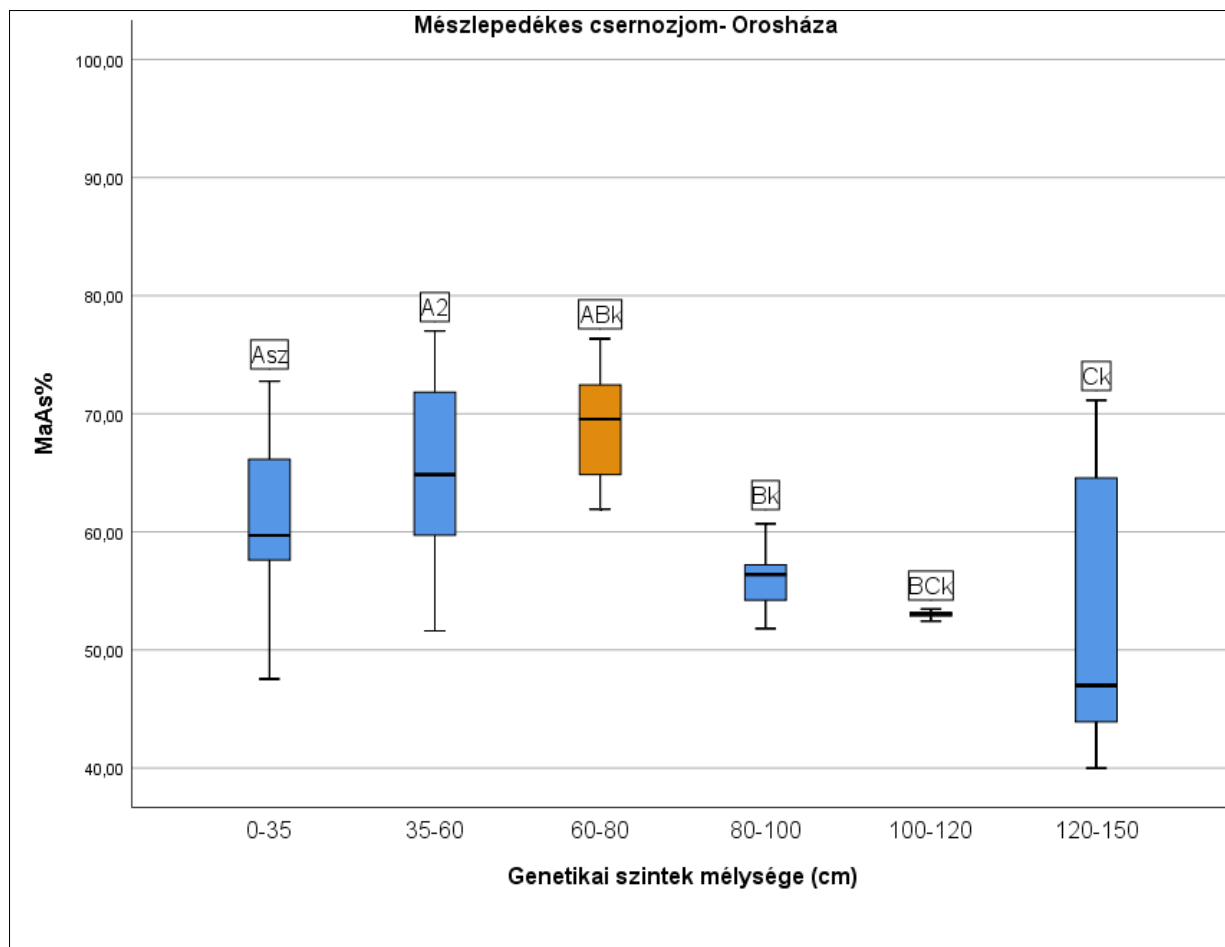
Általánosságban elmondható, hogy a makroaggregátumok stabilitásának szelvénybeli alakulása jelentősen függött az egyes talajtípusok jellemző tulajdonságaitól. A szervesanyag stabilizáló hatása mellett a karbonát- és vastartalom, valamint a jelenlévő anyagok együttes hatása játszott jelentős szerepet a makroaggregátumok stabilitásának kialakításában. Ugyanígy szerepe volt a magasabb makroaggregátum stabilitás kialakításában az időszakos vízhatásnak, valamint a feldúsult agyagtartalomnak 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.

A vizsgált **erdőtalaj** esetében elmondható, hogy a makroaggregátum stabilitás a mélységgel fokozatosan csökken és mindenhol meghaladja a 60%-os értéket (lásd 8. ábra). A felszíni szint, noha művelés alatt áll, vagy állt korábban, mégis magas stabilitási értéket mutatott (MaAs%: 90,96%).



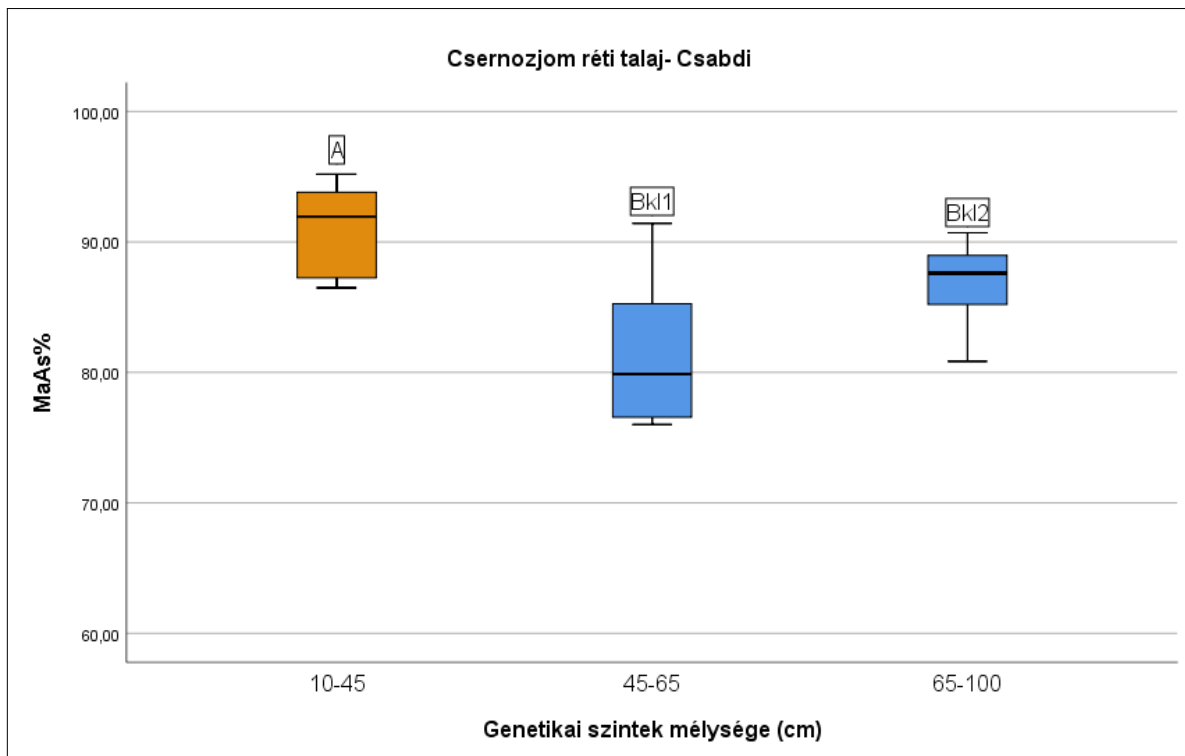
8. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a talaszint mélységének függvényében pszeudoglejes barna erdőtalaj esetében (Recsk)

A két vizsgált **csernozjom (mezőszépi) talaj** közül általánosan magasabb stabilitása volt az erdőmaradványos csernozjomnak (Józsefmajor). 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 aggregátum-romboló hatása is. Míg a felső szántott szintek makroaggregátum-stabilitása alacsonyabb, addig a szántott szint alatti humuszos "A" szintek stabilitása általában magasabb volt. Érdekes, hogy a vizsgált mészlepedékes csernozjom talaj (Orosháza) esetében a legmagasabb stabilitása az átmeneti "ABk" szintnél volt tapasztalható (lásd 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.



9. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a talaszint mélységének függvényében mészlepedéskes csernozjom talaj esetében (Orosháza)

A vizsgált **réti talaj** 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 (lásd 10. 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.



10. ábra: A makroaggregátum-stabilitás alakulása a talaszint mélységének függvényében csernozjom réti talaj esetében (Csabdi)

Korrelációs vizsgálatot végeztünk az 5 vizsgált talaj esetén (lásd 3. táblázat), a makroaggregátum stabilitás és az azokat befolyásoló $\text{CaCO}_3\%$, valamint a humusz-tartalom között. Az eredmények alapján elmondható, hogy a vizsgált talajok esetében a humuszanyagok szignifikáns egyenes arányú közepes korrelációs kapcsolatot mutatnak a makroaggregátum stabilitással. A makroaggregátum stabilitás és a kalcium karbonát ellentétes irányú közepes korrelációs kapcsolata utalhat arra, hogy a szelvényekben a kalcium-karbonát tartalom fentről lefelé fokozatosan növekedett, míg a humuszanyagok mennyisége csökkent, így ahol kevesebb volt a kalcium-karbonát ott a humuszanyag volt jelen (ami stabilizáló szerepet töltött be). Ezen magyarázatot kellően alátámasztják a kalcium-karbonát oldaláról a makroaggregátum stabilitási értékek szelvénybeli lefutásai is (kivétel lehet ezen magyarázat alól a mészlepedékes csernozjom talaj "ABk" szintje).

3. táblázat: Makroaggregátum-stabilitás a mész-, valamint a humusztartalom függvényében

		MaAs%	CaCO ₃ %	H%
MaAs	PearsonCorrelation	1	-,632**	,404**
	Sig. (2-tailed)		,001	,056
	N	23	23	23
CaCO ₃ %	PearsonCorrelation	-,632**	1	-,259
	Sig. (2-tailed)	,001		,232
	N	23	23	23
H%	PearsonCorrelation	,404	-,259	1
	Sig. (2-tailed)	,056	,232	
	N	23	23	23

** . A korreláció 0,01-es szinten szignifikáns (2-t)

5.2. A lézerdiffraktometriás mérések eredményei

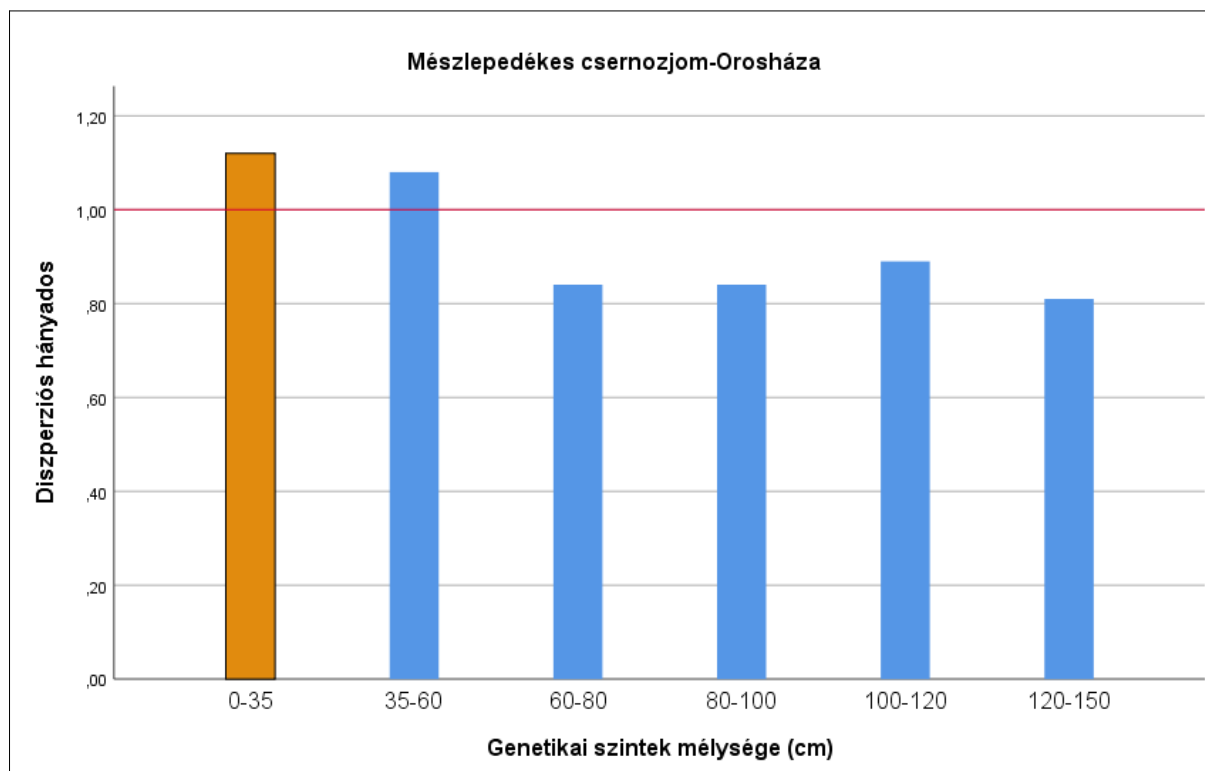
A lézerdiffraktometriás mérések során meghatároztuk a nedves-szítálás során két részre különített vízben nem stabil- és stabil makroaggregátumok szemcseméret eloszlását. Ezután, leválogattuk a két vizsgált frakció agyagtartalmát. A lézerdiffraktometriás vizsgálatok eredményét megelőző vizsgálati tapasztalatokra támaszkodva és irodalmi hivatkozásokat alapul véve a leválogatott mérési eredmények esetében, a beállított agyagtartalom felső határa 7 µm volt (Makó et al. 2019).

A mért agyagtartalmak közül legmagasabbnak a pszeudoglejes barna erdőtalaj (Recsk) felhalmozódási szintjei bizonyultak. Ezt követte a vizsgált réti csernozjom felszíni humoszos szintje, legalacsonyabb agyagtartalma alapvetően az erdőmaradványos csernozjom talajnak volt. Ezek az eredmények leginkább a talajképző közettől, valamint a talajképző folyamatoktól függtek.

A nedves-szítálás során kapott vízben stabil- és nem stabil makroaggregátum frakciók eredményeinek értékeléséhez az agyag-tartalmakat egymással elosztva (mintánként a nem diszpergált és diszpergált frakciók agyagtartalmát) ún. diszperziós hányadost képeztünk. A diszperziós hányados 1-nél nagyobb értéke azt jelenti, hogy magasabb a vízben nem stabil frakció agyagtartalma a stabil frakcióhoz képest. Az 1-nél kisebb diszperziós hányados ennek ellenkezőjét, azt jelenti, hogy a stabil frakció agyagtartalma több, a nem stabiléhoz képest.

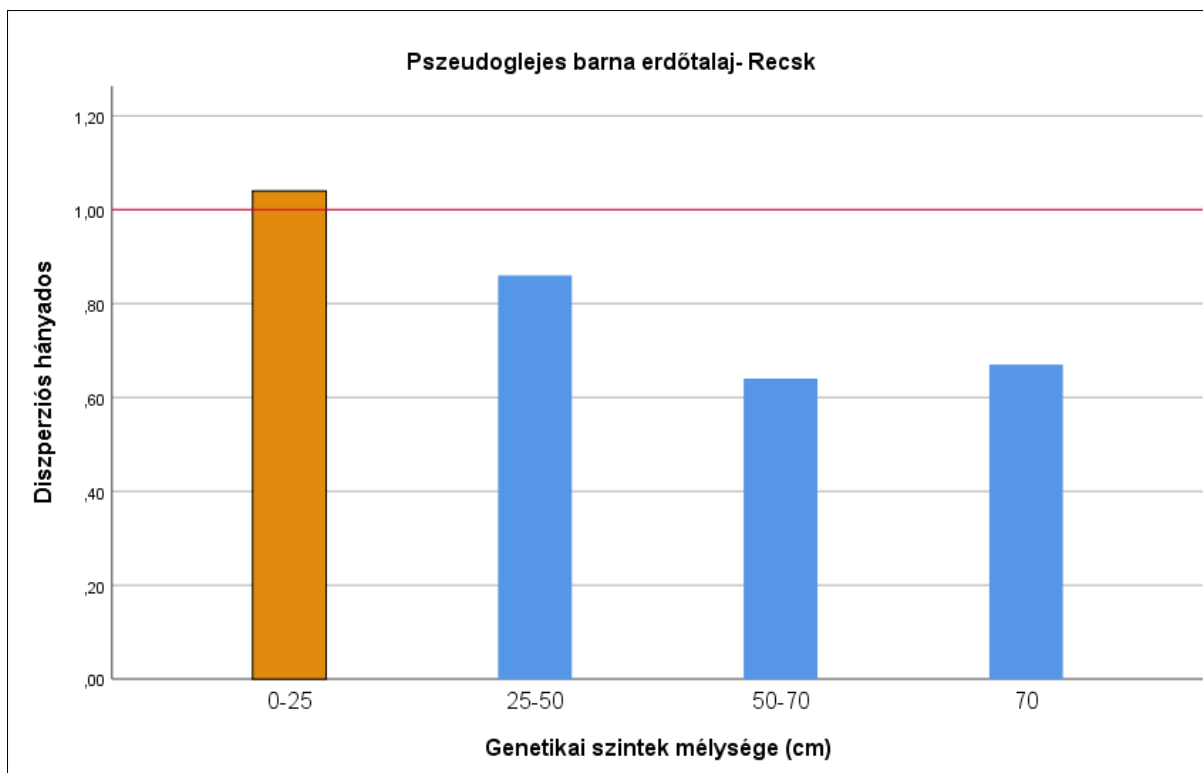
$$\text{Diszperziós hányados} = \frac{\text{MaAs vízben nem stabil agyag \%}}{\text{MaAs vízben stabil agyag \%}}$$

Talajtípusonként értékelve megállapítható, hogy **csernozjom talajok** profiljai fentről lefelé csökkenő diszperziós hányadossal jellemezhetők (lásd példa: 11. ábra). Ez úgy értelmezhető, hogy fentről lefelé haladva a stabil aggregátumokban megnő az agyagtartalom, következésképpen a makroaggregátumok stabilizálást a mélyebb szintekben az agyagásványok veszik át.



11. ábra: Mészlepedékes csernozjom talaj diszperziós hányadosa a genetikai szintek függvényében (Orosháza)

A vizsgált pszeudoglejes **barnaerdőtalaj** esetében a kalkulált diszperziós hányados értéke hasonló lefutást mutat a csernozjomokhoz. Fentről lefelé a szervesanyag csökkenésével csökkenés tapasztalható a diszperziós hányados értékében (lásd 12. ábra).



12. ábra: Pszudoglejes barna erdőtalaj talaj diszperziós hányadosa a genetikai szintek függvényében (Recsk)

A vizsgált **réti talaj** esetében ingadozást mutatott a diszperziós hányados értéke. A felszíni szintek diszperziós hányados értéke magasabb volt eleinte, majd a felszíni szint alatt csökkent és a mélyebb talajvízzel időszakosan átjárt talajképző kőzet irányába ismét megnőtt az értéke. Vélhetően ezen talajok esetében a stabilizáló szerepet (a makroaggregátumok stabilizálását) nem csak a szervesanyag, vagy az agyagásványok (nem elsősorban), hanem valamilyen más alkotó jelenléte is betölti, melyek akár a vas vagy az időszakos vízborítás eredményéből létrejövő anyagok lehetnek. Ezt az elképzelést támasztja alá, hogy a réti talajok esetében nem csak a felszíni szintek diszperziós hányados értéke magas, hanem vízzel időszakosan borított talajképző kőzetben is megnő ezen hányados értéke. Ugyanígy a diszperziós hányados alakulása és a stabil makroaggregátumok aránya sem mutatott korrleációs összefüggést egymással, mely alátámasztja azt a feltevést, hogy agyagtartalom helyett más alkotó, vagy más folyamat stabilizálja a makroaggregátumokat.

5.3. CN eredmények

A vizsgálatok másik részeként meghatározásra került a nedves szitálással különválasztott (vízben nem stabil és stabil) frakciók szén-nitrogén analízise is. A C/N arány nagyban függ a talaj szervesanyag készletétől. Alacsonyabb C/N arány esetében a mineralizáció, magasabb

arány estében a biológia fixálása kerül előtérbe. Minél nagyobb a C/N arány annál kevesebb nitrogén áll rendelkezésre, mely akár limitálja a baktériumok által történő humuszanyag lebontást is. A kisebb méretű, több nitrogént tartalmazó fulvosav karakterisztikájú humuszanyag könnyebben bontható a baktériumok számára (C/N aránya alacsonyabb). A nagyobb méretű, több aromás csoportot tartalmazó huminsavak C/N aránya általában magasabb. Természetesen a C/N arányt befolyásolják egyéb talajparaméterek is: pl. nátrium kation túlsúlya esetén a C/N arány jelentősen megnőhet (nátrium-humátok képződnek), itt a lebontó szervezetek a szélsőséges pH viszonyok miatt nem használják fel a nitrogént. Ugyancsak hatással van a C/N arányra (csökkenti) a talajművelés is. Ugyanígy szelvénybeli eloszlása is általánosan fentről lefelé csökkenést mutat (Stevenson 1982).

Az eredmények összesítése alapján általánosan megállapítható, hogy a csernozjom és réti talajok nem művelt humuszos szintjei (C/N 40-30), majd a művelt mészlepedékes csernozjom talaj felszíni humuszos szintjei (C/N 15-10), alacsonyabb aránnyal (C/N 9-5) rendelkezik a pszeudoglejes barna erdőtalaj felszíni humuszos szintje.

A szervesanyag stabilizáló szerepének meghatározása érdekében a vízben nem stabil, illetve stabil (nedves szitálás során ketté választott) frakciók CN analízis során eredményül kapott C %-ból (a vizsgált minta százalékos széntartalma, mely a szerves és szervetlen szén is egyaránt tartalmazza) levontuk a CaCO₃ vizsgálat során kapott szervetlen szén (IC %-inorganiccarbon) mennyiségét. Ezzel a lépéssel meghatároztuk a szerves szén mennyiségét (OC %- organiccarbon). Majd ezt követően alkalmazva a Van Bemmelen-féle konverziós számítást, a kapott OC értékeket megszoroztuk 1,72-vel (Van Bemmelen 1891/ idézi Read és Ridgell 1922) és megkaptuk a szervesanyag-tartalmukat (OM%). Ezután a nedves szitálás során különválasztott vízben nem stabil és stabil frakciók ilyen módon kiszámolt szervesanyag-tartalmát elosztottuk úgy, hogy hányados képezzünk a két frakció eredményéből (lásd egyenlet).

$$OM \text{ megoszlás } (MaAs) = \frac{\text{vízben nem stabil frakció OM \%}}{\text{vízben stabil frakció OM \%}}$$

Ahol az szervesanyag megoszlás hányadosa 1 felett van, az azt jelenti, hogy a vízben nem stabil aggregátum frakcióban magasabb a szervesanyag mennyisége a vízben stabillal szemben. Ahol a hányados értéke 1 alatt van az azt jelenti, hogy a vízben stabil aggregátumokban magasabb (tehát a stabil aggregátum frakcióban) a szervesanyag mennyisége.

Az eredmények alapján elmondható, hogy legmagasabb szervesanyag-tartalma a csernozjom réti talaj (Csabdi) felszíni humuszos "A" szintjének vízben stabil aggregátum frakciójának volt (5,17%), ugyancsak magas szervesanyag tartalma volt ezen talaj esetében a vízben nem stabil frakciónak is (4,91%). Általánosságban magasabb szervesanyag tartalma volt még a réti csernozjom talaj (Tótkomlós) és az erdőmaradványos csernozjom (Józsefmajor) felszíni szintjeinek is. Legalacsonyabb szervesanyag tartalom általánosan a vizsgált pszeudoglejes barna erdőtalaj (Recsk) esetében volt tapasztalható (<1%).

A szervesanyag hányadosok alakulása szempontjából elmondható, hogy talajtípusonként eltérő eredményeket tapasztaltunk. Míg a vizsgált pszeudoglejes barna erdőtalaj esetében (Recsk) ez az arányszám 1 felett volt minden szintben (tehát a vízben nem stabil aggregátumok szervesanyag tartalma volt magasabb), addig az erdőmaradványos csernozjom esetén a művelt felszíni "A" szintet leszámítva ez az érték mindenütt 1 alatt volt. A művelés alatt álló mészlepedékes csernozjom (Tótkomlós) esetében is megfigyeltük, hogy a felszíni szántott szintek szervesanyag hányados értéke 1 felett volt, míg a nem művelt szinteké 1 alatt.

Korrelációs vizsgálatot is végeztünk a vizsgált különböző talaj típusok esetén: szignifikáns, ellentétes irányú magas korrelációs kapcsolatot (Pearson-féle korreláció -0,852) tártunk fel csernozjom réti talaj (Csabdi) esetében a makroaggregátum stabilitás és a szervesanyag hányados között. Ugyancsak ellentétes irányú, szignifikáns, de gyenge korrelációs kapcsolat (Pearson-féle korreláció -0,327) volt a réti csernozjom talaj (Tótkomlós), valamint a pszeudoglejes barna erdőtalaj (Pearson-féle korreláció: -0,240; Recsk) esetében is a makroaggregátum stabilitás és a szervesanyag hányados között. Ez arra utal, hogy a stabilizálást valószínűleg nem a szervesanyag végzi ezen talajok makroaggregátumai esetében, hanem valamilyen más komponens, nagyvalószínűséggel az agyagásávnnyok. Szignifikáns egyenes arányú magas korreláció (Pearson-féle korreláció 0,766) egyetlen esetben, a vizsgált mészlepedékes csernozjom talaj (Orosháza) esetében mutatkozott. Itt feltehetően a szervesanyag tölt be jelentős makroaggregátum stabilizáló szerepet.

5.4. Következtetések és javaslatok

Az eredmények értékelése alapján elmondható, hogy a vizsgált talajok makroaggregátum stabilitása (MaAs%) sokkal inkább függött az egyedi talajtulajdonságtól, mintsem a szakirodalmakban megfogalmazott általános törvényszerűségektől. Általános vélekedés szerint ugyanis a makroaggregátumok stabilitásáért elsősorban a talaj szervesanyaga felelős. A szervesanyag azonban gyengébb stabilitást ad a szervesetlen komponensekkel szemben, éppen

ezért a makroaggrátumok könnyebben sérülnek, ha a víz romboló hatása éri őket. A nedves-szítalással szétválasztott, vízben nem stabil és stabil frakciókban éppen ezért a szervesanyag mennyisége és minősége várhatóan elkülönül egymástól, hasonlóképpen az agyagtartalomhoz (a stabil frakció várhatóan magasabb agyag-tartalommal bír).

Azonban vizsgálataink alapján feltételezhető az is, hogy a stabilitás kialakulás összetett folyamat révén nem jellemezhető kizárólag a szervesanyag mennyiségével, hanem a talaj szilárd fázisának bizonyos komponensei, valamint a talajban lejátszódó folyamatok együttes hatása felel érte. A feltárt és vizsgált talajtípusok alapján valószínűsíthető, hogy a stabilitást kialakító anyagok a humuszanyagok (összetétel szerint eltérően stabilizálnak), a kalcium-karbonát, valamint egy adott talajtípusban lejátszódófolyamatok (pl. hidromorf hatások) is befolyásolják a makroaggregátumok stabilitását. További vizsgálatot igényel alátámasztása, de valószínűsíthető az agyagásványok minősége, a vas stabilitásra gyakorolt hatása is, azonban ezek sem feltétlen az irodalomban általánosan leírt módon fejtik ki hatásukat.

Vizsgálataink során a feltárt C/N arányok és a szervesanyagtartalmak alakulása az egyes makroaggregátum frakciók (vízben nem stabil és stabil) esetében rávilágítanak arra, hogy a szervesanyag összetétele és a talajok makroaggregátum stabilitása közötti kapcsolatot ugyancsak az egyes talajtulajdonságok függvényében célszerű értékelni.

A makroaggregátumok képződésének és stabilizáló komponenseinek feltárása céljából fontos előrelépés lehet a talajok makroaggregátum stabilitásának talajtípusonként történtő értékelése. Ugyancsak fontos lehet a jövőben tanulmányozni azonos talajtípuson belül a művelés makroaggregátumokat átalakító hatását is (összetétel, stabilitás).

6. Összefoglalás

A talajok aggregátum stabilitása a különböző degradációs hatásokkal (például a defláció vagy a víz eróziós tevékenysége, továbbá a talajművelés mechanikairomboló hatása stb.) szembeni ellenállás mértékét fejezi ki az idő függvényében. Éppenemiat az egyik legszemléletesebb és legfontosabb talajfizikai tulajdonságot leíró paraméter. Mivel az aggregátumok összetett fizikai, kémiai, és biológiai aggregációs és fragmentációs folyamatok eredményeképpen képződhetnek, mely folyamatokat egyéb (pl. agrotechnikai) tényezők is befolyásolhatnak, így stabilitásuk is ezen folyamatoktól függően alakul ki. Emiatt fontos, hogy stabilitásukat ne kizárólag egy-egy kiragadott talajtulajdonság, hanem komplex folyamatok eredményeképpen értékeljük és értelmezzük.

Vizsgálatunkban 5 hazai, változatos tulajdonságok alapján kiválasztott talajszelvény genetikai szintjeiből származó talajminta makroaggregátum-stabilitását, agyagtartalmát, CN összetételét és szervesanyagtartalmát vizsgáltuk. Az eredmények egyértelműen rávilágítottak arra, hogy a makroaggregátum stabilitás alakulása az egyes talajtípusoknál eltérő tendenciát mutat és némely esetben nem hozható egyértelműen összefüggésbe a talaj szervesanyagával, vagy agyagtartalmával sem. Valószínűsíthető, hogy az egyes talajtulajdonságok és a talajban lejátszódó folyamatok együttesen határozzák meg a talajok makroaggregátum stabilitását. Az eredmények összesítése alapján szembeötlő különbség mutatkozott az eltérő talajtípusok stabil és nem stabil makroaggregátumainak szervesanyag- és agyagtartalmában, valamint azok arányainak szelvénybeli lefutásában is.

Fontos jövőbeli feladat lehetne az egyes talajtípusok makroaggregátum stabilitásának tanulmányozása és a különböző kötőanyagok és formáló folyamatok közötti kapcsolatok számszerűsítése is.

7. Irodalomjegyzék

- Allen, T. A., (1990): Particle size measurement. 4thed., Chapman and Hall. London
- Amazketa, E. (1999): Soil aggregate stability: a review Journal of Sustainable Agriculture, 14(2-3): 83-151.
- 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.
- Ballenegger Róbert (1933): Népszerű Természettudományi Könyvtár: A termőföld hibái, Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 192p.
- 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.
- Bürkholz, A. és Polke, R., 1984. Laser Diffraction Spectrometers/Experience in Particle Size Analysis, Part. Charact, 1(1-4): 153–160.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A. és Imeson, A. C. (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.
- Buzás I. (szerk.) (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2, A talajok fizikaikémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 243p.
- Buzás I. (szerk.) (1993) Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1, A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata 357 p.
- 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.
- Chenu, C. (2000): Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability, Soil Science of America Journal, 64(4): 1479-1486p.
- De Boer, G. B. J., de Weerd, C., Thoenes, D. & Goossens, H. W. J., (1987): Laser diffraction spectrometry: Fraunhofer Diffraction versus Mie Scattering. Partical and Part. Syst. Charact. 4(1-4): 14–19.
- Demeter I. (2020): Az ökológiai és konvencionális gazdálkodás hatása a nyírségi homoktalajok szervesanyagának mennyiségi- és minőségi, valamint a talaj mikrobiális tulajdonságaira, Ph.D értekezés, SZIE, Gödöllő, 180p.
- Dunai A. (2017): Az ásványi fázis hatása a talaj szervesszén forgalmára, Ph.D értekezés, Pannon Egyetem, Keszthely, 195p.
- Dunai A. és Tóth Z. (2015): Szerves- és műtrágyázás tartamhatása a talajaggregátumok stabilitására agyagbemosódásos barna erdőtalajon, Közlöny, 64(1): 29-52.
- Dvoracek, M., (1952): Adatok a talajszerkezet vízállóságának fiziko-kémiai alapjaihoz. In: Agrokémiai Kutató Intézet 1950-es évkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 141–158p.
- Filep Gy.(1988): Talajkémia, Akadémiai Kiadó, Budapest, 292p.
- Fuchs M., Szegi T., Csorba Á. és Michéli E., (2019): A szervesanyag vonatkozó osztályozási információk a hazai genetikai talajosztályozási rendszer útmutatóiban. Agrokémia és Talajtan. 68. (1). 193-214.
- Fülek Gy. (2011): Talajvédelem, talajtan, Pannon Egyetem - Környezetmérnöki intézet, Veszprém, 277p.

- 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.
- Huisz A. (2007): A talaj aggregátum-stabilitása az egységes aggregátum-stabilitási mutató tükrében, *Agrártudományi Közlemények*, 26: 83-99.
- Huisz A. (2012): A talajszerkezet és szervesanyag-megoszlás változásainak jellemzése új módszerekkel művelési tartamkísérletben, Ph.D értekezés, DE, Debrecen, 235p.
- Jastrow, J. D. (1996): Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter, *Soil Biol. Biochem.* 28(4-5): 665-676.
- 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 Roseanu, 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.
- Kovács K. É. (2010): Dél-kelet alföldi termálvizekből kinyert humuszanyagok jellemzése, Ph.D értekezés, SZTE, Szeged, 135p.
- Labancz V., Barna Gy., Szegi T., Makó A. (2021): A talajok aggregátum-stabilitásának vizsgálati lehetőségei, I. Makroaggregátum-stabilitás, 70(1): 87-109.
- 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.
- Makó, A., Szabó, B., Rajkai K., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Labancz, V., Hernádi, H., és Barna, Gy., (2019): Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulting from laser diffraction method. *International Agrophysics* 33: 445-454.
- Makó, A., Varga, T., Hernádi, H., Labancz, V. és Barna, GY. (2017): Talajminták lézeres szemcseanalízisének módszertani tapasztalatai. *Agrokem Talajtan.* 66(1): 223–250.
- Marshall, T. J. és Holmes, J. W. (1979): *Soil Physics*, Cambridge University, Cambridge, 345p
- Michéli E. (2011): *Talajvédelem*, Szent István Egyetem, 95p
- Miller, B. A. és Schaetzl, R. J. (2012): Precision of soil particle size analysis using laser diffractometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76(5): 1719–1727.
- Németh Tamás (1996): *Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma*, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest, 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, SZTE, Szeged, 126p
- Oades, J. M. és Waters, A. G. (1991): Aggregate hierarchy in soils, *Australian Journal of Soil Research*, 29(6): 815-828.
- Özer, M., Orhan, M. és Isik, N. S. (2010): Effect of particle optical properties on size distribution of soils obtained by laser diffraction. *Environ. Eng. Geosci.* 16(2): 163–173.

- Peng, X.H., Horn, R. és Hallett, P. (2015): Soil structure and its functions in ecosystems: phase matter & scale matter. *Soil Till. Res.* 146(Part A): 1–3.
- Perfect E. A. és Kay B. D. (1991): Fractal theory applied to soil aggregation. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 55(6): 1552–1558.
- Puget, P., Chenu, C. és Balesdent, J. (1995): Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science*, 46(3): 449-459.
- Read, J. W. and Ridgell, R. H. (1922): On the use of the conventional carbon factor in estimating soil organic matter. *Soil Sci.* 13(1): 1–6.
- Ryżak, M. és Bieganski, A. (2011): Methodological aspects of determining soil particle-size distribution using the laser diffraction method. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174(4): 624–633.
- 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.
- Shanmuganathan RT Oades JM. (1983): Modification of soil physical properties by addition of calcium compounds. *Soil Research* 21(3): 285-300.
- 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.
- Stefanovits P., Filep Gy., Fülek Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 470 p.
- Stevenson, F. J. (1982): *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*; Wiley, New York
- Sullivan, L.A. (1990): Soil organic matter, air encapsulation and water-stable aggregation. *J. Soil Sci.* 41(3): 529–534.
- Szabolcs I. szerk, Darab K., Fórizs J.-né, Földváry Gy. – Jassó F. – Várallyay Gy. (1966): A genetikus üzemi talajterképezés módszerkönyve. Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet (OMMI), Budapest. pp. 128-131.
- Szabolcs I. (szerk.) – Darab K. – Fórizs J.-né – Földvári GY. – Jassó F. - Várallyay Gy. (1966): A genetikus üzemi talajterképezés módszerkönyve. Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet (OMMI), Budapest. pp. 128-131.
- 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.
- Totsche, K.U., Amelung, W., Gerzabek, M.H., Guggenberger, G., Klumpp, E., Knief, C., Lehdorff, E., Mikutta, R., Peth, S., Prechtel, A., Ray, N. & Kögel-Knabner, 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.

Yang, X., Zhang, Q., Li, X., Jia, X., Wei, X. és Shao, M. (2015): Determination of Soil Texture by Laser Diffraction Method. Soil Sci. Soc. Am. J. 79 (6): 1556–1566.

Zacháry D. (2019): Az ásványi fázis hatása a talaj szervesszén forgalmára, Ph.D értekezés, ELTE, Budapest, 155p

Internetes források:

Hernádi H., Barna Gy., Makó A. (2017): Agrárágazat: Talajszerkezet és aggregátumstabilitás (2017. május)

<https://agraragazat.hu/hir/talajszerkezet-es-aggregatum-stabilitas/>

http 2: vario MACRO: elementar Analysensysteme Gmbh: <https://adoc.pub/a-makro-analيزis-univerzalis-formaja.html>

Ábrajegyzék:

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

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a konzulenseimnek Labancz Viktóriának és Dr. Szegi Tamás Andrásnak akik segítettek a mérések elvégzésében, valamint jelen dolgozat megírásában, munkám során nagyon sok támogatást és biztatást kaptam tőlük.

Valamint ezúton szeretném megköszönni Gergely Ildikónak a laboratóriumi mérések alkalmával nyújtott segítségét.

Köszönettel tartozom továbbá Sebők Andrásnak a CNS mérések során nyújtott segítségéért.

9. Mellékletek:

TALAJOK SZERVESANYAGÁNAK MENNYISÉGI ÉS MINŐSÉGI, TOVÁBBÁ MAKROAGGREGÁTUM-STABILITÁS VIZSGÁLATA ELTÉRŐ TALAJTÍPUS ESETÉN

Quantitative and qualitative analysis of soil organic matter and investigation of
macroaggregate stability in case of different soil types

Készítette: **KERTÉSZ-KOLLÁR MÁRTA**, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Környezettudományi Intézet, Gödöllő, Környezetmérnök BSc, 7. félév

Témavezetők: **Dr. Szegi Tamás András**, egyetemi docens, Magyar Agrár és Élettudományi
Egyetem, Környezettudományi Intézet, Talajtani és Agrokémiai Tanszék, Gödöllő

Labancz Viktória, egyetemi tanársegéd, Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem, Környezettudományi Intézet, Talajtani és Agrokémiai Tanszék, Gödöllő

Talajainak túlnyomórészt változatos méretű, alakú, és szerveződésű szerkezeti elemekből, aggregátumokból állnak, melyek jellemezhetők méretükkel, morfológiájukkal, valamint stabilitásukkal is. A talajok aggregátum stabilitása a különböző degradációs hatásokkal (például a defláció vagy a víz eróziós tevékenysége, továbbá a talajművelés mechanikai romboló hatása stb.) szembeni ellenállás mértékét fejezi ki az idő függvényében. Éppen emiatt az egyik legszemléletesebb és legfontosabb talajfizikai tulajdonságot leíró paraméter. Mivel az aggregátumok összetett fizikai, kémiai, és biológiai aggregációs és fragmentációs folyamatok eredményeképpen képződnek, mely folyamatokat egyéb (pl. agrotechnikai) tényezők is befolyásolhatnak, így stabilitásuk is ezen folyamatoktól és tényezőktől függően alakul ki. Emiatt fontos, hogy stabilitásukat ne kizárólag egy-egy kiragadott talajtulajdonság, hanem komplex folyamatok eredményeképpen értékeljük és értelmezzük.

Vizsgálatunkban 5 hazai, változatos tulajdonságok alapján kiválasztott talajszelvény genetikai szintjeiből származó talajminta makroaggregátum-stabilitását, agyagtartalmát, CN összetételét

és szervesanyagtartalmát vizsgáltuk. A makroaggregátum-stabilitás vizsgálatokhoz Eijkelkamp-nedves szita készüléket, aszemcseméret eloszlásának meghatározásához pedig Malvern Mastersizer 3000 (Hydro LV előkészítőegységgel) készüléket használtunk. A szervesanyag mennyiséget Tyurin-módszerrel határoztuk meg. A szervesanyag-minőség vizsgálatához Bruker-Alpha II készüléket használtunk. A szén-nitrogén analízist Vario Max CNS analizátorral végeztük.

Az eredmények összesítése alapján szembeötlő különbség mutatkozott az eltérő talajtípusok stabil és nem stabil makroaggregátumainak szervesanyag- és agyagtartalmában, valamint azok arányainak szelvénybeli lefutásában is. Az eredmények egyértelműen rávilágítottak arra, hogy a makroaggregátum stabilitás alakulása az egyes talajtípusoknál eltérő tendenciát mutat és némely esetben nem hozható egyértelműen összefüggésbe a talaj szervesanyagával, vagy agyagtartalmával sem. Valószínűsíthető, hogy az egyes talajtulajdonságok és a talajban lejátszódó folyamatok együttesen határozzák meg a talajok makroaggregátum stabilitását.

Fontos jövőbeli feladat lehetne az egyes talajtípusok makroaggregátum stabilitásának tanulmányozása és a különböző kötőanyagok és formáló folyamatok közötti kapcsolatok számszerűsítése is, mely hozzájárulhatna a talajok klímaváltozással szembeni sérülékenységének csökkentéséhez.