

## Talajaggregátumok stabilitásának vizsgálata: a homok-korrektció és jelentősége

Huisz Andrea

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest  
huisz@rissac.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A talaj szerkezeti állapotát és annak minőségi változását jellemeztük három aggregátum-stabilitási mutató segítségével (1) Kukorica szár, (2) Búzaszalma és (3) Kukoricaszár és búzaszalma kijuttatásának hatására. Tapasztalataink szerint a Six et al. (2000) által bevezetett egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) az általa javasolt formában nem érzékeny a különböző szervesanyagok által okozott talajszerkezeti változásokra, illetve az általunk vizsgált homokos vályogtalaj aggregátum-stabilitását túlértékeli, emiatt bevezettük az index egy általunk módosított formáját, mellyel a kezelések különböző hatásai már jobban kimutathatóak, és a talaj aggregátum-stabilitás értéke is realitásosabb értéket mutat. A vizsgált kezelések közötti hatáskülönbségeket a legérzékenyebben a van Bavel (1953, in Kemper és Rosneau, 1986) által bevezetett közepes mért átmérő (KMÁ) jelezte.*

**Kulcsszavak:** aggregátum, vízállóság, egységes aggregátum-stabilitási mutató, közepes mért átmérő

### SUMMARY

*Soil structure and changes in its quality caused by Maize stem (1), Wheat straw (2) and Maize stem & wheat straw (3) addition were assessed by three aggregate-stability indices. We observed that the NSI index formula proposed by Six et al. (2000) was non-sensitive to the changes in soil structure caused by the investigated organic matter addition. Furthermore it overestimates the aggregate-stability of the investigated silty sandy loam soil. Therefore we proposed a new modified NSI formula which is sensitive to the questionable treatments and that resulted in a more realistic NSI data. The most sensitive index to differences of the investigated treatments were the Mean weight diameter (MWD) proposed by van Bavel (1953, in Kemper és Rosneau, 1986).*

**Keywords:** aggregate, water-stability, Normalized Stability Index, Mean weight diameter (MWD)

### BEVEZETÉS

A talaj a növénytermesztés közege, ez teszi lehetővé az élelmiszertermelést a mezőgazdaság számára, emiatt a talaj az emberiség számára alapvető fontosságú természeti erőforrás (Várallyay, 2002). A talaj szerkezete nagyon fontos talajtulajdonság, mivel többféle módon alakítja a talaj termékenységét: a talajszerkezet teszi lehetővé a növényi tápelemek transzportját, és azoknak a növények számára felvehető formába való alakulását; reakcióközeget teremt a talajban jelen levő kémiai komponenseknek, emellett pedig lehetővé teszi a talaj gáz- és folyadékfázisának áramlását, mindezek eredményeként pedig befolyásolja a talaj biológiai aktivitását. Emiatt a növénytermelés számára

alapvető fontosságú a jó minőségű talajszerkezet, és annak megőrzése.

Sajnálatos módon azonban napjainkban a talaj termőképességét veszélyezteti az egyre intenzívebb talajhasználat és az alkalmazott növénytermesztési technológiák. Mindezen hatások következményeként a talaj szerkezetének minősége fokozatosan romolhat, és így csökkenthet a talaj tápanyag-szolgáltató képessége (Chan és Heenan, 1999).

A talaj növénytermelésre való alkalmasságát, tápanyag-szolgáltató képességét a talaj szerkezeti állapota és annak minősége, a szerkezeti elemek vízzel és művelő-eszközökkel szembeni ellenálló képessége határozza meg, amelyet összefoglalóan agronómiai talajszerkezetnek nevezünk.

A talaj növénytermelésre való alkalmasságának megismeréséhez szükséges a talaj szerkezetének és annak minőségének ismerete. Emellett szükség van a talajművelés és növénytermesztés okozta talajszerkezetbeli változások nyomon követésére, számszerűsítésére. A talajszerkezet és -minőség fontosságát már régóta felismerték, vizsgálata egy évszázados múltra tekint vissza. Ezen vizsgálatok eredményeinek értékelhetősége azonban a vizsgálati módszerek különbözősége, nem a természetes folyamatokat leíró volta miatt kétséges és nehezen összehasonlítható.

Jelen tanulmányban a talaj szerkezeti állapotát és annak minőségi változását hasonlítottuk össze (1) Kukorica szár, (2) Búzaszalma és (3) Kukoricaszár és búzaszalma kijuttatásának hatására a Six et al. (2000) által javasolt talajszerkezet-változást vizsgáló módszer és aggregátum-stabilitási mutató segítségével, és javaslatot tettünk ennek az indexnek a módosítására.

### A talaj és a talajszerkezet

A talaj térben és időben változó három- illetve négyfázisú polidiszperz rendszer: szilárd (talajszerkezet), folyadék (talajoldat), gáz (talajlevegő) és biológiai fázis (talajlakó élőlények és növényi gyökérzet, gomba hifák) alkotja, melyek állandó dinamikus kölcsönhatásban vannak egymással (Várallyay, 2002).

A talaj szilárd fázisát szeretlen és szerves elemi szemcsék, és az ezek összekapcsolódásával kialakuló szerkezeti halmazok, ún. aggregátumok összessége alkotja. A talaj szilárd részecskéinek térbeli elrendeződése alkotja a talaj szerkezetét. A talajszerkezet lényegesen befolyásolja a talajban lejátszódó fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat. Meghatározza a talaj víz- és légáteresztő és -szolgáltató képességét, az erózióra és rögösödsé-

való hajlamát, a tápanyagok körforgalmát, átjárhatóságát a gyökerek számára, és a termésmennyiséget (Lal, 1991; Bronick és Lal, 2005). Ezt befolyásolja a részecskék nagysága, alakja, amit a talajképződési folyamatok befolyásolnak, és amit genetikai talajszerkezetnek nevezünk; és minősége (a szerkezeti elemek vízzel és művelő-eszközökkel szembeni ellenálló képessége, tápanyag-szolgáltató képessége, vagyis a talaj növénytermelésre való alkalmassága), amit agronómiai talajszerkezetnek nevezünk Várallyay (2002) szerint.

### *Talaj-aggregátumok*

A talajszerkezetet a tisztán ásványi és szerves elemi szemcsék, és az ezek összekapcsolódásával kialakuló közös szerkezeti egységek, ún. aggregátumok összessége alkotja. Ilyen aggregátumok minden kolloid anyagot tartalmazó talajban kialakulnak. Talajszerkezeti szempontból azért fontosak, mert szerkezeti felépítésüket még a talajművelés, az intenzív esőzések vagy a nedvesedés és a kiszáradás okozta zavaró hatások ellenére is megtartják, így tartják fenn a talaj szerkezetét (Tisdall és Oades, 1982).

Az aggregátumok kialakulásának és lebomlásának összetett folyamata számos tényező együttes hatásának eredménye. Ilyenek a talajképződési folyamatok, a környezet, a talajművelés, a növényzet, a talaj mikrobiológiai aktivitása, a talaj fagyása vagy kiszáradása és a rendelkezésre álló talajnedvesség, és a talajtulajdonságok: a talajszerkezet, az ásványi összetétel, a szervesanyag-tartalom, a kicserélhető ionok, a tápanyagkészlet (Kay, 1998; Stefanovits et al., 1999; Bronick és Lal, 2005).

A növénytermelés számára a talajszerkezet akkor optimális, ha a talaj művelt rétege 1-10 mm-es különálló aggregátumokból áll, amelyek stabilitásukat nedvesen is megtartják. Ezt morzsás állapotnak nevezzük. A talaj morzsás szerkezete művelt talajokban létfontosságú, mivel számos talajtulajdonságot befolyásol, amelyek meghatározzák a talaj tápanyag-szolgáltató képességét. A földművelési szempontból kívánatos talajmorzsák 0,25-0,5 mm-nél (250-500  $\mu\text{m}$ -nél) nagyobbak. A legkedvezőbb a nagyrészt 2-3 mm-es morzsákból álló talaj (Di Gléria et al., 1957).

### *Az aggregátumok felosztása*

Az aggregátumok a talaj szerkezeti egységei: ásványi részecskéknek szerves vagy szervesetlen vegyületekkel való összekapcsolódásával létrejött másodlagos képződmények (Kay, 1998; Lal, 1991; Stefanovits et al., 1999). Az aggregátumok általánosan náluk kisebb, különböző méretű szerkezeti egységekből épülnek fel változatos kötőelemek és mechanizmusok hatására (Tisdall és Oades, 1982).

Az aggregátumokat felépítő elemi ásványi és szerves részecskék, és az aggregátumok nagysága is

a mikrométerestől egészen a milliméteres mérettartományig folytonos eloszlást mutat, de túlnyomóan a talajtípusra jellemző bizonyos nagyságrendi csoportokba tartoznak. Azonban az ásványi részecskék és aggregátumok különböző méretű képviselőinek fizikai tulajdonságai bizonyos mérettartományokon belül hasonlóak, az eltérő mérettartományok pedig különböznek egymástól. Emiatt gyakorlati szempontból érdemes a hasonló fizikai tulajdonságú, azonos mérettartományba tartozó elemi ásványi részecskéket vagy aggregátumokat együtt vizsgálni. Ezek alapján nevezetes mérettartományokba eső ásványi szemcse- vagy aggregátum-csoportokat (frakciókat) különíthetünk el. A talajbeli szervesanyag részecskék méretbeli felosztását is az ásványi részecskék és aggregátumok méretéhez hasonlóan végezzük, de ez nem jellemzi a szervesanyag kémiai tulajdonságait, lebomlottságának mértékét. Az ásványi és az aggregátum frakciók méret szerinti elkülönítését nehezíti, hogy az ásványi vagy szerves részecskék a belőlük felépülő aggregátumokkal megegyező méretük is lehetnek (Dexter, 1988).

Az aggregátum frakciók nagysága és tulajdonságaik is változatosak, egymástól eltérőek. Függnek a vizsgált talaj tulajdonságaitól, a minta előkészítés módjától, a vizsgálati módszertől és a vizsgálat céljától. A 250  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb aggregátumokat makro-, a 250  $\mu\text{m}$ -nél kisebbeket mikroaggregátumoknak nevezzük (Edwards és Bremner, 1967; Tisdall és Oades, 1982; Elliott, 1986; Miller és Jastrow, 1990; Oades és Waters, 1991).

Jelen tanulmányunkban a következő kategóriákat használjuk:

- 1.) >2000  $\mu\text{m}$  nagy makroaggregátumok (1. frakció),
- 2.) 250-2000  $\mu\text{m}$  kis makroaggregátumok (2. frakció),
- 3.) 53-250  $\mu\text{m}$  mikroaggregátumok (3. frakció),
- 4.) < 53  $\mu\text{m}$  iszap és agyag (4. frakció).

### *A szervesanyag-utánpótlás hatása a talaj szerkezetére*

A talaj szerkezetének stabilitását, az aggregátumok vízállóságát nagymértékben befolyásolja a talaj szervesanyag-tartalma. A talajművelés és növénytermelés szervesanyag-csökkenést okoz, ez azonban szervesanyag-pótlással ellensúlyozható. A különböző szerves anyagok (szervestrágya, zöld növényi-, ill. tarlómaradványok) használatával végzett szervesanyag-utánpótlás évezredes múltra tekint vissza. A tarlómaradványok talajba forgatása növeli a talaj szervesanyag-tartalmát, és ezáltal növeli a talaj aggregátum-stabilitását, javítja a talajszerkezetet (Lynch és Elliott, 1983).

A talajszerkezet szervesanyagok kijuttatásával való javítása általánosan használt gyakorlat, ám a talaj szerkezetének tényleges javulása számos tényezőtől függ: a talajba juttatott szervesanyagok mennyiségétől, minőségétől (lebomlásra való hajlamuk mértékétől) és a talaj típusától. A különböző típusú szervesanyagok a talajszerkezetre

annak eltérő strukturális szintjén hatnak: ezt befolyásolja a szervesanyag mennyisége, a szervesanyag-részecskék mérete, biokémiai viselkedése (Martens, 2000), és a talaj típusa is (Paul, 1984).

A talajműveléssel kijuttatott szervesanyagok abban az esetben serkentik az aggregátumok kialakulását és növelik azok vízállóságát, ha lebomlásuk már a kezdetektől a talajban, méghozzá megfelelő körülmények között történik. Így képesek ragasztó hatású anyagokat felszabadítani. Abban az esetben, ha a szervesanyagok lebomlásuk után kerülnek a talajba, például a szervesstrágya annak érlelése után, kötéseik széttöredeznek, így ásványi részecskéket összeragasztó funkciójukat már nem képesek ellátni. Emiatt a szervesstrágyázás közvetlenül csak kismértékben serkenti az aggregátumok képződését (Di Gléria et al., 1957). A talajba juttatott szervesanyag közvetve azonban élénkíti a talaj mikroorganizmusainak élettevékenységét, melyek ragasztóanyagokat képeznek. Mindezek hatására az ásványi részek aggregátumokká kapcsolódnak össze, illetve az aggregátumok stabilitása, vízállósága is növekszik.

#### *A szervesanyag-utánpótlás hatása a különböző aggregátum-frakciókra*

A makroaggregátumok stabilitása a szervesanyag készletől és a talajművelési módoktól függően is változik. Ennek az az oka, hogy a makroaggregátumokban levő kötőanyagok (mint a gyökerek, gombahifák, mikrobiális és növényi eredetű poliszacharidok) csak átmenetiek, melyeket az intenzív talajművelés rombolhat (Oades és Waters, 1991). Könnyen lebomló szervesanyagok talajba juttatása növelheti a makroaggregátumok stabilitását.

Mivel a mikroaggregátumok stabilitását nagyrészt szervesetlen vegyületek és nem szervesek befolyásolják (Monreal et al., 1995), emiatt a mikroaggregátumok stabilitását nem tudjuk befolyásolni szervesanyag-utánpótlással sem. Emellett a mikroaggregátumok stabilitása nem függ a talajművelési eljárásoktól sem: ez nem okozza szétesésüket (Tisdall és Oades, 1982; Christopher et al., 1996), viszont a becsapódó esőcseppek mechanikai energiája, vagy a sók, elektrolitok igen.

A szervesanyag-utánpótlással talajba juttatott szerves vegyületekre azért van szükség, hogy közvetlenül a makroaggregátumok stabilitását növeljük, amely alapvetően meghatározza a talaj művelhetőségét. Mivel ezek a makroaggregátumokon belüli kötések csak rövid ideig és kis erővel hatnak, a talaj gyakori szervesanyag-utánpótlása javasolt lehetőség szerint friss növényi részekkel.

A különböző minőségű és kémiai összetételű növényi maradványok aggregátum-stabilizáló hatását számos kísérlettel vizsgálták. Raimbault és Vyn (1991) szerint kukorica növényi részek talajba keverése azok nagy fenolos vegyület-tartalma miatt növelték az aggregátum-képződést. Martens (2000) gyors, de csak rövid ideig tartó aggregátum-vízállóság javulásról számolt be alacsony fenolsav

tartalmú lucerna, repce és fehér here növényi részek talajba keverése után; és nagyobb mértékű aggregátum-vízállóság javulásról nagyobb fenolsav-tartalmú kukorica, zab és szója növényi részek talajba keverése után. John et al. (2005) búza és kukorica tarlómaradványok talajba forgatásának hatását vizsgálta az aggregátumok vízállóságára. Vizsgálataikban az aggregátumok vízállósága a növényi részek hozzáadásának hatására a felső talajrétegben a kukorica > búza sorrendben változott, de ezek a változások statisztikailag nem voltak számottevőek, illetve az aggregátumok vízállósága az alsó talajrétegben még kisebb mértékben változott.

## **ANYAG ÉS MÓDSZER**

### *A mintavételi hely leírása és a talaj jellemzése*

A talajmintákat a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék „Szerves- és műtrágyák hatásának összehasonlító kísérlete – „B” vetésforgó” elnevezésű területéről vettük. Itt a kísérlet célja a szerves- és műtrágyázás, és növényi melléktermék talajtermékenységre gyakorolt hatásának összehasonlító vizsgálata volt. A kísérletet 1960-ban állították be. Talaja Ramann-féle barna erdőtalaj, fizikai félesége homokos vályog. Az Arany-féle kötöttségi szám értéke: 36-37. A talaj felvehető foszforral gyengén, káliummal közepesen ellátott, szervesanyagban pedig szegény, CaCO<sub>3</sub> tartalma 0,5-0,6%. A talaj egyéb agrotechnikai jellemzőit az 1. táblázat mutatja be. A területen a csapadék sokévi átlaga 700 mm, az évi középhőmérséklet 10,8 °C. A területen a következő növényi sorrendben termesztették a növényeket: kukorica-kukorica-burgonya-őszi búza-őszi búza. A mintavétel évében a területen burgonyát termesztettek. Vizsgálatunk célja a különböző szervesanyagok talajszerkezetre és annak minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Az alkalmazott műtrágyák éves mennyiségét a 2. táblázat mutatja be. Kísérletünkben különböző növényi eredetű szervesanyagok hatását vizsgáltuk: kukoricaszár (2), búzaszalma (3), kukoricaszár és búzaszalma együttes hatását (4) szárnélküli kontrollkezeléshez (1) hasonlítottuk. Mind a négy kezelésben azonos talajművelési módot, őszi szántást alkalmaztak, 25 cm mélységig. A kezelések véletlen blokk elrendezésben, négyszeres ismétlésben szerepeltek. A parcellák alapterülete: 7×14 m, vagyis 98 m<sup>2</sup>. A talajmintákat 2006. június 16-17-én, a kukorica 6-8 leveles állapotában vettük. A művelt rétegből a talajművelés mélységével megegyező mélységig (a 0-20 cm-es mélységből), az alatta levő rétegből pedig egy 10 cm mély mintát vettünk (a 20-30 cm-es mélységből). Abból a célból, hogy a szervesanyagok hatását vizsgálhassuk a burgonya bakhátas művelésekor fellépő talajszerkezet romlás kizárásával, a burgonya parcellával megegyező kezelésű ugarból vettük a talajmintákat. Minden kísérleti parcellán 4 pontból vettünk bolygatott talajmintát, melyeket parcellán belül, mélységi kategóriánként homogenizáltunk.

A kísérletek talajának agrokémiai jellemzői

Megnevezés(1)	Mintavételi mélység (cm)(2)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Humusz (%) (3)	1,70	1,37	1,14	0,99	0,90
Összes N (%) (4)	0,12	0,08	0,07	0,05	0,05
Összes P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> ) (5)	60,40	45,40	54,50	45,90	46,30
Összes K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> ) (6)	406,80	414,50	386,30	350,50	313,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (AL) (mg kg <sup>-1</sup> ) (7)	22,00	10,00	5,00	3,00	2,00
K <sub>2</sub> O (AL) (mg kg <sup>-1</sup> ) (8)	135,00	117,00	75,00	38,00	29,00
pH (H <sub>2</sub> O) (9)	7,70	7,90	8,00	8,10	8,10
pH (KCl) (10)	7,30	7,30	7,40	7,50	7,60
Hy (11)	1,18	1,16	1,09	0,90	0,73
CaCO <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) (12)			73,80	252,00	304,00
y <sub>1</sub> (13)	2,20	2,10			
Leiszapolható rész (%) 0 < 0,02 mm (14)	32,70	37,30	41,30	36,70	40,50
Térfogat tömeg (g/cm <sup>3</sup> ) (15)	1,45	1,50	1,43	1,50	1,50

Forrás: Németh, 1982

Table 1: Agrochemical properties of the experiment soil.

Designation(1), Sampling depth (cm)(2), Humus (%) (3), Total N (%) (4), Total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg kg<sup>-1</sup>) (5), Total K<sub>2</sub>O (mg kg<sup>-1</sup>) (6), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (AL) (7), K<sub>2</sub>O (AL) (8), pH (H<sub>2</sub>O) (9), pH (KCl) (10), Hy (11), CaCO<sub>3</sub> (g kg<sup>-1</sup>) (12), Hy (13), Siltable fraction, particles less than 0,02 mm (%) (14), Volume mass (g cm<sup>-3</sup>) (15)

2. táblázat

Az alkalmazott műtrágya mennyiségek (kg/ha)

Kezelés(1)	N 2005 őszén(6)	N 2006 tavaszán(7)	P	K
Kontroll(2)	0	146	80	100
Kukorica szár(3)	26	120	80	100
Búza szalma(4)	0	146	80	100
Kukorica szár és búza szalma(5)	26	120	80	100

Table 2: Quantities of applied fertilizer active ingredients (kg ha<sup>-1</sup>)

Treatment(1), Control(2), Maize stem(3), Wheat straw(4), Maize stem and wheat straw(5), N 2005 autumn(6), N 2006 spring(7)

Az aggregátumok stabilitásának vizsgálata

Az aggregátumok akkor tudják a növénytermesztés szempontjából fontos szerepüket ellátni, vagyis biztosítani a megfelelő talajszerkezetet, ha képesek ellenállni a művelőeszközök és a víz romboló hatásának (Di Gléria et al., 1957). Ezt a tulajdonságukat aggregátum-stabilitásnak nevezzük. Ha az aggregátum nem képesek elviselni ezt az aggregátum-romboló erőt, akkor kisebb aggregátumokká vagy aggregátum-törmelékké, esetleg elemi talajszemcsékké esnek szét. Ez a talaj szerkezetének megbomlását okozza. Ilyenkor a keletkezett részecskék a talaj tömegében átrendeződnek. Ennek következtében a póruster jellege megváltozik (eltömődik), és a talajszerkezet minősége leromlik. Ez a romboló hatás lehet külső, például talajművelés, vagy belső, mint például a víz hatása. Mindkét hatás, amennyiben az meghaladja a talaj ellenálló képességét, az aggregátumok szétesését okozza. A nagyobb aggregátumok a mechanikai hatásokkal szemben kevésbé ellenállóak,

mint a kisebbek (Dexter, 1988; Christopher et al., 1996; Hadas, 1987). Hadas (1987) és Dexter (1988) szerint egy adott nagyság szerinti csoport szétesésekor a nála nagyobb szerkezeti egységek részeikre esnek szét, de az annál kisebb egységek sértetlenek maradnak (Brady, 1990; Tisdall és Oades, 1982; Christopher et al., 1996).

A talaj szerkezeti minőségének jellemzésére gyakran használják az aggregátumok stabilitásának mértékét (Six et al., 2000; Bronick és Lal, 2005). Az aggregátumok stabilitása az a tulajdonság, hogy az aggregátumon belüli összetartó erők képesek-e elviselni az alkalmazott romboló erőt. A talajszerkezet ellenállóságát úgy számszerűsíthetjük, hogy vizsgáljuk egy ismert nagyságú szerkezetet romboló erő hatását: mérjük az ennek hatására épen maradó aggregátum frakciók mennyiségét, tömegét. A mérések eredményei akkor jellemzik a valódi talajszerkezet ellenálló képességét, ha az alkalmazott romboló erő hasonlít a természetben fellépő és aggregátum bomlást okozó erőkhöz.

Humid területeken az aggregátumok túlságosan gyors vagy túlzott mértékű nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban az aggregátumok vízállóságának mértékétől függ. Amikor a légszáraz aggregátum túlságosan gyorsan nedvesedik, kisebb aggregátumokra vagy azok törmelékeire, esetleg elsődleges szemcsékre bomlik szét (Emerson, 1977). Ez a fajta szétiszapolódás általános és sokféle talajon fellép abban az esetben, ha az aggregátum nem elég ellenálló, hogy elviselje annak belsejéből, a duzzadó és vízzel telítődő pórusokból kiszabaduló levegő okozta nyomást.

Természetes körülmények között a szétiszapolódás csak a növényzettel nem borított területek felszíni rétegeiben fordul elő, mivel ezek gyakran teljes mértékben kiszáradnak, majd a

csapadék érkezésekor hirtelen nedvesednek. A felszíni talajrétegek teljes szétiszapolódása nagyon súlyos talajleromlás, mivel ezek a rétegek akadályozzák a vízbeszivárgást és a csírázást (Tisdall és Oades, 1982). Az aggregátum szétiszapolódásával létrejövő kisebb egységek vagy kisebb aggregátumok szintén instabilak lehetnek, így elemi agyagszemcsék szabadulhatnak fel. Ezek képesek eltönni a víz és levegő áramlásához nélkülözhetetlen pórusokat.

A talajszerkezet annál jobb, minél nagyobb az aggregátumok vízállósága. Azonban az aggregátumok vízállóságának relatív volta miatt csak az azonos módszerrel előkészített, azonos romboló erő alkalmazása után kapott frakciók vízállóságát hasonlíthatjuk össze. Ezt leggyakrabban nedves szítással, vagy más szóval nedves szítással aggregátum-analízissel vizsgáljuk. A módszert Tyulin (1928) találta fel (in Di Gléria et al., 1957), majd később számos szerző módosította. A nedves szítálás során ismert tömegű, valamilyen módszerrel előkezelt (előnedvesített) talajmintát folyamatos vízáram vagy külső vízköpeny segítségével különböző pórusméretű szítákon leszítalunk: így a szíták pórusai által meghatározott mérettartományú aggregátum frakciókat kapunk. Vízálló aggregátum frakcióknak a nedves szítálás után adott pórusméretet, vagyis szemcsenagyságot meghaladó aggregátumokat és azok törmelékeit nevezük. A nedves szítással módszerrel nyert adatok közvetlenül a vízálló talaj-aggregátumok százalékos mennyiségét adják meg. A módszer előnye, hogy egymással összehasonlítható értékeket kapunk.

#### *Aggregátum-stabilitási mutatók*

##### A közepes mért átmérő

A talaj aggregátum stabilitását gyakran egy önkényesen kiválasztott aggregátum frakción keresztül mutatják be, ami nem a teljes talajt jellemzi. A teljes talajszerkezetet az összes aggregátum frakciót egyesítve a van Bavel (1953, in Kemper és Rosneau, 1986) által bevezetett közepes mért átmérő (KMÁ) jellemzi egy számértékben. A KMÁ-t gyakran használják a talajművelési módok hatásainak összehasonlítására. Angers et al. (1993b) szerint például két egymást követő évben végzett szántás jelentősen csökkentette a vízálló aggregátumok KMÁ-jét a csökkentett műveléshez képest. Haynes és Francis (1993) pedig a KMÁ jelentős növekedéséről számolt be 3 éves rozs > egyéves rozs > 3 éves here > árpa termesztéses kísérletében.

Azonban Stirk (1958) szerint a KMÁ alkalmazása kérdéses olyan esetekben, amikor az aggregátum frakciók mennyisége nem normál eloszlást mutat. Ezen kívül gyakran okoz problémát a különböző mintavételi területek, vagy talajművelési módok okozta talajszerkezet-változások összehasonlítása a KMÁ átlagainak felhasználásával. Ezt három zavaró körülmény okozza: a talajminták (1) eltérő, önkényes előkészítési módja (Beare és Bruce, 1993; Gollany et al., 1991), (2) eltérő előzetes nedvességtartalma (Angers et al., 1993a; Perfect et al., 1990) és (3)

különböző homok-tartalma (Angers et al., 1993b; Caron et al., 1992; Elliott, 1986; Gollany et al., 1991; Perfect et al., 1990).

*Minta-előkészítés.* A talajminták előkészítési módjáról annyit szükséges megjegyezni, hogy mivel célunk a talajszerkezet természetes változásainak kimutatása, törekednünk kell annak lehető legnagyobb mértékű megóvására a mintavételkor, majd később annak kezelésekor. A mintavételre a talajmunkák végzésére legalkalmasabb időszakok a megfelelőek, amikor a talaj nedvességtartalma a talajművelés számára optimális, amikor a talaj nedvességtartalma a szántóföldi vízkapacitással egyezik meg. A mintavételt lehetőleg ásóval végezzük, mivel a kisebb átmérőjű talajfűrők tömörödést okoznak. A mintavétel után a még nedves talajmintákat kézzel óvatosan diónyílnál kisebb részekre bontjuk úgy, hogy közben próbáljuk elkerülni a talaj szerkezeti elemeinek tömörítését. A talajmintákat légszáraz állapotban a vizsgálandó aggregátum frakciók felső mérethatára által indokolt lyukméretű szítán előrostáljuk, és az azt meghaladó nagyságú darabokat kézi mozsár segítségével a megfelelő méretűre törjük. Erre a kezdeti aggregátum-méret kialakítása miatt van szükség (Beare, 1994; Kemper és Rosenau, 1984).

*Nedvesség-tartalom.* Di Gléria et al. (1957) szerint a talaj-aggregátumok vízállósága az időben is állandóan változó tulajdonság (a szezondinamikától függetlenül is). A mintavétel után azonnal, eredeti nedvességi állapotban végzett nedves szítással a talaj-aggregátumok pillanatnyi vízállóságát lehet meghatározni. Ezt a fizikai-kémiai kötések, a biológiai védőréteg és a nedvességtartalom közösen alakítják ki. A mintavételt követő szárítás utáni nedves szítással pedig az időben állandó, a talajszerkezet okozta stabilitást lehet meghatározni, melyet a fizikai-kémiai kötések mennyisége és minősége szabja meg. Ennek következményeként az aktuális nedvességtartalomban vagy abból szabadföldi vízkapacitásig kapillárisan nedvesített minták vizsgálata nagy szezonális variabilitást mutatott, melyet részben a talajnedvesség időszaki változásaival összefüggő fizikai hatások okoznak. Mivel ez a változás nincs összefüggésben a talajszerkezet minőségével, hatását szeretnénk kizárni annak vizsgálatakor. A talajminta szobahőmérsékleten való légszárításával a kezdeti talajnedvesség hatása szinte elhanyagolható (Perfect et al., 1990; Gollany et al., 1991; Angers et al., 1993a; Caron et al., 1992).

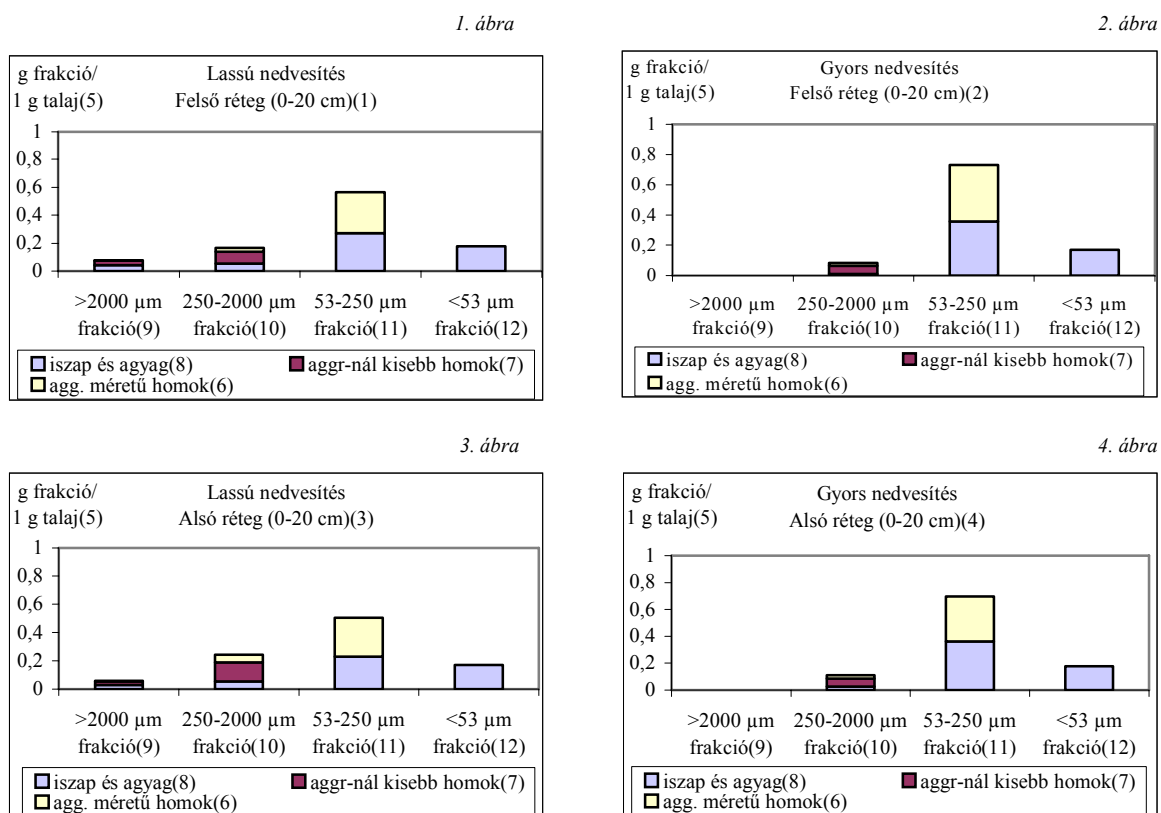
A vizsgálandó talajminta előzetes nedvességi állapota alapvetően meghatározza a kapott aggregátumok stabilitását. Vízrel egyre nagyobb mértékben telített állapotú aggregátum gyors nedvesítésekor a távozó levegő aggregátum-szerkezetet romboló nyomása fokozatosan csökken. Lyles (1974) mesterséges esőztetés kísérlete az előzetesen nedvesített talajmintával kétszer annyi ép aggregátumot eredményezett, mint amikor nem nedvesítette elő a talajmintát. Emiatt az előzetes nedvesítés módszerét egységesíteni szükséges (Kemper és Rosneau, 1986). Ennek optimális

mértékét, módját számos szerző vizsgálta. A legnagyobb aggregátum-mennyiséget a talaj szabadföldi vízkapacitásig (g/kg) való kapilláris nedvesítésekor kapták (Hofman és de Leenheer, 1975).

**Homoktartalom.** A homoktartalom azért zavarja az aggregátum-stabilitás becslését, mert az aggregátum-méretű ásványi részek nem, csak az azoknál kisebbek képezik részét az aggregátumoknak. A nedves szitalás azonban a két frakció keverékét eredményezi, így az aggregátum-méretű homok frakció tömege hozzáadódik a vízálló aggregátum frakció tömegéhez. Ez a vízálló aggregátum frakció mennyiségének felülértékelését okozza. Továbbá a különböző mintavételi helyszínek eltérő ásványi részecske megoszlása miatt

eredményeik nem összehasonlíthatóak. Emiatt szükséges korrigálni az első nedves szitalás során kapott aggregátum frakció mennyiségeket: ki kell vonnunk ezekből az adatokból az aggregátumokkal azonos méretű homok frakciók tömegét. Ezt a módszert először Di Gléria et al. (1957) említi, de csak Six et al. (2000) használja következetesen számításai során. Six és munkatársaival (2000) és jelen dolgozattal ellentétben van Steenberg et al. (1991) az aggregátumok teljes homok-tömegét vonja ki a vízálló aggregátum-tömegekből, de ezzel alulértékeli a valódi aggregátum frakciók tömegét, azt az 1-4. ábra mutatja. Vizsgálatunkban ez főleg az 53-250 µm mikroaggregátum frakció felülértékelését jelentené.

1-4. ábra: A különböző frakciók szemcseméret-megoszlása a kontroll kezelés esetén



Figures 1-4: Distribution of particle sizes of the different fractions during control treatment

Capillary wetting – upper layer (0-20 cm)(1), Slaking – upper layer (0-20 cm)(2), Capillary wetting – lower layer (0-20)(3), Slaking – lower layer (0-20 cm)(4), G fraction/1 g soil(5), Aggregate-sized sand(6), Sand smaller than the aggregate(7), Silt and clay fraction(8), >2000 µm large macroaggregate fraction(9), 250-2000 µm small macroaggregate fraction(10), 53-250 µm microaggregate fraction(11), Silt and clay fraction(12)

**Az egységes aggregátum-stabilitási mutató**

A Six et al. (2000) által javasolt egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) a van Steenberg et al. (1991) által bemutatott aggregátsági index (Aggregation Index, AI) továbbfejlesztett változata. Az EASM számításához kifejlesztett vizsgálati módszer a minták kezdeti, azonos nagyságú szerkezeti egységekre való törésével és a homok-korrekcióval lehetővé teszi a különböző talajtípusok eltérő nagyságú egységekből

álló szerkezetének összehasonlítását, a minták előzetes légszárításával kiegyenlíti a mintavételkor mért pillanatnyi nedvesség-tartalom okozta aggregátum-vízállóság különbségeket, majd a nedves szitaláskor azonos víztartalmú állapotra való nedvesítéssel pedig összehasonlíthatóvá teszi aggregátum-vízállóságukat.

Az EASM az aggregátumok stabilitását úgy számítja, hogy összehasonlíttja azok megoszlását azonos nagyságú rombolóerő alkalmazása előtt és

után. Az aggregátumokra ható nagyobb mértékű rombolóerőt, vagyis a felszíni talajrétegek talaj-aggregátumainak túlságosan gyors nedvesedése miatt fellépő szétiszapolódást Gyors nedvesítéses (GyN) módszerrel vizsgáljuk: a légszáraz mintát vízbe öntjük, és ezután 5 percig vízben áztatjuk. A gyors nedvesítéses minta-előkészítési módszer rombolja az aggregátumokat, mert ennek során az aggregátumból túl gyorsan távozó levegő az aggregátumot szétrobbantja, még a nedves szítálás előtt.

Az aggregátumokra ható kisebb mértékű rombolóerőt, vagyis az alsóbb talajrétegek kapilláris nedvesedését az aggregátumok szabadföldi vízkapacitás értékéig történő lassú nedvesítésével vizsgáljuk: a légszáraz mintát szűrőpapíron és nylon filteren keresztül kapillárisan annak szabadföldi vízkapacitás értékéig telítjük. A talaj nedves szítálást megelőző lassú nedvesítése során az aggregátum belsejében levő levegő lassan, az aggregátumot nem rombolva távozik, így az aggregátum ép marad. Továbbá a víz felületi feszültsége növeli a talajrészecskéket összetartó erőt, így a lassan előnedvesített minta-előkészítési módszer nagyobb vízálló aggregátum-mennyiségeket eredményez (Kemper és Rosneau, 1984, 1986). Ezt a nedvesítési módszert javasolja Tyulin (in Di Gléria et al., 1957) is.

Ezután a kétféle módon előkészített részmintákat laboratóriumi szitarázó géppel folyamatos vízáram alatt leszítáljuk, így vízálló aggregátum frakciókat kapunk.

A lassú nedvesítéssel előkészített minták aggregátum-megoszlását tekintjük a kezdeti értéknek. A gyors nedvesítéses minta-előkészítési módszert tekintjük a szétrombolódás utáni aggregációs szintnek.

Az EASM a vizsgált talaj aggregátum stabilitását nem abszolút mérőszámmal jellemzi, hanem a különböző talajtípusok, talajművelési vagy növénytermelési módok okozta talajszerkezeti különbségek, változások mértékét számszerűsíti és teszi egymással összehasonlíthatóvá (mértékegység nélküli viszonyszám). Értéke 0 és 1 között változhat.

## MÓDSZER

A mintavétel után az eredeti nedvességi állapotú talajmintát kézzel óvatosan diónyinál kisebb részekre bontottuk, majd szobahőmérsékleten hagytuk megszáradni. A talajt száraz állapotban 7 mm-es szítán átszítáltuk, az ennél nagyobb darabokat mozsárban annyira törtük meg, hogy átférjenek a szita lyukain.

Kétféle minta-előkészítési módszert alkalmaztunk: a gyors nedvesítéses módszerben a legnagyobb pórusméretű szítát (2 mm) egy tálba helyeztük, és azt a szita felszíne felett 1 cm-rel feltöltöttük csapvízzel, erre szórtuk az előre kimért 300 g-os légszáraz részmintát, majd 5 percig áztattunk. A másik minta-előkészítési módszer szerint az előre kimért 300 g-os részmintát

Petri-csészébe helyezett szűrőpapíron és 20  $\mu\text{m}$  lyukméretű nylon filteren keresztül óvatosan szabadföldi vízkapacitás értékéig lassan nedvesítettük. A vizet lassan, óvatosan adagoltuk a szűrőpapírra, vigyázva arra, hogy a víz közvetlenül ne érjen a talajmintához. A Petri-csészét lezártuk, majd a mintákat egy éjszakán át hűtőszekrényben állni hagytuk, hogy nedvességtartalmuk állandósuljon. A kétféle minta előkészítési mód után a részmintákat Retsch AS 200 BASIC típusú laboratóriumi szitarázó géppel folyamatos vízáram alatt leszítáltuk. A rázógépet 70-es frekvenciára állítva minden részmintát 2 percig szítáltunk. Ehhez egy 2 mm-es, egy 250  $\mu\text{m}$ -es és egy 53  $\mu\text{m}$ -es analitikai szítát használtunk. Így 4 frakciót kaptunk: 2000  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb nagy makro-, 250-2000  $\mu\text{m}$  kis makro-, 53-250  $\mu\text{m}$  mikroaggregátum-, és az 53  $\mu\text{m}$ -nél kisebb iszap-agyag frakciót. A nedves szítálást Six et al. (1999, 2000), Márquez (2004), Cambardella és Elliott (1993) frakciónként külön-külön végzi: a nagyobb szíták felületéről összegyűjtött frakciókat a következő szítával újra szítálja. Ezáltal az 1. frakciót 2, a 2. frakciót 2+2, a 3. és 4. frakciót pedig 2+2+2 percig szítálja. Így azonban nem teljesül a KMÁ számításának alapfeltétele, az azonos szítálási idő. A kisebb szemcseméretű frakciók fokozatosan egyre növekvő romboló erőnek vannak kitéve, amely véleményem szerint szintén nem teljesíti azt az elvi feltételt, hogy a talajmintát azonos nagyságú rombolóerőnek kitéve vizsgáljuk. A mikroaggregátum frakció alsó határát azért 53  $\mu\text{m}$ -ben állapítottuk meg, mert számos szerző az 53-250  $\mu\text{m}$  tartományt tekinti a nagyméretű mikroaggregátum frakciónak, és mert az USDA rendszere szerint ez az iszap frakció felső határa. A rázatási idő után a szítákon maradt frakciókat alaposan átöblítettük, hogy az esetlegesen az aggregátumok között maradt iszapszemcsék tömegét ne a nagyobb aggregátum frakciókhoz számítsuk. A szíták felszínén levő vízálló aggregátum frakciókat (1-3. frakciót) előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd ülepedni hagytuk. Egy napos ülepedés után a letisztult fölös folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a frakciókat 60 °C-on megszáritottuk és lemértük. A 4., agyag frakciót részmintánként egy-egy vödörbe gyűjtöttük, majd több napos ülepedés után, amikor a fölös folyadék már teljesen kitisztult, azt szivattyúval leszívtuk, egy előre lemért alumínium tálkába mostuk, egy napot újra üleptettük, a letisztult fölös folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a kapott ásványi frakciót 60 °C-on megszáritottuk és lemértük. Ezután mindkét minta-előkészítési módszerrel kapott 1., 2. és 3. frakcióból 5 g-ot kimértünk, 15 ml 5 gL<sup>-1</sup> koncentrációjú nátrium-hexameta-foszfát oldattal egy 50 ml-es centrifugacsőben 18 órán keresztül ráztattuk, majd a folyadékot a frakciók elkülönítésére használt szítákkal újra leszírtuk, így 3-3, illetve 2 homokfrakciót kaptunk. A szíták felületén levő homokfrakciókat és a diszpergáló folyadékot külön-külön előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd 105 °C-on megszáritottuk és lemértük (5. ábra).

5. ábra: A nedves szitálás és a homok-korrekción lépései

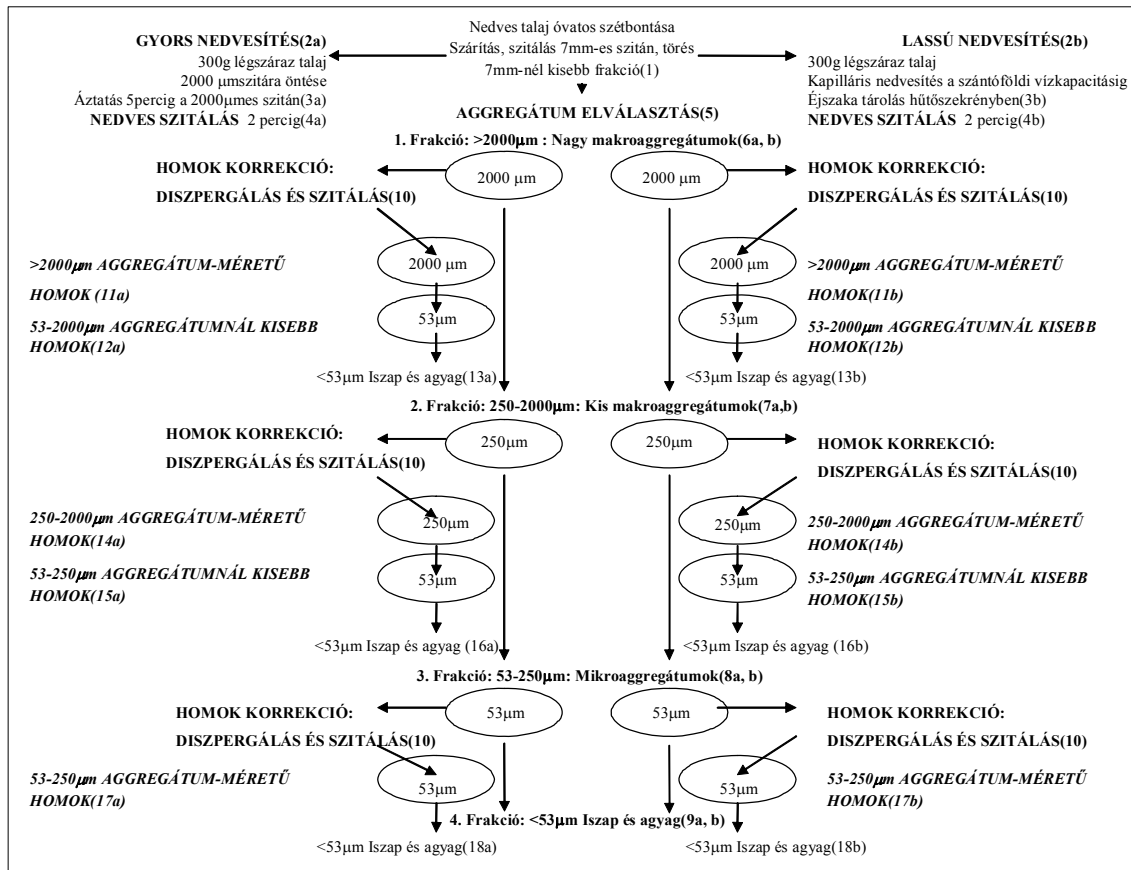


Figure 5: Steps of the wet sieving and sand-correction

Wet clods were gently broken apart, air-drying, dry sieving on 7 mm sieve, breaking with mortar, <7 mm fraction(1), Slaking (the letter 'a' means the SLAKING pre-treatment)(2a), Capillary re-wetting: (the letter 'b' means the capillary re-wetting pre-treatment)(2b), 300 g of air-dried soil sample was spread on the nest of the 2 mm sieve, slaking for 5 min(3a), 300 g of air-dried soil was gently capillary re-wetted till field capacity, store overnight in refrigerator(3b), Wet sieving for 2 min(4a), Wet sieving for 2 min(4b), Aggregate separation(5), 1.<sup>st</sup> fraction: >2000µm large macroaggregate fraction(6a, b), 2.<sup>nd</sup> fraction: 250-2000 µm small macroaggregate fraction(7a, b), 3.<sup>rd</sup> fraction: 53-250 µm microaggregate fraction(8a, b), 4.<sup>th</sup> fraction: silt and clay fraction(9a, b), Sand correction: dispersion and sieving(10), >2000 µm aggregate-sized sand(11a, b), 53-2000 µm sand smaller than the aggregate(12a, b), Silt and clay fraction(13a, b), 250-2000 µm aggregate-sized sand(14a, b), 53-250 µm sand smaller than the aggregate(15a, b), Silt and clay fraction(16a, b), 53-250 µm aggregate-sized sand(17a, b), Silt and clay fraction(18a, b)

**A különböző nedvesítési módszerekkel kapott frakciók mennyisége**

Mind a négy vizsgált kezelésből négy-négy parcellából vettünk mintát, ezekből pedig három-három párhuzamos mérést végeztünk. Ezek eredményét akkor fogadtuk el, amennyiben a másik két mérés átlagához képest 5%-nál kisebb eltérést mutattak, és ha a vizsgálat okozta tömegvesztés 5%-nál kisebb. A nedves szitálással kapott, homok-korrekción előtti frakció mennyiségeket a 6-9. ábra, a homok-korrekción eredményeit pedig a 3. táblázat mutatja be.

**Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) számítása**

**1.) Az egyes frakciók szétizapolódásának mértéke (3-5. táblázat)**

$$DLSi = \frac{[(Pio - Sio) - (Pi - Si)] + [(Pio - Sio) - (Pi - Si)]}{2} \times \frac{1}{(Pio - Sio)}$$

ahol:

DLSi=az egyes frakciók (i) szétizapolódásának mértéke (i= {i1, i2, i3, i4})

Pio=teljes mintatömeg az I frakcióban a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (5. ábra /6b, 7b, 8b, 9b/)

Pi=teljes mintatömeg az I frakcióban a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (5. ábra /6a, 7a, 8a, 9a/)

Sio =az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (5. ábra /11b, 14b, 17b/). Minden frakciótömeg g/g talaj egységben.

Si=az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (5. ábra /11a, 14a, 17a/). Minden frakciótömeg g/g talaj egységben.

Ahol a frakciók index-számai (5. ábra):

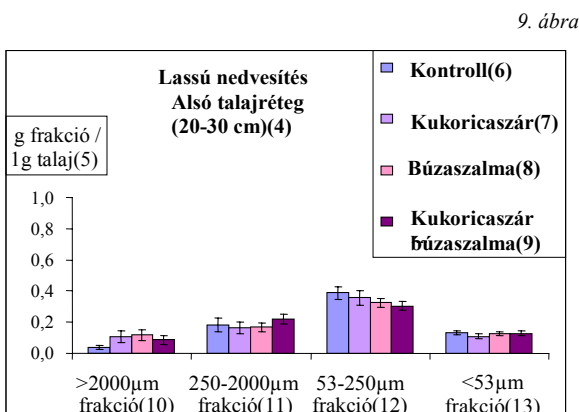
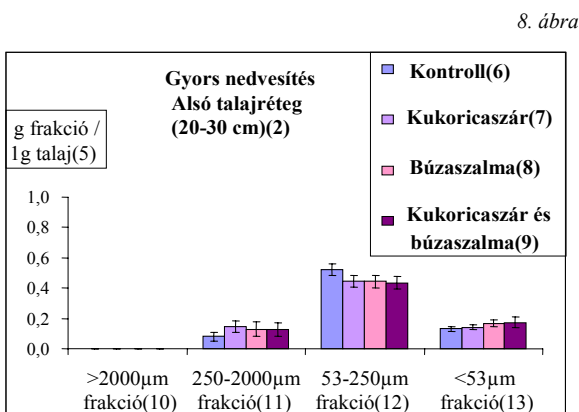
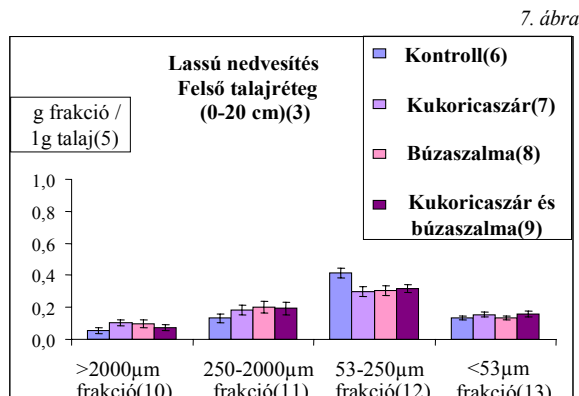
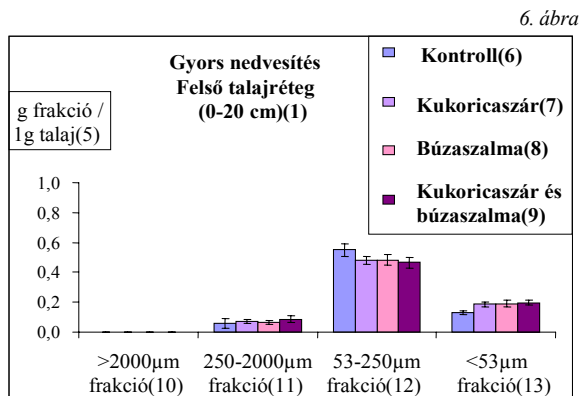
i=1. frakció=>2000 µm nagy makroaggregátum frakció (5. ábra /6a, b/)



i=2=2. frakció=250-2000 µm kis makroaggregátum frakció (5. ábra /7a, b/)  
 i=3=3. frakció=53-250 µm mikroaggregátum frakció (5. ábra /8a, b/)

i=4=4. frakció=<53 µm iszap- és agyag frakció (5. ábra /9a, b/)  
 A frakciók ebben a sorrendben keletkeznek a nedves szítálás során (5. ábra).

6-9. ábra: A különböző nedvesítési módszerekkel kapott frakciók mennyisége a vizsgált kezelésekben és mintavételi mélységekben (1 g talajmintára vonatkoztatva 95%-os megbízhatósági szinten)



Figures 6-9: Weight of soil mass in the isolated fractions for each treatment and depth layer

Slaking – upper layer (0-20 cm)(1), Slaking – lower layer (20-30 cm)(2), Capillary wetting – upper layer (0-20 cm)(3), Capillary wetting – lower layer (20-30 cm)(4), g fraction/1 g soil(5), Control treatment(6), Maize stem treatment(7), Wheat straw treatment(8), Maize stem+wheat straw treatment(9), Fraction >2000 µm(10), Fraction 250-2000 µm(11), Fraction 53-250 µm(12), Fraction <53 µm(13)

**2.) A teljes talaj szétiszapolódásának mértéke (6. táblázat)**

$$DL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(n+1) - i] \times DLS_i$$

ahol:

DL = a teljes talaj szétiszapolódásának mértéke  
 n = aggregátum frakciók száma  
 DLS<sub>i</sub> = az I aggregátum frakció szétiszapolódásának mértéke (I= {i<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>, i<sub>3</sub>, i<sub>4</sub>})

Mivel a talaj szerkezetének stabilitásának változását a kisebb méretű aggregátum frakciók mennyiségének változása jobban jellemzi, emiatt a korábban felsorolt aggregátum-frakció index-számait fordított sorrendben vesszük figyelembe.

i=1 itt a 4. frakció=<53 µm iszap- és agyag frakció (5. ábra /9a, b/)  
 i=2 itt a 3. frakció=53-250 µm mikroaggregátum frakció (5. ábra /8a, b/)

i=3 itt a 2. frakció=250-2000 µm kis makroaggregátum frakció (5. ábra /7a, b/)  
 i=4 itt az 1. frakció=>2000 µm nagy makroaggregátum frakció (5. ábra /6a, b/)

Így:

- < 53 µm iszap- és agyag frakció (4. frakció) (4-1)×DLS 4. frakció (tehát ezt a frakciót 3-szoros szorzóval vesszük figyelembe)
- 53-250 µm mikro-aggregátum frakció (3. frakció) Frakció=(4-2)×DLS 3. frakció (tehát ezt a frakciót 2-szeres szorzóval vesszük figyelembe)
- 250-2000 µm kis makroaggregátum frakció (2. frakció) Frakció=(4-3)×DLS 2. frakció (tehát ezt a frakciót 1-szeres szorzóval vesszük figyelembe)
- >2000 µm nagy makroaggregátum frakció (1. frakció) Frakció=(4-4)×DLS 1. Frakció (vagyis ezt a frakciót nem vesszük figyelembe)

$$DL(Six) = \frac{((0 \times DLS 1. fr.) + (1 \times DLS 2. fr.) + (2 \times DLS 3. fr.) + (3 \times DLS 4. fr.))}{3}$$

A fenti szorzófaktorok kifejezik ugyan a frakciók különböző stabilitását, vagyis azt, hogy a >2000 µm nagy makroaggregátum frakció aggregátum-stabilitása a legkisebb, az <53 µm iszap- és agyag frakció stabilitása pedig a legnagyobb, de ezeknek a Six által javasolt szorzófaktoroknak a használatával számos hibát vétünk:

- ezeknek a szorzófaktoroknak a használatával azt a hamis képet kapjuk, mintha a vizsgált talajunk frakciótömeg-eloszlása teljesen más lenne, mint a valóban mért eredmények,
- a legnagyobb, a >2000 µm nagy

makroaggregátum frakció kizárása azt a hamis képet mutatja, mintha ez a frakció az eredeti talajmintában nem is lenne jelen.

Abból a célból, hogy egyik frakciót se zárjuk ki az index számításakor, ebben az esetben inkább a következő szorzószámokat javasolnánk:

- 1) 1×>2000 µm nagy makro-aggregátumok (1. frakció),
- 2) 2×250-2000 µm kis makro-aggregátumok (2. frakció),
- 3) 3×53-250 µm mikro-aggregátumok (3. frakció),
- 4) 4×<53 µm iszap és agyag (4. frakció).

3. táblázat

A két különböző nedvesítési módszerrel kapott frakciók szárazanyag mennyisége és szemcseméret szerinti eloszlása

Kezelés(5)	Mélység(6)	> 2000 µm frakció(1)			250-2000 µm frakció(2)			53-250 µm frakció(3)			< 53 µm frakció(4)
		1 g talajminta > 2000 µm frakció tartalma (g frakció/g talajminta)(7)	> 2000 µm aggr frakció > 2000 µm homok tartalma (g/g talajminta)(8)	> 2000 µm aggr frakció 53-2000 µm homok frakció összege (g/g talajminta)(9)	1 g talajminta 250-2000 µm frakció tartalma (g frakció/g talaj)(10)	250-2000 µm aggr frakció 250-2000 µm homok tartalma (g/g talajminta)(11)	250-2000 µm aggr frakció 53-2000 µm homok frakció összege (g/g talajminta)(12)	1 g talajminta 53-250 µm frakció tartalma (g frakció/g talaj)(13)	53-250 µm aggr frakció 53-250 µm homok tartalma (g/g talajminta)(14)	1 g talajminta < 53 µm frakció tartalma(15)	
<b>A Lassú nedvesítéses módszerrel kapott frakciók szárazanyag mennyisége és szemcseméret szerinti eloszlása(16)</b>											
szárnélküli kontroll(17)	Felső(22)	0,076	0,002	0,032	0,165	0,025	0,088	0,565	0,291	0,177	
kukorica szár leszántás(18)	Felső(22)	0,144	0,010	0,065	0,229	0,027	0,111	0,410	0,276	0,202	
búza szalma leszántás(19)	Felső(22)	0,141	0,003	0,058	0,250	0,023	0,120	0,415	0,256	0,181	
kukorica szár + búza szalma leszántás (20)	Felső(22)	0,093	0,003	0,038	0,279	0,030	0,127	0,415	0,263	0,201	
szárnélküli kontroll(17)	Alsó(23)	0,058	0,003	0,025	0,243	0,053	0,136	0,506	0,276	0,171	
kukorica szár leszántás(18)	Alsó(23)	0,143	0,023	0,080	0,247	0,028	0,107	0,432	0,227	0,159	
búza szalma leszántás(19)	Alsó (23)	0,137	0,003	0,057	0,246	0,038	0,124	0,426	0,261	0,172	
kukorica szár + búza szalma leszántás(20)	Alsó(23)	0,124	0,005	0,051	0,299	0,030	0,117	0,395	0,241	0,168	
<b>A Gyors nedvesítéses módszerrel kapott frakciók szárazanyag mennyisége és szemcseméret szerinti eloszlása(21)</b>											
szárnélküli kontroll(17)	Felső(22)	0,000	0,000	0,000	0,084	0,020	0,052	0,731	0,375	0,170	
kukorica szár leszántás(18)	Felső(22)	0,000	0,000	0,000	0,097	0,035	0,063	0,651	0,400	0,240	
búza szalma leszántás(19)	Felső(22)	0,000	0,000	0,000	0,081	0,025	0,044	0,649	0,390	0,254	
kukorica szár + búza szalma leszántás(20)	Felső(22)	0,000	0,000	0,000	0,101	0,025	0,058	0,636	0,360	0,259	
szárnélküli kontroll(17)	Alsó(23)	0,000	0,000	0,000	0,111	0,027	0,059	0,695	0,334	0,176	
kukorica szár leszántás(18)	Alsó(23)	0,003	0,000	0,000	0,201	0,021	0,075	0,586	0,334	0,195	
búza szalma leszántás(19)	Alsó(23)	0,000	0,000	0,000	0,178	0,051	0,093	0,596	0,374	0,218	
kukorica szár + búza szalma leszántás(20)	Alsó(23)	0,001	0,000	0,000	0,156	0,013	0,075	0,596	0,331	0,232	

Table 3: Weight of soil mass in the isolated fractions for each treatment and depth layer and their distribution by particle size 2000 µm fraction(1), 250-2000 µm fraction(2), 53-250 µm fraction(3), <53 µm fraction(4), Treatment(5), Depth(6), >2000 µm fraction content of 1 g soil (g fraction g soil<sup>-1</sup>)(7), >2000 µm sand content of >2000 µm aggregate fraction (g g soil<sup>-1</sup>)(8), Amount of >2000 µm aggregate fraction and 53-2000 µm sand fraction (g g soil<sup>-1</sup>)(9), 250-2000 µm fraction content of 1 g soil sample (g fraction g soil<sup>-1</sup>)(10), 250-2000 µm sand content of 250-2000 µm aggregate fraction(11), Amount of 250-2000 µm aggregate fraction and 53-2000 µm sand fraction (g g soil sample<sup>-1</sup>)(12), 53-250 µm fraction content of 1 g soil sample (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(13), 53-250 µm sand content of 53-250 µm aggregate fraction (g g soil sample<sup>-1</sup>)(14), <53 µm fraction content of 1 g soil sample(15), Dry matter content and particle size distribution of the capillary wetted fractions(16), Control without stem(17), Ploughing maize stem into the soil(18), Ploughing wheat straw into the soil(19), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(20), Dry matter content and particle size distribution of the slaked fractions(21), Upper(22), Lower(23)

A DLS számítása: a frakciók tömege az aggregátum-méretű homok-korrekciónak után

Kezelés(1)	Mélység(2)	1 Fr. (> 2000 µm)		2 Fr. (250-2000 µm)		3 Fr. (53-250 µm)		4 Fr. (< 53 µm)	
		Pi0 – Si0	Pi – Si	Pi0 – Si0	Pi – Si	Pi0 – Si0	Pi – Si	Pi0 – Si0	Pi – Si
		1 g talajminta > 2000 µm frakció tartalma > 2000 homok nélkül (g frakció/g talajminta)(3)	1 g talajminta > 2000 µm frakció tartalma > 2000 homok nélkül (g frakció/g talajminta)(4)	1 g talajminta 250-2000 µm frakció tartalma 250-2000 homok nélkül (g frakció/g talajminta)(5)	1 g talajminta 250-2000 µm frakció tartalma 250-2000 homok nélkül (g frakció/g talajminta)(6)	1 g talajminta 53-250 µm frakció tartalma 53-250 homok nélkül (g frakció/g talajminta)(7)	1 g talajminta 53-250 µm frakció tartalma 53-250 homok nélkül (g frakció/g talajminta)(8)	1 g talajminta < 53 µm frakció tartalma(9)	1 g talajminta < 53 µm frakció tartalma(10)
szárnélküli kontroll(11)	Felső(15)	0,074	0,000	0,140	0,064	0,273	0,356	0,177	0,170
kukorica szár leszántás(12)	Felső(15)	0,134	0,000	0,202	0,062	0,135	0,251	0,202	0,240
búza szalma leszántás(13)	Felső(15)	0,138	0,000	0,226	0,056	0,159	0,260	0,181	0,254
kukorica szár + búza szalma leszántás(14)	Felső(15)	0,090	0,000	0,249	0,076	0,152	0,276	0,201	0,259
szárnélküli kontroll(11)	Alsó(16)	0,055	0,000	0,190	0,084	0,229	0,362	0,171	0,176
kukorica szár leszántás(12)	Alsó(16)	0,120	0,000	0,218	0,180	0,205	0,253	0,159	0,195
búza szalma leszántás(13)	Alsó(16)	0,134	0,000	0,208	0,127	0,166	0,222	0,172	0,218
kukorica szár + búza szalma leszántás(14)	Alsó(16)	0,120	0,000	0,269	0,143	0,154	0,265	0,168	0,232

Table 4: Calculation of DLS: mass of the fractions after the aggregate-sized sand correction

Treatment(1), Depth(2), 2000 µm fraction content of 1 g soil sample without >2000 µm sand (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(3), 2000 µm fraction content of 1 g soil sample without >2000 µm sand (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(4), 250-2000 µm fraction content of 1 g soil sample without 250-2000 µm sand (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(5), 250-2000 µm fraction content of 1 g soil sample without 250-2000 µm sand (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(6), 53-250 µm fraction content of 1 g soil sample without 53-250 µm sand (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(7), 53-250 µm fraction content of 1 g soil sample without 53-250 µm sand (g fraction g soil sample<sup>-1</sup>)(8), <53 µm fraction content of 1 g soil sample(9), <53 µm fraction content of 1 g soil sample(10), Control without stem(11), Ploughing maize stems into the soil(12), Ploughing wheat straw into the soil(13), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(14), Upper(15), Lower(16)

A DLS i számított értékei

		DLS 1. FR	DLS 2. FR	DLS 3. FR	DLS 4. FR
szárnélküli kontroll(1)	Felső(5)	1,000	0,543	0,000	0,036
kukorica szár leszántás(2)	Felső(5)	1,000	0,695	0,000	0,000
búza szalma leszántás(3)	Felső(5)	1,000	0,753	0,000	0,000
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Felső(5)	1,000	0,696	0,000	0,000
szárnélküli kontroll(1)	Alsó(6)	1,000	0,559	0,000	0,000
kukorica szár leszántás(2)	Alsó(6)	1,000	0,176	0,000	0,000
búza szalma leszántás(3)	Alsó(6)	1,000	0,389	0,000	0,000
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Alsó(6)	1,000	0,468	0,000	0,000

Table 5: Calculated values of DLSi

Control without stem(1), Ploughing maize stems into the soil(2), Ploughing wheat straw into the soil(3), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(4), Upper(5), Lower(6)

Sajnos ez a szorzófaktor-sorozat is problematikus, mivel ebben az esetben úgy tűnhet, hogy a frakciók szorzószámai egyezést mutatnak a frakciók mennyiségének sorrendjével, tehát

- mintha a 250-2000 µm kis makroaggregátum frakció a valóban mért mennyiséghez képest kétszeres mennyiségben lenne jelen,
- mintha az 53-250 µm mikroaggregátum frakció a valóban mért mennyiséghez képest háromszoros mennyiségben lenne jelen,
- mintha az <53 µm iszap és agyag frakció a valóban mért mennyiséghez képest négyszeres mennyiségben lenne jelen. De ez sem a gyors nedvesítés, sem a lassú nedvesítés esetében sincs így (6-9. ábra).

Így újra egy rossz mennyiségi eloszlás-képet kapnánk.

Ebben az esetben azt mondhatjuk, hogy a frakciók mennyiségének sorrendje (6-9. ábra) normál eloszlást mutat, vagyis azt nem tudjuk lineáris szorzófaktor-sorozattal kifejezni. Emiatt azt javasoljuk, hogy ne használjunk semmilyen szorzófaktorot. Így nem változtatjuk meg a frakciók mennyiségének sorrendjét.

Továbbá ebben az esetben úgy tűnhet, hogy a frakciók szorzószámai egyezést mutatnak az agronómiai talajszerkezetben betöltött szerepükkel: vagyis ebben az esetben is a mikro-aggregátum és az iszap és agyag frakció a legfontosabb. Emiatt az a szorzófaktor-sorozat újra hibásnak bizonyul, mivel a

növénytermesztés számára a 250-2000 µm-nél nagyobb aggregátum-frakciók az értékesek, ezek alakítják ki az agronómiai talajszerkezetet. Emiatt az agronómiai szempontból helyes szorzófaktor-sorrend a következő lenne:

- 1)  $4 \times >2000$  µm nagy makro-aggregátumok (1. frakció),
- 2)  $3 \times 250-2000$  µm kis makro-aggregátumok (2. frakció),
- 3)  $2 \times 53-250$  µm mikro-aggregátumok (3. frakció),
- 4)  $1 \times <53$  µm iszap és agyag (4. frakció).

Továbbá, mivel a talajműveléssel csak a nagyobb aggregátum-frakciók stabilitását tudjuk (bizonyos mértékben) megváltoztatni, és a kisebb (vagyis az 53-250 µm mikroaggregátum frakció és a <53µm iszap és agyag frakció) stabilitását nem tudjuk befolyásolni, emiatt a Six által javasolt képlettel az esetleges talajművelési változások okozta talajszerkezeti változások nehezebben mutathatók ki, amelyek éppen a nagyobb aggregátum frakciókban lennének esetleg számottevőek.

Összességében elmondhatjuk, hogy a Six által javasolt szorzófaktor-sorozat több szempontból is problematikus. Emiatt azt javasoljuk, hogy ne használjunk semmilyen szorzófaktorot, és minden frakciót egyszeres szorzóval szerepeltessünk. Továbbá mivel négy frakciót vizsgáltunk, ennek a négy frakciónak a számával kell elvégeznünk az osztást.

$$DL(\text{saját}) = \frac{((1 \times DLS \text{ 1. fr.}) + (1 \times DLS \text{ 2. fr.}) + (1 \times DLS \text{ 3. fr.}) + (1 \times DLS \text{ 4. fr.}))}{4}$$

6. táblázat

A DL számított értékei

		DL (Six-féle)(7)	Saját(8)
szárnélküli kontroll(1)	Felső(5)	0,22	0,39
kukorica szár leszántás(2)	Felső(5)	0,23	0,42
búza szalma leszántás(3)	Felső(5)	0,25	0,44
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Felső(5)	0,23	0,42
szárnélküli kontroll(1)	Alsó(6)	0,19	0,39
kukorica szár leszántás(2)	Alsó(6)	0,06	0,29
búza szalma leszántás(3)	Alsó(6)	0,13	0,35
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Alsó(6)	0,16	0,37

Table 6: Calculated values of DL

Control without stem(1), Ploughing maize stems into the soil(2), Ploughing wheat straw into the soil(3), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(4), Upper(5), Lower(6), DL (according to Six)(7), Own calculation(8)

### 3.) A legnagyobb mértékű szétiszapolódás (7. táblázat)

$$DLS_i \text{ max} = \frac{[(P_{io} - P_p) + (P_{io} - P_p)]}{2(P_{io} - S_{io})}$$

DL<sub>Si</sub> (max) = a legnagyobb mértékű szétiszapolódás

ahol

P<sub>io</sub>=az I aggregátum frakció teljes mintatömege a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (5. ábra /6b, 7b, 8b/)

P<sub>p</sub>=az I aggregátum frakció teljes homok frakció-tömege a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (homok=a diszpergálás és szitálás után kapott 53 µm-nél nagyobb ásványi frakció) (5. ábra /11a+12a, 14a+15a, 17a/)

7. táblázat

**A DLS i max számított értékei**

		DLS i max 1. FR	DLS i max 2. FR	DLS i max 3. FR	DLS i max 4. FR
szárnélküli kontroll(1)	Felső(5)	1,026	0,947	0,762	1,000
kukorica szár leszántás(2)	Felső(5)	1,074	0,965	1,187	1,000
búza szalma leszántás(3)	Felső(5)	1,020	0,940	0,977	1,000
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Felső(5)	1,030	0,948	0,911	1,000
szárnélküli kontroll(1)	Alsó(6)	1,043	1,005	0,628	1,000
kukorica szár leszántás(2)	Alsó(6)	1,168	0,554	0,876	1,000
búza szalma leszántás(3)	Alsó(6)	1,021	0,778	1,231	1,000
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Alsó(6)	1,031	0,808	0,846	1,000

Table 7: Calculated values of DLS i max

Control without stem(1), Ploughing maize stems into the soil(2), Ploughing wheat straw into the soil(3), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(4), Upper(5), Lower(6)

$$DL(\max) = \frac{1}{N} \sum_1^n [(n+1) - i] DLS_i(\max)$$

$$N = 1, 2, 3$$

$$DL \max (\text{Six}) = \frac{((1 \times DLS \max 2. \text{fr.}) + (2 \times DLS \max 3. \text{fr.}) + (3 \times DLS \max 4. \text{fr.}))}{3}$$

**A DL-értékek számításához hasonlóan (8. táblázat)**

$$DL \max (\text{saját}) = \frac{((1 \times DLS \max 1. \text{fr.}) + (1 \times DLS \max 2. \text{fr.}) + (1 \times DLS \max 3. \text{fr.}) + (1 \times DLS \max 4. \text{fr.}))}{4}$$

8. táblázat

**A DL max számított értékei**

		DL max (Six-féle)(7)	Saját(8)
szárnélküli kontroll(1)	Felső(5)	3,47	0,93
kukorica szár leszántás(2)	Felső(5)	4,34	1,06
búza szalma leszántás(3)	Felső(5)	3,89	0,98
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Felső(5)	3,77	0,97
szárnélküli kontroll(1)	Alsó(6)	3,26	0,92
kukorica szár leszántás(2)	Alsó(6)	3,31	0,90
búza szalma leszántás(3)	Alsó(6)	4,24	1,01
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Alsó(6)	3,50	0,92

Table 8: Calculated values of DL max

Control without stem(1), Ploughing maize stems into the soil(2), Ploughing wheat straw into the soil(3), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(4), Upper(5), Lower(6), DL (according to Six)(7), Own calculation(8)

**4.) Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) (9. táblázat)**

$$EASM = 1 - \left( \frac{DL}{DL \max} \right)$$

9. táblázat

**AZ EASM számított értékei**

		EASM (Six-féle)(7)	Saját(8)
szárnélküli kontroll(1)	Felső(5)	0,94	0,58
kukorica szár leszántás(2)	Felső(5)	0,95	0,60
búza szalma leszántás(3)	Felső(5)	0,94	0,55
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Felső(5)	0,94	0,56
szárnélküli kontroll(1)	Alsó(6)	0,94	0,58
kukorica szár leszántás(2)	Alsó(6)	0,98	0,67
búza szalma leszántás(3)	Alsó(6)	0,97	0,66
kukorica szár + búza szalma leszántás(4)	Alsó(6)	0,96	0,60

Table 9: Calculated values of NSI

Control without stem(1), Ploughing maize stems into the soil(2), Ploughing wheat straw into the soil(3), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(4), Upper(5), Lower(6), DL (according to Six)(7), Own calculation(8)

**Közepes mért átmérő** (10. táblázat)

$$KMÁ = \frac{\sum_i^n X_i \times S_{int}}{W}$$

ahol:

KMÁ=közepes mért átmérő mm-ben,

X<sub>i</sub>=azonos ideig végzett nedves szitálás után kapott, aggregátum-méretű homok frakció tömegével korrigált frakciótömegek az egyes szitákon,

S<sub>int</sub>=a kapott aggregátum frakciót átengedő és felfogó szita pórúsméretének átlaga,

W=az aggregátum-méretű homok frakció tömeggel korrigált kiindulási talajminta tömege.

10. táblázat

**A KMÁ számított értékei**

Kezelés(1)	Mélység(6)	KMÁ Lassú nedvesítés(7)	KMÁ Gyors nedvesítés(8)
szárnélküli kontroll(2)	Felső(9)	0,365	0,079
kukorica szár leszántás(3)	Felső(9)	0,587	0,064
búza szalma leszántás(4)	Felső(9)	0,648	0,064
kukorica szár + búza szalma leszántás(5)	Felső(9)	0,502	0,082
szárnélküli kontroll(2)	Alsó(10)	0,336	0,098
kukorica szár leszántás(3)	Alsó(10)	0,592	0,159
búza szalma leszántás(4)	Alsó(10)	0,606	0,105
kukorica szár + búza szalma leszántás(5)	Alsó(10)	0,630	0,136

Table 10: Calculated values of MWD (Mean weight diameter) Treatment(1), Control without stem(2), Ploughing maize stems into the soil(3), Ploughing wheat straw into the soil(4), Ploughing maize stem + wheat straw into the soil(5), Depth(6), MWD Capillary wetting(7), MWD Slaking(8), Upper(9), Lower(10)

**EREDMÉNYEK**

Dolgozatunkban a talajszerkezet minőségi változását számszerűsítettük két aggregátum-stabilitási mutató segítségével (10-13. és 14-15. ábra) (1) kukorica szár, (2) búzaszalma és (3) kukoricaszár és búzaszalma kijuttatásának hatására.

Six et al. (1998) homokos vályog talajon természetes gyep (Gy), direktvetés (DV) és hagyományos művelés (HM) hatását hasonlította össze az általa javasolt EASM index-szel. Mind a 0-5 cm-es, mind az 5-20 cm-es talajrétegben a természetes gyep (Gy) > direktvetés (DV) > hagyományos művelés (HM) EASM-sorrendet tapasztalt, és ezek az értékek szignifikáns különbséget is mutattak egymáshoz viszonyítva. Six et al. (2000) természetes növényzet (TN), direktvetés (DV) és hagyományos művelés (HM) hatását hasonlította össze vályog, iszapos vályog, homokos vályog és iszapos-agyagos vályog

talajokon. Vizsgálatai szerint az EASM-értékek szignifikáns különbséggel jelezték a vizsgált talajok aggregátum-stabilitásának eltérését a várt természetes növényzet (TN) > direktvetés (DV) > hagyományos művelés (HM) sorrendben, illetve a talajok fizikai féleségével is nagyon jó összefüggést mutattak.

Saját vizsgálatainkban azonban a Six et al. (2000) által javasolt EASM index-szel számolva a kezelések között alig mutatható ki statisztikai különbség (10., 12. ábra), aminek több oka lehet. Tapasztalataink szerint a Six et al. (2000) által javasolt egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) az általa javasolt formában több szempontból is problematikus. A Six et al. (2000) által javasolt index számításakor ugyanis a szerző teljesen önkényesen olyan szorzófaktorokat használ, amellyel

- 1) a >2000 µm nagy makro-aggregátum frakciót nem veszi figyelembe,
- 2) a 250-2000 µm kis makro-aggregátum frakciót 1-szeres szorzóval veszi figyelembe,
- 3) az 53-250 µm mikro-aggregátum frakció frakciót 2-szeres szorzóval veszi figyelembe,
- 4) <53 µm iszap- és agyag frakciót 3-szoros szorzóval veszi figyelembe.

Az index számításakor ezek a szorzófaktorok számos problémát vetnek fel:

- 1) Ezek a szorzófaktorok kifejezik ugyan a frakciók különböző stabilitását (vagyis hogy a legnagyobb aggregátum frakciók a legkevésbé vízállóak, míg a kisebb, 53-250 µm mikro-aggregátum frakció és az <53 µm iszap és agyag frakció a leginkább vízálló), de a valódi mért frakciótömeg-eloszlási képet teljesen és helytelenül megváltoztatják.
- 2) Továbbá a Six et al. (2000) által javasolt szorzófaktor-sorrend nem egyezik a frakciók mennyiségének sorrendjével. Mivel az általunk vizsgált frakciók mennyiségének sorrendje (6-9. ábra) normál eloszlást mutat, azt nem tudjuk lineáris szorzófaktor-sorozattal kifejezni. Emiatt azt javasoljuk, hogy ne használjunk semmilyen szorzófaktorot. Így nem változtatjuk meg a frakciók mennyiségének sorrendjét.
- 3) Továbbá a Six et al. (2000) által javasolt szorzófaktor-sorrend nem mutatja az aggregátum frakcióknak az agronómiai talajszerkezetben betöltött szerepét. A növénytermesztés számára a 250-2000 µm-nél nagyobb aggregátum-frakciók az értékesek, ezek alakítják ki az agronómiai talajszerkezetet. Ennek ellenére Six et al. (2000) a legnagyobb aggregátum frakciót (>2000 µm nagy makro-aggregátum frakció) teljesen kizárja az általa javasolt index számításakor.
- 4) Továbbá, mivel a Six et al. (2000) által javasolt index az 53-250 µm mikroaggregátum frakciót és a <53 µm iszap és agyag frakciót kétszeres, ill. háromszoros szorzóval szerepelteti, éppen azokat a frakciókat veszi nagyobb súllyal számításba, amelyek stabilitását a növénytermesztéssel, ill. agrotechnikával nem tudjuk befolyásolni. Emiatt a fenti szerző által javasolt képlettel az esetleges talajművelési kezelések okozta talajszerkezetbeli változások, amelyek a nagyobb aggregátum-

frakciókban lehetnének számottevőek, így nehezebben mutathatók ki.

5) Továbbá, mivel négy frakciót vizsgáltunk, ennek a négy frakciónak a számával kell elvégeznünk az osztást, nem pedig hárommal, ahogyan azt Six et al. (2000) javasolja.

Összességében elmondhatjuk, hogy a Six által javasolt szorzófaktor-sorozat, és emiatt az általa

javasolt index több szempontból is problematikus. Emiatt azt javasoljuk, hogy ne használjunk semmilyen szorzófaktorot, és minden frakciót egyszeres szorzóval szerepeltessünk.

Mérési adatainkkal kiszámítottuk a Six et al. (2000) által javasolt egységes aggregátum-stabilitási mutatót változatlan képlettel és az általunk javasolt képlettel, amit a 10-13. ábrák mutatnak be.

10-13. ábra: Az EASM értékei a különböző számítási módszerek alapján

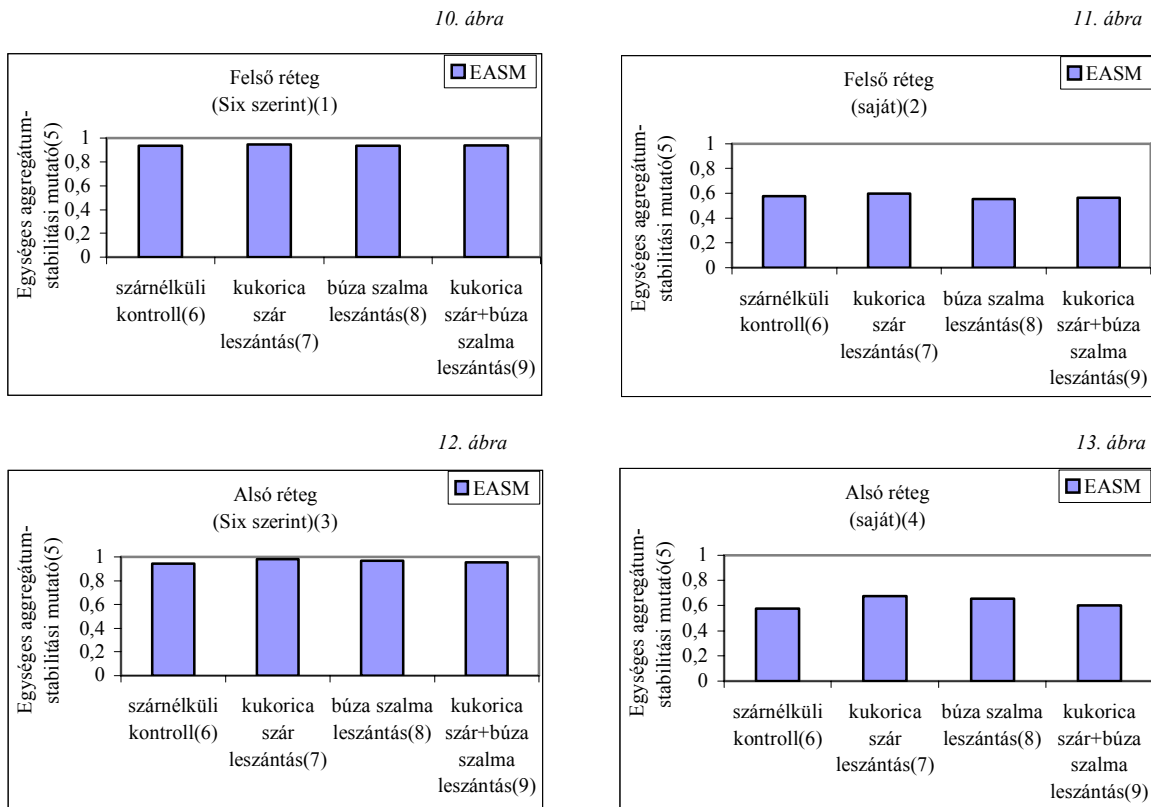


Figure 10-13: Values of NSI according to the different calculation methods

Calculation according to Six – upper layer(1), Calculation according to Huisz – upper layer(2), Calculation according to Six – lower layer(3), Calculation according to Huisz – lower layer(4), Normalized Stability Index(5), Control treatment without stem addition(6), Maize stem treatment(7), Wheat straw treatment(8), Maize stem + wheat straw treatment(9)

Kísérletünkben három különböző szervesanyagnak az aggregátumok vízállóságára gyakorolt hatását vizsgáltuk: (1) kukoricaszár (K), (2) búzaszalma (B), (3) kukoricaszár és búzaszalma (K és B). Harris et al. (1966) és John et al. (2005) azonos növényi maradványok hatását vizsgálta az aggregátumok vízállóságára nézve, és azt tapasztalták, hogy a kukoricaszár nagyobb mértékben növelte azt, mint a búzaszalma. Martens (2000) a kukorica maradványokról azt írta, hogy nehezebben bomlanak le, de aggregátum stabilizáló hatásuk tovább tart, emiatt saját kísérletünkben az aggregátum stabilizáló hatás szempontjából a „Kukoricaszár (K) > Búzaszalma (B)” sorrendre számítottunk.

A Six et al. (2000) által javasolt EASM index-szel számolva a kezelések között alig mutatható ki különbség. A változtatások után, saját képletünkkel

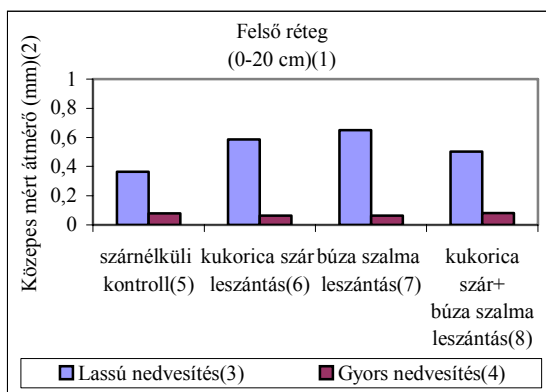
számolva, a kezelések okozta talajszerkezeti változások már látványosabbak a Six et al. (2000) által javasolt képlettel számítottakhoz képest (10-13. ábra). Várakozásainknak és a 6-9. ábráknak megfelelően a különböző minőségű szervesanyagok talajszerkezet-stabilizáló hatását egymáshoz viszonyítva azt tapasztaltuk, hogy az aggregátumok vízállóságát a következő sorrendben növelték: kukoricaszár és búzaszalma (K és B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B). Ez a tendencia az alsó talajrétegben (20-30 cm) a legfeltűnőbb.

A Six et al. (2000) által javasolt EASM index az általunk vizsgált talajtípus (homokos vályog, melynek 50-70%-a 50-2000 µm homok) esetében szintén nem reális: túlságosan magas, EASM=0,95 körüli aggregátum-stabilitást mutat. Saját képletünkkel számítva az EASM=0,6 körüli aggregátum-stabilitást mutat, ami megfelel a talaj

mechanikai összetételének. Ez megegyezik a Six et al. (1998) által publikáltakkal, aki EASM=0,05 és EASM=0,7 értékről számol be apró szemcséjű homoktalajon végzett kísérletében; továbbá EASM=0,4-0,5 körüli értékekről homokos vályog talajon (Six et al., 2000) (mindkét esetben a 0-5 cm-es és 5-20 cm-es talajrétegen).

14-15. ábra: A KMÁ értékei a különböző nedvesítési előkezelések után

14. ábra



15. ábra

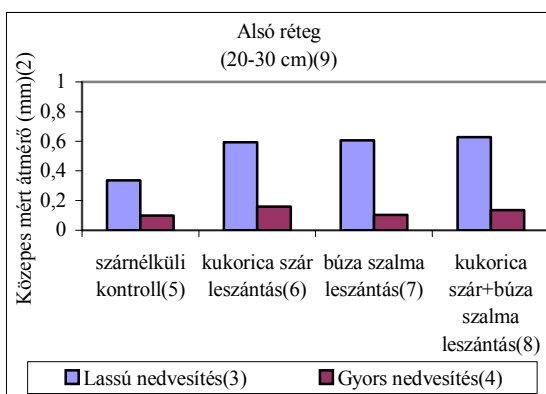


Figure 14-15: Values of MWD (= Mean weight diameter) after the different pre-treatment methods

Upper layer (0-20 cm)(1), Medium diameter (mm)(2), Capillary wetting(3), Slaking(4), Control treatment without stem addition(5), Maize stem treatment(6), Wheat straw treatment(7), Maize stem + wheat straw treatment(8), Lower layer (20-30 cm)(9)

Kiszámoltuk továbbá a van Bavel (1953, in Kemper és Rosneau, 1986) által bevezetett közepes mért átmérő (KMÁ) értékeit (14-15. ábra), amelyet gyakran használnak a talajművelési módok hatásainak összehasonlítására. Angers (1993b) szerint például két egymást követő évben végzett szántás jelentősen csökkentette a vízálló aggregátumok KMÁ-jét a csökkentett műveléshez képest. Haynes és Francis (1993) pedig a KMÁ jelentős növekedéséről számolt be 3 éves rozs > egyéves rozs > 3 éves here > árpa termesztéses kísérletében.

Azonban Stirk (1958) szerint a KMÁ alkalmazása kérdéses olyan esetekben, amikor az aggregátum frakciók mennyisége nem normál eloszlást mutat. Ez esetünkben nem okoz problémát, mert az általunk vizsgált frakciók mennyiségének sorrendje (6-9. ábra) normál eloszlást mutat. Összességében elmondható, hogy az EASM értékekkel szemben a KMÁ Lassú nedvesítés esetén mért értékei már lényeges változásokat mutattak a talaj stabilitásában a különböző szervesanyagok talajba juttatásának hatására. A KMÁ értékeket összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy az aggregátum-stabilitást legnagyobb mértékben a felső talajrétegen (0-20 cm) a gyorsan lebomló és könnyen felvehető, magas glükóz-tartalmú búzaszalma (B) növelte, az alsó talajrétegen (20-30 cm) viszont a kukoricaszár és búzaszalma kombináció. A felső talajrétegen (0-20 cm) tapasztalt búzaszalma (B) > Kukoricaszár (K) > Kukoricaszár és búzaszalma (K és B) sorrendet valószínűleg az okozza, hogy a Búzaszalma (B) leszántás a felső talajrétegen serkentette a mikroaggregátumok közötti ideiglenes, átmeneti kötések keletkezését, amelyek így gyorsan, de csak rövid ideig tartó kötések hoztak létre. Ebből az eredményből arra következtethetünk, hogy valószínűleg ebben az intenzív, kötések kialakító fáziskor vettük a talajmintákat. A második legmagasabb érték a Kukoricaszár (K) leszántása esetében látható: ez a nehezebben lebomló, de tartósabb aggregátum-stabilizáló hatású kukoricamaradványok esetében teljesen megegyezik a vártakkal: a sok fenolos ragasztóanyag feltáródása lassabban megy végbe, mint a Búzaszalma esetében (Raimbault és Vyn, 1991). A Kukoricaszár és Búzaszalma (K és B) együttes alkalmazása az előző két kezeléshez (B és B és K) képest kisebb mértékben, de a kontrollhoz képest mégis lényegesen növelte az aggregátum-stabilitást.

A korábban aggregátum-stabilitás növekedésben várt kukoricaszár és búzaszalma (K és B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) sorrend az alsó talajrétegen a lassú nedvesítéses előkezelésben (LN) volt megfigyelhető.

A fent leírt eredmények mind a lassú nedvesítéses előkezelésre (LN) vonatkoznak. A gyors nedvesítés (GyN) esetében a felső talajrétegen a szervesanyag okozta aggregátum-stabilitás javulás a kontrollhoz képest már nem szignifikáns. Ezt valószínűleg az okozza, hogy a szervesanyagok hatására a mikroaggregátumok között csak ideiglenes, nem túl erős kötések jönnek létre, amelyeket a gyors nedvesítés szétrombol, így a makro-aggregátumok stabilitása lényegesen nem változik. Az alsó talajrétegen a kukoricaszár (K) > kukoricaszár és búzaszalma (K és B) > búzaszalma (B) sorrendet valószínűleg a kukoricamaradványokból lassabban felszabaduló, de tartósabb aggregátum-stabilizáló hatású ragasztóanyagok okozzák.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A növénytermesztés számára nagyon fontos az optimális, morzsás talajszerkezet, melyben a talaj művelt rétege olyan 1-10 mm-es egységekből,



aggregátumokból áll, amelyek szerkezetüket még a víz, illetve a talajművelés talajszerkezet-romboló hatásának ellenében is megtartják. Mivel az aggregátumok nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban az aggregátumok vízállóságának mértékétől függ. Ezt a fontos talajtulajdonságot és ennek a növénytermesztés okozta változásait már a múlt század eleje óta számos országban, köztük hazánkban is nagy intenzitással, számos módszerrel vizsgálták, és teszik ezt napjainkban is. Ezen vizsgálatok eredményeinek értékelhetősége azonban a vizsgálati módszerek nagyon különböző, nem a természetes folyamatokat leíró volta miatt kétséges. Kutatásunk célja emiatt egy standardizált és tudományosan megalapozott módszer keresése és hazai viszonyok közötti alkalmazhatóságának vizsgálata volt.

A Six et al. (2000) által javasolt egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) az általa javasolt vizsgálati módszer során kiküszöböli a talaj-aggregátumok vízállóságának vizsgálatát zavaró körülményeket. Az EASM az aggregátumok stabilitását úgy számítja, hogy összehasonlítja azok megoszlását azonos nagyságú rombolóerő alkalmazása előtt és után.

Six et al. (2000) négy különböző típusú talajon végzett három-három eltérő talajművelési mód alól két mintavételi mélységből vett mintáit a van Bavel (1953) által leírt KMÁ és a van Steenberg (1991) által bevezetett, Six et al. (2000) által továbbfejlesztett EASM értékekkel jellemezve a következőkre jutott. A KMÁ értékek változása a lassú nedvesítéses előkezelés után sem a talajművelés intenzitásának növekedésével, sem mintavételi mélységgel nem mutattak összefüggést. A minták gyors nedvesítése a KMÁ értékek drasztikus csökkenését okozta, de ezek az értékek szoros összefüggést mutattak a talajművelés intenzitásának változásával: mindkét mintavételi mélységben a természetes vegetáció > csökkentett talajművelés > hagyományos művelés sorrendben csökkentek. Az EASM értékei a hagyományos művelés esetében lényegesen alacsonyabbak voltak a csökkentett műveléshez képest. A csökkentett és a hagyományos művelés közötti különbség csak a homok-korrekció után volt számottevő. Ez igazolja Six et al. (2000) feltételezését, hogy az aggregátum-méretű homok frakció tömegével való korrekció növeli az EASM érzékenységét a talajszerkezetbeli változásokra. A talajművelés intenzitásának növekedésével az EASM csökkent a természetes vegetáció > csökkentett talajművelés > hagyományos művelés sorrendben. Ezek alapján az EASM megfelelő jelzőszámnak látszik a talajművelés okozta talajszerkezet-változás nagyságának megbízható és pontos összehasonlítására.

Dolgozatunkban a talajszerkezet minőségi változását számszerűsítettük két aggregátum-stabilitási mutató segítségével (10-13. és 14-15. ábra) (1) Kukorica szár, (2) Búzaszalma és (3) Kukoricaszár és búzaszalma kijuttatásának hatására.

Saját vizsgálatunkban a Six et al. (2000) által javasolt EASM index-szel számolva a különböző szervesanyag kezelések okozta talajszerkezeti változások között alig mutatható ki különbség, aminek oka az EASM értéknek szerintünk több szempontból is problematikus számítási módja. A hibák elemzése után javaslatot tettünk a képlet módosítására, és így a kezelések okozta talajszerkezeti változások már látványosabbak. Várakozásainknak megfelelően a különböző minőségű szervesanyagok talajszerkezet-stabilizáló hatását egymáshoz viszonyítva azt tapasztaltuk, hogy az aggregátumok vízállóságát a következő sorrendben növelték: kukoricaszár és búzaszalma (K és B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B). A Six et al. (2000) által javasolt EASM index az általunk vizsgált homokos vályog talajtípus esetében szintén nem reális: túlságosan magas, EASM=0,95 körüli aggregátum-stabilitást mutat. Saját képletünkkel számítva az EASM=0,6 körüli aggregátum-stabilitást mutat, ami megfelel a talaj mechanikai összetételének.

Ezek után kiszámoltuk a van Bavel (1953, in Kemper és Rosneau, 1986) által bevezetett közepes mért átmérő (KMÁ) értékeit. Saját eredményeink alapján a KMÁ értékei mind a Six et al. (2000), mind az általunk javasolt EASM értékeknél érzékenyebben mutatták a különböző minőségű szervesanyagok talajszerkezet-stabilizáló hatását. A KMÁ Lassú nedvesítés esetén mért értékei lényeges változásokat mutattak a talaj stabilitásában a különböző szervesanyagok talajba juttatásának hatására. Az aggregátum-stabilitást legnagyobb mértékben a felső talajrétegben (0-20 cm) a gyorsan lebomló és könnyen felvehető, magas glükóz-tartalmú Búzaszalma (B) növelte, az alsó talajrétegben (20-30 cm) viszont a kukoricaszár és búzaszalma kombináció. De a KMÁ Gyors nedvesítés esetén mért értékei már nem mutattak lényeges változást a kontrollhoz képest. Ezt valószínűleg az okozza, hogy a szervesanyagok hatására a mikroaggregátumok között csak ideiglenes, nem túl erős kötések jönnek létre, amelyeket a gyors nedvesítés szétrombol, így a makroaggregátumok stabilitása lényegesen nem változik.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a „Precíziós Mezőgazdaság Program: Termőhely-specifikus precíziós növénytermesztési rendszer kidolgozása és széleskörű gyakorlati elterjesztése” elnevezésű kutatási program tette lehetővé (OTKA-szám: TS 049875). Ezúton szeretnénk megköszönni a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék vezetőinek, Dr. Kismányoky Tamás és Dr. Hoffmann Sándor uraknak, hogy a mintavételezést lehetővé tették számunkra, Dr. Tóth Zoltán és Zsittyán Tamás uraknak pedig a mintavételezéskor nyújtott segítséget, Radimszky László és Dr. Kődöböcz László uraknak a mintavételezéskor és a minták feldolgozásakor nyújtott nélkülözhetetlen segítségét.

## IRODALOM

- Angers, D. A.-Bissonnette, N.-Légère, A.-Samson, N. (1993a): Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73: 39-50.
- Angers, D. A.-Samson, N.-Légère, A. (1993b): Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73: 51-59.
- Beare, M. H. (1994): Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. A. J.* 58: 787-95.
- Beare, M. H.-Bruce, R. R. (1993): A comparison of methods for measuring water-stable aggregates: Implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma* 56: 87-104.
- Brady, N. C. (1990): *The nature and properties of soils*. 10<sup>th</sup> ed. New York: Macmillan
- Bronick, C. J.-Lal, R. (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124. 1-2: 3-22.
- Cambardella, C. A.-Elliott, E. T. (1993): Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1071-1076.
- Caron, J.-Kay, B. D.-Stone, J. A. (1992): Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1583-1590.
- Chan, K. Y.-Heenan, D. P. (1999): Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1841-1844.
- Christopher, T. B. S.-Mokhtaruddin, A. M.-Husni, M. H. A.-Abdullah, M. Y. (1996): A simple equation to determine the breakdown of individual aggregate size fractions in the wet-sieving method. *Soil and Tillage Research* 45. 3. 11: 287-297.
- Dexter, A. R. (1988): Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Res.* 11: 199-238.
- Di Gléria J.-Klimes-Szmik A.-Dvoracek M. (1957): *Talajfizika és talajkolloidika*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 340-475, 665-692.
- Edwards, A. P.-Bremner, J. M. (1967): Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18: 64-73.
- Elliott, E. T. (1986): Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
- Emerson, W. W. (1977): Physical properties and structure. in *Soil factors and crop production in semi-arid environment*. (ed: Russel, J. S.-Greacen, E. L.) University of Queensland Press. 78-104.
- Gollany, H. T.-Schumacher, T. E.-Evenson, P. D.-Lindstrom, M. J.-Lemme, G. D. (1991): Aggregate stability of an eroded and desurfaced Typic Argiustoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 811-816.
- Hadas, A. (1987): Long-term tillage practice effects on soil aggregation modes and strength. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 191-197.
- Harris, R. F.-Chesters, G.-Allen, O. N. (1966): Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.* 18: 108-169.
- Haynes, R. J.-Francis, G. S. (1993): Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44: 665-675.
- Hofman, G.-de Leenheer, L. (1975): Influence of soil pre-wetting on aggregate instability. *Pedologie* 25: 190-198.
- John, B.-Yamashita, T.-Ludwig, B.-Flessa, H. (2005): Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128: 63-79.
- Kay, B. D. (1998): Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal, R.-Kimble, J. M.-Follett, R. F.-Stewart, B. A. (Eds.): *Soil Processes and the Carbon Cycle*, CRC Press, Boca Raton, FL. 169-197.
- Kemper, W. D.-Rosenau, R. C. (1984): Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1001-1006.
- Kemper, W. D.-Rosneau, R. C. (1986): Aggregate Stability and Size Distribution in: *Methods of Soil Analysis* (Klute, A. ed.) Agronomy. 9/1
- Lal, R. (1991): Soil structure and sustainability. *J. Sustain. Agric.* 1: 67-92.
- Lyles, L. J. D. (1974): Soil detachment from clods by rainfall: effects of wind, mulch cover and essential soil moisture. *Trans. ASAE* 17: 697-700.
- Lynch, J. M.-Elliott, L. F. (1983): Aggregate stabilization of volcanic ash and soil during microbial degradation of straw. *Applied and Environmental Microbiology* 45: 1398-1401.
- Márquez, C. O. (2004): Aggregate-size stability distribution and Soil Stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 725-735.
- Martens, D. A. (2000): Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.* 32: 361-369.
- Miller, R. M.-Jastrow, J. D. (1990): Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 22: 579-584.
- Monreal, C. M.-Schnitzer, M.-Schulten, H. R.-Campbell, C. A.-Anderson, D. W. (1995): Soil organic structures in macro and microaggregates of a cultivated brown chernozem. *Soil Biol. Biochem.* 27: 845-853.
- Németh, I. (1982): Wirkung organischer und anorganischer Düngung auf Ertrag und Bodeneigenschaften. *Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch. - Wiss. DDR, Berlin* 97-102.
- Oades, J. M.-Waters, A. G. (1991): Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29: 815-28.
- Paul, E. A. (1984): Dynamics of organic matter in soils. *Plant and Soil* 76: 275-285.
- Perfect, E.-Kay, B. D.-van Loon, W. K. P.-Sheard, R. W.-Pojasok, T. (1990): Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 173-179.
- Raimbault, B. A.-Vyn, T. J. (1991): Crop rotation and tillage effects on maize growth and soil structural stability. *Agron. J.* 83: 979-985.
- Six, J.-Elliott, E. T.-Paustian, K.-Doran, J. W. (1998): Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Am. J.* 62: 1367-1377.
- Six, J.-Elliott, E. T.-Paustian, K. (1999): Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.
- Six, J.-Elliott, E. T.-Paustian, K. (2000): Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1042-1049.
- Stefanovits P.-Filep Gy.-Füleky Gy. (1999): *Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 131-150.

Stirk, G. B. (1958): Expression of soil aggregate distributions. Soil Sci. 86: 133-135.

Tisdall, J. M.-Oades, J. M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci., 33: 141-163.

van Steenberg, M.-Cambardella, C. A.-Elliott, E. T.-Merckx, R. (1991): Two simple indexes for distribution of soil complexes among size classes. Agric. Ecosyst. Environ. 34: 335-340.

Várallyay Gy. (2002): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest (egyetemi jegyzet)