

## **Erózió és művelés okozta anyagvándorlás szántóföldön**

*Jakab Gergely<sup>1</sup>, Centeri Csaba<sup>2</sup>, Kiss Klaudia<sup>1</sup>, Madarász Balázs<sup>1</sup>, Szalai Zoltán<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest

<sup>2</sup>SZIE MKK, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, Gödöllő

### **Összefoglalás**

A szántóföldi művelés meredek lejtőkön jelentősen gyorsítja az eróziót. A lehordódott feltalaj a tábla aljában akár több méter vastag humuszos réteget hozva létre halmozódik fel. Az erózió szelektivitása és az eltemetett rétegekben lezajló folyamatok miatt a szedimentálódott rétegek jelentősen különbözhetnek az eredeti művelt réteg tulajdonságaitól. Egy külső-somogyi szántó lejtőhordalék szelvényét mintáztuk, a mintákból meghatároztuk a szemcseösszetételt a szervesanyag-tartalmat, szénsavasmész-tartalmat és a humuszminőséget. Ezen értékeket egymáshoz és a terület kevésbé erodált referencia szelvényének értékeihez hasonlítva becsültük az erodált és eltemetett rétegekben lejátszódó stabilizációs, mineralizációs és vándorlási folyamatok intenzitását. A mintegy 3 m mély szelvény eltemetett rétegeinek szemcseösszetételében tapasztalt változások nem egyértelműek. A szervesszén-tartalom a felszíntől távolodva fokozatosan csökken, a humuszösszetétel nem változik, azaz az eltemetődött humusz minden frakciója egyenletesen mineralizálódik, illetve e területen nem mutatható ki a humuszanyagok szelektív eróziója.

### **Summary**

Tillage applications significantly increase soil erosion especially on steep slopes. Soil loss is generally deposited at the bottom of the arable land forming a several meters thick humic horizon. Due to selective erosion and because of the processes taken place in the profile the deeper horizons have different properties than the original topsoil has. A catena situated on forest, pasture and arable field was sampled in five points to determine the particle size distribution, CaCO<sub>3</sub> content, soil organic carbon and humus quality. Comparing the results with each other estimations were made to describe the mineralisation, sequestration or migration processes in the deposited soil layers. Particle size distribution changes among the layers of the three meter deep depositional profile are not tendentious. Soil organic carbon decreases with depth while humus quality does not change in the profile that means each humus fraction as a whole uniformly mineralises and there are no signs of selective organic matter erosion in the deposited horizons.

### **Bevezetés**

A legújabb kutatások szerint a talajerózióknak – a makrotápelemek mozgatása mellett – jelentős szerepe van a globális szén körforgalomban is (KERTÉSZ & CENTERI, 2006). A felületi rétegerózió a talajok legfelső rétegét

érinti, ahol a legmagasabb a szervesszén mennyisége (KERTÉSZ, 2004). Az aggregátumok által védett szerves széntartalom a csepperózió szerkezetromboló hatására feltáródik (KERÉNYI, 1991). Mivel ez az alkotó kisebb fajsúlyú, mint az ásványi részek, ezért a megmozdított anyagban jelentős, akár az *in situ* talajhoz képest ötszörös mennyiségben (LAL, 2005) jelenik meg. E folyamat a szelektív erózió, melynek hatására a talaj nem teljes egészében erodálódik, hanem egyes, jellemzően kolloid méretű összetevői a megmozdított anyagban feldúsulnak, míg a többi talajalkotó aránya szükségszerűen lecsökken. A szerves anyag mennyisége jól korrelál a talaj agyagtartalmával (FUCHS et al. 2010), ezért a felhalmozódás térszínein nagyobb szerves szén- és agyagtartalom várható, bár ez a környezeti feltételek függvényében el is maradhat (STAVI & LAL, 2011). Egyes eső-szimulátoros mérések alapján a szén feldúsulása jelentősebb az agyagásvány dúsulásánál (WANG et al., 2010). Vonalas erózió esetén nem mutatható ki szelektivitás (SCHIETTECATTE et al., 2008).

A humusz nagyon változatos összetételű, nehezen definiálható szervesanyag, melyet leggyakrabban funkcionális és morfológia (ZANELLA et al. 2011), ill. kémiai összetétel (STEVENSON, 1982) alapján osztályoznak. Eltérő jellegű növényzeti borítás alatt eltérő összetételű humusz alakul ki (AIKEN et al., 1985), bár esetenként az alapkőzet és a klíma jobban hat a humusz minőségére, mint a növényzet (PONGE et al., 2011). A humusz és a talaj agyag frakciója szorosan kötődik egymáshoz, és alapvetően határozza meg a talaj tulajdonságait. A kis molekulatömegű, savas karakterű, vízdoldható, mobilis fulvósavaknak egyszerűbb az összetétele ezért velük kapcsolatban sokkal több kutatási eredménnyel rendelkezünk (GHABBOUR & DAVIES, 2009). Ezeknek aktív ligandumuk van, ezért kationcsere kapacitásban, komplexképzésben és a talajszerkezet kialakításában is csekélyebb a szerepük mint a polimerizáltabb humuszalkotóknak, bár e tulajdonság igen intenzíven változhat az aktuális pH és kation-koncentráció függvényében (TOMBÁ CZ et al., 1996). Egyes szénfrakciók csak kis távolságra szállítódnak, mások pedig jó eséllyel eljutnak az élővizekig is. Ezzel összhangban a kisebb molekulatömegű, labilisabb formák ásványosodása is sokkal jelentősebb. Hazai, művelt, erdőtalajjal fedett területeken, a lejtés irányában megnő a kisebb molekulatömegű alkotók aránya a polimerizáltabb, értékesebb humuszanyagok rovására (BORCSIK et al., 2011). A talaj szervesszén-tartalmának feldúsulása a hordalékban időben és térben is eléggé változékony, függ a csapadékeseményektől, a területhasználattól és az évszaktól. Esetenként a talaj szervesszén-tartalmának térbeli változékonyságát jobban befolyásolja a művelésmód, mint az erózió (ABBASZADEH AFSHAR et al., 2010)

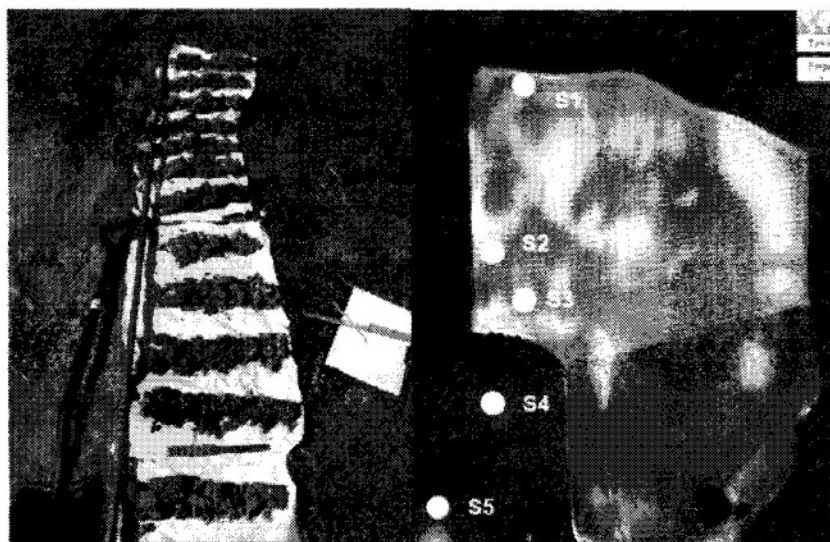
A lerakódott hordalékban található szerves szén sorsa nem pontosan tisztázott (KUHN et al., 2009). Az egyik felfogás szerint eltemetődik, és ezzel hosszútávra kikerül a körforgásból (CHAPLOT & POESEN, 2011). E szénraktár becsült nagysága mintegy 0,5–1,5 Gt év<sup>-1</sup> szén (SMITH et al., 2001). A másik felfogás alapján a hordalékban lévő szerves szén hasonló nagyságrendben (1Gt

év<sup>-1</sup>) mineralizálódik, és ezzel ismét belép a körforgásba (LAL, 2003; JACINTHE et al., 2004). Az intenzív talajművelés szintén csökkenti a talaj szervesszéntartalmát, ennek ellenére a mineralizáció a hordalékban jellemzően nagyobb, mint az eredeti feltalajban (LAL, 2005).

Jelen közlemény célja, hogy egy külső-somogyi mintaterületen mélyített fúrások alapján számszerűsítsük a szelektív erózió általi mennyiségi és minőségi változásokat az eltemetett hordalékrétegekben. A vizsgálatok az egyes rétegek agyag, szerves szén, összes nitrogén és szénsavasmész tartalmára, valamint a humuszanyagok összetételére irányulnak. További célként jelöltük meg az alkalmazott humuszminőség vizsgálatok metodikájának értékelését és a lehetséges fejlesztési irányok kijelölését.

### Anyag és módszer

Vizsgálatainkat Somogyacsa külterületén, Gerézdpuszta mellett (N46,5979°; E17,9879°) végeztük. A mintaterület egy összetett lejtővel jellemezhető katéna, melynek alsó részén intenzíven művelt szántó, e fölött lágyszárú vegetációval fedett terület, a hegytetőn akácerdő található. A lejtőn lösz alapkőzeten csernozjom barna erdőtalaj különböző mértékben erodált változatait találjuk, melyeket helyenként földes kopárok tagolnak (DÖVÉNYI, 2011).



1. ábra Az S1 szelvény fúrásmagjai és a mintavételi helyszínek (Google)

A katéna mentén, az eltérő fedettségű és talajvastagságú foltokat mintázva 5 fúrást mélyítettünk (1. ábra). A mintákat szintenként, illetve 20–30 cm-es rétegenként osztottuk fel és laboratóriumban vizsgáltuk.

A minták szemcseösszetételének meghatározása nátrium-pirofoszfátos peptizálás után az 500 µm feletti frakcióból nedves szitálással, az 500 µm alatti frakcióból lézeres diffraktometriával történt (Fritch Analysette22 MicroTech).

A minták szén-sav-mész-tartalmát Scheibler-féle kalciméterrel, összes szervesszén- és összes nitrogén-tartalmát Tekhmar-Dohrmann Apollo NDIR spektroszkóppal határoztuk meg. A humuszminőséget a HARGITAI (1955) féle két oldószeres módszer és az E4/E6 módszer (TAN 2003) szerint is vizsgáltuk. Mindkét módszer a Na-sók által oldott humuszanyagok fényelnyelését méri a látható fény tartományában. Az oldatok abszorbanciáját Shimadzu 1800 UV-VIS fotométerrel mértük. A Hargitai-féle humuszstabilitási számot (Q) a NaF-os és a NaOH-os szűrletnek a látható tartomány meghatározott hullámhosszain mért abszorbanciáinak arányából, az E4/E6 értékét a NaOH-os szűrlet 465 és 665 nm-en mért abszorbanciájának hányadosából számítottuk. A fényelnyelést a 190–400nm (UV) tartományban is mértük, mert a humuszanyagok jellegzetességei e tartományban is jelentkeznek (TOMBÁ CZ et al., 2001).

### Eredmények

A legmagasabb ponton, az erdőben található szelvényben 10 cm, a gyepen feltártban 60 cm, a szántó aljában pedig 290 cm a szolum vastagsága. Az S2 és S3 szelvényekben földes kopárt (alapkőzet a felszínen) és a B szint közepéig erodált erdőtalajt (alapkőzet 35 cm mélységben) találtunk.

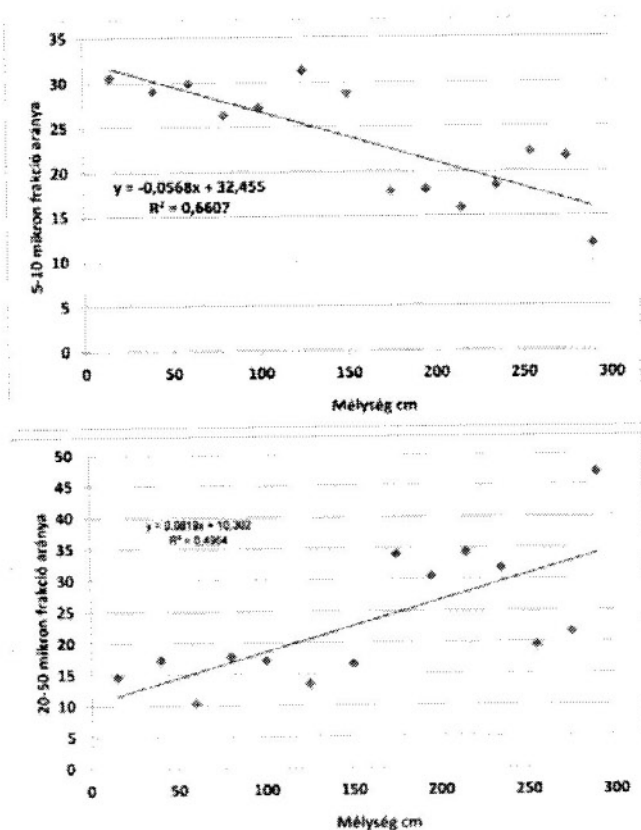
Szelvény	Mélység cm	Agyag <0,002mm %	Iszap 0,002-0,02mm %	Homok 0,02-2mm %	CaCO <sub>3</sub> %	pH <sub>e</sub>
S1	0-30	10,7	73,3	16,0	13,1	8,4
	30-50	11,3	69,8	18,9	11,1	8,3
	50-70	10,1	71,9	18,0	9,3	8,2
	70-90	15,9	65,8	18,3	8,9	8,1
	90-110	14,3	67,4	18,3	6,4	8,2
	110-135	10,8	75,4	13,8	8,9	8,2
	135-165	10,6	71,4	18,1	14,8	8,2
	165-185	13,9	46,9	39,1	23,7	8,2
	185-205	12,8	49,1	38,1	23,3	8,2
	205-225	13,2	44,2	42,6	26,7	8,2
	225-245	16,1	49,4	34,5	20,4	8,3
	245-265	19,8	59,0	21,1	9,3	8,2
	265-285	18,4	58,3	23,3	12,7	8,2
290-	11,6	37,1	51,3	20,0	8,3	
S4	0-20	8,5	67,0	24,5	5,4	8,1
	20-35	12,8	61,3	25,9	5,0	8,3
	35-50	15,0	57,8	27,2	3,3	8,3
	50-	12,1	37,9	50,0	22,2	8,2

1. táblázat S1 (felhalmozódási) és S4 (referencia) szelvény szemcseösszetétel, szén-sav-mész tartalom és kémhatás értékei

Minden szelvény minden szintje – beleértve az erdő alatti szelvényt is – tartalmazott szén-sav-mészet ami alapvetően az erdőirtások utáni

visszameszeződés eredménye, azonban a katénán történő, gyakran az alapkőzetet érintő eróziós áthalmazódások is jelentős mennyiségű  $\text{CaCO}_3$ -ot szállítottak.

A katéna legkevésbé zavart szelvénye a jelenleg permanens lágyszárú vegetációval fedett S4, mely ugyan szintén erodált, de itt található a legalacsonyabb  $\text{CaCO}_3$  tartalom, illetve a textur-differencia is számottevő (1. táblázat).

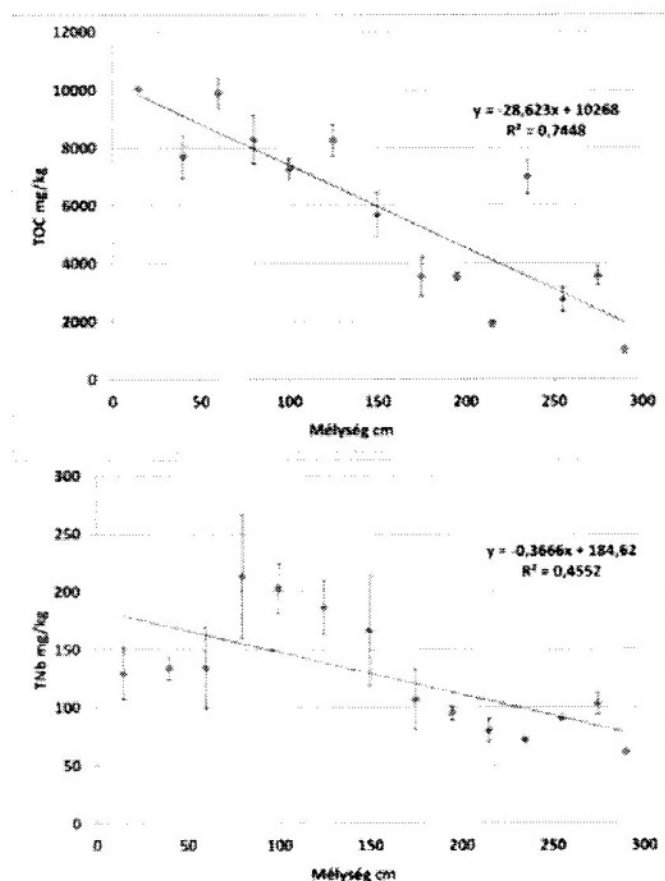


2. ábra Az 5 és 10 mikron közötti frakció, illetve a nagyon finom homok frakció arányának változása az S1 szelvényben, a mélység függvényében

A területet eredetileg fedő barna erdőtalajok teljes visszameszeződése miatt az egyes rétegek szénsavmész-tartalma nem tájékoztat a lepusztulás, illetve felhalmozódás mennyiségéről, üteméről. Az S1 szelvény rétegeiben az agyag, az iszap és a homok frakciók arányát tekintve nem látunk jelentős eltéréseket, szembevetve azonban a 150–165 cm környékén húzódó éles határvonal a homok és iszapfrakció tekintetében. Az ennél mélyebb rétegekben jellemzően alapkőzet eredetű hordalék halmozódhatott fel, ami a felsőbb térszínek földes kopár foltjaiból származott, míg 150 cm mélység felett döntően

a szolomból származó hordalék szedimentálódott. A szemcsefrakciók részletesebb vizsgálatával találtunk olyan szűkebb osztályokat, melyek gyengén korrelálnak a mélységgel (2. ábra). Ez utalhatna a szelvényen belüli átrendeződési folyamatokra, azonban sokkal valószínűbb az egyes rétegek teljes függetlensége.

A szerves szén a referencia szelvény "A" szintjében 2,12%, ami a szántott területeken jelentősen lecsökken. Az S1 szelvény legfelső rétegében is éppen hogy meghaladja az 1%-ot, illetve a szelvény mélyebb rétegei felé folyamatosan csökken (3. ábra). A szerves szén esetében sokkal inkább meghatározó a szelvényen belüli folyamatok – jellemzően a mineralizáció – jelentősége, mint a szemcseösszetétel tekintetében.



3. ábra Az összes szerves szén (TOC) és a nitrogén (TNb) tartalom változása az S1 szelvényben, a mélység függvényében

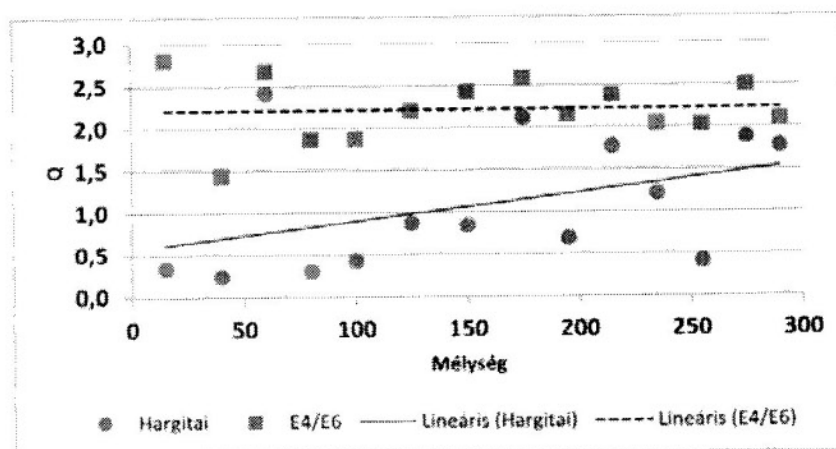
A nitrogén mennyisége és az S1 szelvény mélysége között nincs értékelhető összefüggés. Igaz, hogy a legkisebb értékek a szelvény legmélyebb

részén vannak, de a 170–300 cm-es rétegen belül nem találunk jelenős különbséget. A 80–150 cm közötti réteg elkülönül a szelvény többi részétől, itt a mélységgel konzekvensen csökkenő, de így is magas N tartalmat mértünk. E N többlet nem a humuszból származik, valószínűleg a N műtrágyázás és az erózió együttes hatása tükröződik benne, azonban pontosabb becslést csak további vizsgálatokkal tehetnénk.

A Hargitai módszer szerinti szuszpenziós arányok esetében – dacára a jellemzően alacsony (0,3–3,6 %) humusztartalom értékeknek – minden esetben a műszer felső méréshatára (4 abszorbancia) feletti értékeket mértünk. Következésképpen célszerűnek tűnik az 1:10 szuszpendálás helyett az 1:40 arány alkalmazása, mert – méréseink alapján – a szuszpendált mintából mért és annak hígítása után kapott abszorbanciák aránya a hullámhossz függvényében jelentősen változik.

Mindkét módszer a látható fény tartományában vizsgálja a humuszanyagok elnyelését. Ez érthető, hiszen az oldat színe összefügg a humusztartalom minőségével, azonban a két változó között nincs direkt összefüggés. Méréseink szerint egyik vizsgálandó hullámhossz értéknél sincsen elnyelési csúcs, valószínűleg ezen hullámhossz értékek kitüntetett szerepe nem az anyagminőségből adódik. Ezzel szemben a 300 nm alatti tartományban mind a NaOH-os, mind a NaF-os oldat emelkedő abszorbanciát mutat, sokszor csúcsokkal (TOMBÁ CZ et al. 2001). Igaz, hogy a NaOH esetében az UV tartomány esetenként meglehetősen zajos, és mint ilyen, nehezen értelmezhető, azonban a NaF-dal oldott mintáknál határozott csúcsot tapasztaltunk 200 nm-en.

A humuszösszetétel tekintetében sem a Hargitai, sem az E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> módszer szerinti vizsgálatokkal nem tapasztaltunk változást az eltemetett rétegekben (4. ábra). Habár a nagyobb E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> arány kisebb molekulatömeget, vagy kevesebb aromás komponenst feltételez (SENESI et al., 2003), TOMBÁ CZ et al. (2001) leírt olyan frakcionált huminsavat, melynek E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> értékei a fulvosav kategóriába estek. A szántóföldön és a lágyszárú vegetációval borított területen mért humuszminőség adatok nem különülnek el egymástól, ellenben a másodlagosan erdősült, igen vékony talajú területen (S5) magasabb Q értékeket mértünk, ami polimerizáltabb humuszra utal.



4. ábra A Hargitai féle Q érték és az E4/E6 értékének változása a mélység függvényében az S1 szelvényben

A különbség oka nem egyértelmű, valószínűleg a szántóföldi művelés okozta talajfizikai degradáció és a minimális, kedvezőtlen C:N arányú szervesanyag visszapótlás következménye. Habár mindkét módszer a humuszminőség változásait hivatott számszerűsíteni, meglehetősen gyenge összefüggés adódik a két módszer által mért eredmények között.

### Következtetések

A vizsgált mintaterületen jelentős mennyiségű, nagy szervesanyag tartalmú feltalaj erodálódott. A hordalék jelentős része nem jutott el az élővizekbe, mintegy 2,5m vastagságban halmozódott fel a szántó aljában. A vizsgált erdőtalajok visszameszeződése és az erőteljes erózió miatt a szénsavmész tartalom vizsgálata ezen a mintaterületen nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, e módszer használata csak mészmertes szolumú katénák esetében javasolható. Az egymásra rétegződött hordalékszintek között szemcseösszetétel tekintetében nincs kapcsolat, a szelvényen belüli szemcse osztályozódás nem mutatható ki. Szemben az ásványi alkotók mélységtől független rendszerével a szervesszén tartalom a lejtőhordalék szelvény mélyebb rétegei felé haladva egyértelmű csökkenést mutat. Ennek oka, hogy az ásványi fázissal ellentétben a szerves széntartalom változásához nincs szükség az egyes alkotórészek fizikai elmozdulására. Az eltemetett humuszanyagok helyben mineralizálódnak, és feltehetően CO<sub>2</sub> formájában távoznak el a talajból. A feltáródás folyamata egyformán érinti a szerves szénkészlet egészét, a humuszösszetételben az egyes rétegek között nincs eltérés.



A látható fény hullámhosszain végzett humuszminőség vizsgálatok nem mutattak jelentős különbséget az eltemetett rétegekben. A másodlagos akácerdő alig pár centis feltalajában polimerizáltabb humuszt mértünk, mint a vizsgált rétegek bármelyikében, ami ellentmond a klasszikus, vegetáció függő humuszosodási alapvetésnek. Ez arra enged következtetni, hogy a meredek térszínen végzett intenzív talajművelés és a talajerózió nemcsak a humusz mennyiségét, hanem annak minőségét is károsan befolyásolja. A folyamatok konkrétabb leírásához a vizsgálatok térbeli kiterjesztése szükséges.

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezzük ki köszönetünket DI GLÉRIA MÁRIÁNAK és MÉSZÁROS ERZSÉBETNEK a laboratóriumi vizsgálatok során nyújtott segítségükért, illetve az OTKA PD-100929 témájának a támogatásért.

### Irodalomjegyzék

- ABBASZADEH AFSHAR F., AYOUBI S. & JALALIAN A. 2010. Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using  $^{137}\text{Cs}$  technique in a cultivated complex hillslope in western. *Iran Journal of Environmental Radioactivity* **101**. 606–614.
- AIKEN, G. R., MCKNIGHT, D. M., WERSHAW, R. L. & MACCARTHY, P. 1985. Humic substances in soil, sediment, and water: geochemistry, isolation and characterization. Wiley, New York, USA, pp. 692.
- BORCSIK Z., FARSANG A., BARTA K. & KITKA G., 2011. Humuszanyagok mennyiségi és minőségi eróziójának mérése a Tolna megyei Szálka település melletti vízgyűjtőn. *Talajvédelem különszám* 127–139.
- CHAPLOT, V. & POESEN, J., 2012. Sediment, soil organic carbon and runoff delivery at various spatial scales. *Catena* **88**. 46–56.
- ŐDÖVÉNYI Z. (szerk.), 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA FKI Budapest, Hungary.
- FARSANG, A., KITKA, G., BARTA, K. & PUSKÁS, I., 2012. Estimating element transport rates on sloping agricultural land at catchment scale (Velence mts., NW Hungary). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* **7**(4). 15–26.
- FUCHS M., GÁL A. & MICHÉLI E. 2010. Depth distribution of SOM stock in fine-textured soils of Hungary *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN* **59**(1). 93–98.
- GHABBOUR, E.A. & DAVIES, G. 2009. Spectrophotometric analysis of fulvic acid solutions – a second look. *Annals of Environmental Science* **3**. 131–138.
- HARGITAI L., 1955. Összehasonlító szervesanyag-vizsgálatok különböző talajtípusokon optikai módszerekkel. *Agrártudományi Egyetem Agronómiai Kar kiadványa* **2**. 1–27.
- JACINTHE, P. A., LAL, R., OWENS, L. B. & HOTHEM, D. L., 2004. Transport of labile carbon in runoff as affected by land use and rainfall characteristics. *Soil and Tillage Research* **77**. 111–123.

- KERÉNYI A., 1991. Talajerozió, térképezés, laboratóriumi és szabadföldi kísérletek. Akadémiai Kiadó. Budapest pp. 219
- KERTÉSZ, Á. & CENTERI, CS. 2006. Hungary. In: Soil erosion in Europe. (Eds.: BOARDMAN, J. & POESEN, J.) 139–154. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.
- KERTÉSZ, Á. 2004. Soil erosion and mass movement processes on the loess covered areas of Hungary. *Földrajzi Értesítő*. **53**(1–2). 13–20.
- KUHN, N. J., HOFFMANN, T., SCHWANGHART, W., & DOTTERWEICH, M., 2009. Agricultural soil erosion and global carbon cycle: controversy over? *Earth Surface Processes And Landforms* **34**(7). 1033–1038.
- LAL, R. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. *Soil & Tillage Research* **81**. 137–142.
- NAGY, R., ZSÓFI, ZS., PAPP, I., FÖLDVÁRI, M., KERÉNYI, A. & SZABÓ, SZ., 2012. Evaluation of the relationship between soil erosion and the mineral composition of the soil: a case study from a cool climate wine region of Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* **7**(1). 223–230.
- PONGE, J.F., JABIOL, B. & GÉGOUT, J.C. 2011. Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies at large scale in temperate forests. *Geoderma* **162**. 187–195.
- SCHIETTECATTE, W., GABRIELS, D., CORNELIS, W. M. & HOFMANN, G., 2008. Enrichment of organic carbon in sediment transport by interrill and rill erosion processes. *Soil Science Society of America Journal* **72**. 50–55.
- SENESI, N., D'ORAZIO, V. & RICCA, G. 2003. Humic acids in the first generation of EUROSOILS *Geoderma* **116**. 325–344.
- SMITH S. V., RENWICK, W. H., BUDDEMEIER, R. W. & CROSSLAND, C. J., 2001. Budgets of soil erosion and deposition for sediments and sedimentary organic carbon across the conterminous United States. *Global Biochemical Cycles* **15**. 697–707.
- STAVI, I. & LAL, R., 2011. Variability of soil physical quality in uneroded, eroded, and depositional cropland sites. *Geomorphology* **125**. 85–91.
- STEVENSON, F. J. 1982. Humus chemistry. Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons, New York. pp. 443.
- TAN, K. H., 2003. Humic Matter in Soil and the Environment. Principles and Controversies, Marcel Dekker Inc., pp. 176–181.
- TOMBÁ CZ E., LÁMFALUSI E., SZEKERES M. & MICHELI E. 1996. Humuszanyagok hatása a talajok felületi tulajdonságaira. *Agrokémia és Talajtan*. **45**(3–4). 238–248.
- TOMBÁ CZ, E., MÁDI, É., SZEKERES, M. & RICE, J.A. 2001. Electrolyte induced spontaneous fractionation of polydisperse humate solutions. In: SWIFT, R.S., SPARK, K.M. (Eds) Understanding and managing organic matter in soils, sediments, and waters. IHSS St. Paul, Minn. International Humic Substances Society pp. 53–60.
- WANG, Z., GOVERS, G., STEEGEN, A., CLYMANS, W., VAN DEN PUTTE, A., LANGHANS, C. MERCKX, R. & VAN OOST, K., 2010. Catchment scale carbon redistribution and delivery by water erosion in an intensively cultivated area. *Geomorphology* **124**. 65–74.
- ZANELLA, A., JABIOL, B., PONGE, J.F., SARTORI, G., DE WAAL, R., VAN DELFT, B., GRAEFE, U., COOLS, N., KATZENSTEINER, K., HAGER, H. & ENGLISCH, M., 2011. A European morpho-functional classification of humus forms *Geoderma* **164**. 138–145.