

LÖSZ ÜLEDÉKEK ELTERJEDÉSE, KIALAKULÁSA, FIZIKAI JELLEMZŐI, ÁSVÁNYOS ÉS GEOKÉMIAI ÖSSZETÉTELE: ANYAGVIZSGÁLATOKTÓL A PALEOKLÍMA REKONSTRUKCIÓKIG

Újvári Gábor

Földtani és Geokémiai Intézet, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Magyar Kutató Hálózat, 1112 Budapest, Budaörsi út 45. CSFK, MTA Kiváló Kutatóhely, 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15–17.
e-mail: ujvari.gabor@csfk.org

A lösz a Föld kontinentális területeinek mintegy 6%-át bedefő szárazföldi üledék (Li et al., 2020), amely túlnyomórészt 20–60 µm méretű szemcsékből áll, és amelyeket a szél halmozott fel a jégkorszakok során (Pye, 1995; Smalley et al., 2011). A tipikus lösz porózus, rétegtelen, ásványos szempontból dominánsan kvarcból és földpátból áll, karbonátokkal (kalcit/dolomit), csillámokkal, agyag- és nehézasványokkal, mint másodlagos alkotók (Pécsi, 1990; Nemezc et al., 2000). A lösz dominánsan alkotó kvarcsezemcsék kialakulása a legkülönbélebb geomorfológiai környezetekhez és folyamatokhoz köthető, így például a gleccserjég általi felőrléshez, a folyami aprózódáshoz, eolikus koptatáshoz és fagy okozta aprózódáshoz stb. (Wright, 2007). Genetikai szempontból három alapvető lösztypust különít el az irodalom: 1) kontinentális gleccser eredet és folyami szállítás, (2) hegyvidéki eredet, majd folyóvízi szállítás és 3) hegyvidéki eredet → folyami szállítás → átmeneti sivatagi felhalmozódás révén létrejött löszváltozatokat (Li et al., 2020).

A hazai tipikus lösz szemcseméret összetétele szerint a gyengén osztályozott durva szilt (aleurit) kategóriába tartozik, szemcseméret eloszlása jellemzően egy- vagy kétmódusú (a fő módus 30–50 µm közötti), a finom frakciók felé ferde és leptokurtikus, ritkábban mezokurtikus. A lösz rétegsorokban lévő, a lösztől színük alapján is jól elkülöníthető paleotalajok (1. ábra) finomabb szemcsemérettel rendelkeznek, az agyagfrakcióba eső szemcsék gyakorisága magasabb. A lösz szemcseeloszlását keverékeloszlásokként is szokták értelmezni, amelyek több szemcseméret populációból állnak (Varga et al., 2019). Az egyes populációkat különböző szél általi szállítási mechanizmusokhoz kapcsolják, így szaltációhoz vagy rövid-, illetve hosszútávú szuszpenzióhoz, amelyeket a szállított szemcsék terminális sebességének és a szállító közeg nyírási sebességének hányadosa határoz meg (Újvári et al., 2016a).

A lösz mágnese tulajdonságai közül a legszélesebb körben vizsgált mágnese szuszceptibilitást (MS) elsősorban a löszben lévő ferromágnese ásványok (magnetit, maghemit) határozzák meg, az antiferromágnese (hematit, goethit), paramágnese (szilikátok, agyagásványok) és diamágnese (kvarc, karbonát) komponensek hozzájárulásával (Liu et al., 2012). A lösz alacsony frekvenciás és frekvencia-függő MS-a alacsony, ehhez képest a löszön képződött paleotalajoké magasabb, ami a talajképződés során intenzívebb bakteriális aktivitás során keletkezett ún. nanoméretű szuperparamágnese (SP) ásványok nagyobb koncentrációjának köszönhető (Maher, Taylor, 1988; Zhou et al., 1990), amit pedogén modellnek is nevezünk (Evans, 2001; Bradák et al., 2020). Az MS-t elsősorban az interglaciálisok során keletkezett paleotalajok azonosítására, illetve paleo-csapadék becslésekre alkalmazzák (pl.

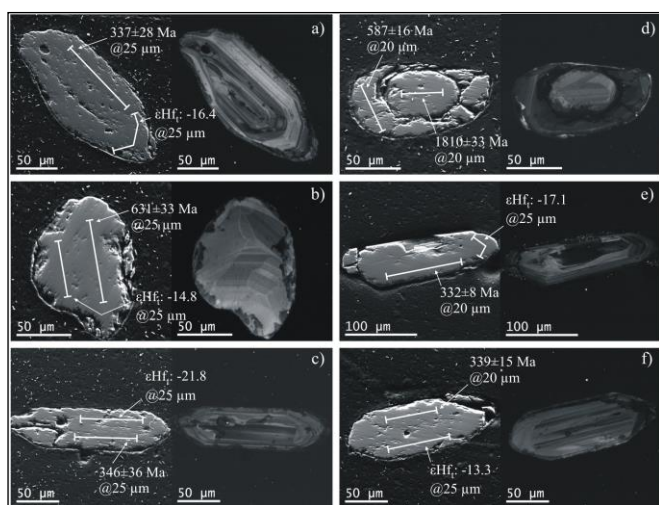
Maher et al., 1994), valamint szárazföldi és tengeri üledékek regionális/globális léptékű korrelációjához (Kukla, 1977; Kukla, Cilek, 1996).



1. ábra – Mende Bázis talaj a paksi löszfeltárásban (fotó forrása: a szerző). A paleotalaj jelen ismereteink szerint a *Marine Isotope Stage* (MIS) 11 interglaciállal korrelálható

A hazai löszök teljes közet fő- és nyomelem geokémiai adatai alapján felzikus (granodioritos összetételű) forrásokból származnak, a köztes források elsősorban a Kárpát-medence folyóvízi üledékei lehetnek. Az üledékanyag kémiaiilag gyengén vagy közepesen mállott (*Chemical Index of Alteration*, CIA: 60–65), a paleotalajok mállottabbak (CIA: 67–70), amit az agyagásvány proxy-k (sme/ill, sme/[ill+chl]) is igazolnak például a paksi löszfeltárás vonatkozásában (Újvári et al., 2008, 2014b; Varga et al., 2011). Ebben a rétegsorban egyébként (más kelet-európai lösz rekordokhoz hasonlóan) megfigyelhető egy mállási trend (csökkenő CIA értékek) a fiatalabb üledékek felé, ami egyfelől egy általános a középső és késő pleisztocénre jellemző lehűléssel és ariditási trenddel (Bugge et al., 2013), másfelől pedig egy erősödő fizikai erózióhoz köthető intenzívebb porfelhalmozódással magyarázható (Újvári et al., 2014b). A lösz üledékek a felső kontinentális kéreg (*Upper Continental Crust*, UCC) kisebb-nagyobb területeinek átlagmintáit adják (Taylor et al., 1983), és mint ilyenek geokémiai összetételük felhasználható az UCC átlagos kémiai összetételének (McLennan, 2001) vagy például az UCC átlagos Nd és Hf izotópösszetételének becsléséhez (Chauvel et al., 2014).

A lösz lehordási területeinek közelebbi meghatározásában előrelépést hoztak az üledékben lévő detritális cirkon kristályok U-Pb kormeghatározásai, amelyek megerősítették a korábban feltételezett folyóvízi üledékekkel való kapcsolatot Kínában (Stevens et al., 2010, 2013) és Kelet-Közép-Európában is (Újvári et al., 2012), valamint a lokális források jelentőségére is rámutattak. Ezen felül rutil kristályok kémiai összetételei, termometriai és U-Pb koradatai a főbb lehetséges metamorf források azonosítását és elkülönítését tették lehetővé például Krems és Wels környéki lösz üledékek esetén Ausztriában (Újvári et al., 2013). Ezt a két megközelítést azóta egyre szélesebb körben alkalmazzák (Bohm et al., 2023), és a cirkon U-Pb korolások esetén a nagy számú cirkon elemzését preferáló irány ma már a mérvadó (Zhang et al., 2022), a kisebb számú cirkonnal dolgozó, azokból a cirkonok belső struktúrái alapján U-Pb korolásokkal és kapcsolódó Hf izotóp elemzésekkel a legtöbb geológiai információt kinyerni szándékozó megközelítéssel szemben (2. ábra; Újvári, Klötzli, 2015).



2. ábra – Cirkonok szekunder elektron és katódlumineszcens mikroszkópi felvételei egy ausztriai löszmintából (Stratzing feltárás), U-Pb korokkal és Hf izotóp összetételekkel
a), c), e) és f) Magmás cirkonok oszcillációs zónázottsággal; b) Metamorf kőzetből származó cirkon; d) Átöröklött maggal rendelkező cirkon. Az 1,0 Gévnél fiatalabb korok $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ korok, míg az 1,0 Gévnél idősebbek $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ korok. A fehér vonalak a lézeralációs „árkok” tengelyét jelölik (átmérőjük a @ jel után mikronban).

A lösz-paleotalaj sorozatok a negyedidőszaki paleoklíma változások fontos archívumai, glaciális-interglaciális és százéves/ezeréves időskálákon is (Marković et al., 2015; Újvári et al., 2017). A lösz-paleotalajok váltakozása gyakorlatilag a Milankovich-ciklusokat követi, 41 és 100 ezer éves időskálákon a Középső Pleisztocén Átmenet (*Mid-Pleistocene Transition*, MPT) előtt és után (Ding et al., 2002; Sun et al., 2019). A rövidebb, ezer éves skálájú variabilitás, amit egyesek szerint a lösz szemcseösszetétele (pl. Rousseau et al., 2007; Sun et al., 2012), mások szerint annak üledékfelhalmazódási rátái (*Mass Accumulation Rate*, MAR) mutatnak (Újvári et al., 2017) az Észak-Atlantikum glaciális klímáját meghatározó Dansgaard-Oeschger-ciklusokhoz kapcsolható. Az említett hosszabb-rövidebb skálájú klímaváltozások lösz-paleotalaj sorozatokban való nyomozásához a kronológiai hátteret alapvetően két abszolút kormeghatározási eljárás adja, így a kvarc, illetve kálföldpát ásványokat doziméterként használó, kb. 250–300 ezer évig használható lumineszcens módszer, amit hazai környezetben is sikeresen alkalmaztak (pl. Frechen et al., 1997; Novothny et al., 2002, 2009, 2011; Újvári et al., 2014a), illetve a mintegy 40–45 ezer évig

használható radiokarbon kormeghatározás, aminek az elsődleges célszámai a löszből kinyert faszenek és molluszka héjak (pl. Sümegi, Hertelendi, 1998; Újvári et al., 2016b; Sümegi et al., 2019). A környezeti és/vagy éghajlati paramétereket jelző ún. proxy-k tekintetében a löszből korábban a mágneses szuszceptibilitást (Maher, Taylor, 1988; Heller et al., 1993; Maher et al., 1994), a szemcseméret eloszlásokat (Ding et al., 2000; Rousseau et al., 2007), illetve a molluszkákat használták szélesebb körben (Sümegi, Krollop, 2002), de ezek közül például a szemcseösszetétel szélerősség proxy-ként való interpretációja bizonytalan (lásd Újvári et al., 2016a). Az elmúlt években új, igen ígéretes izotópgeokémiai proxy-k jelentek meg, így például a kozmogén ^{10}Be fluxus, ami egy kvantitatív csapadékindikátor (Zhou et al., 2007; Beck et al., 2018), illetve a löszben található másodlagos/biogén karbonátok (talajkarbonátok, csigahéjak) kapcsolótizotóp (Δ_{47}) termometriája, ami az őshőmérséklet becslésére használható (Zhai et al., 2019; Dong et al., 2020; Újvári et al., 2019, 2021).

A fenti, nyilvánvalóan nem teljes összefoglaló alapján látható, hogy a lösz anyagvizsgálata igen sokféle módszert igényel, és az egykori környezeti viszonyok rekonstruálásához rengeteg adattal járult hozzá a múltban, és még igen sok információt tartogat a jövőben. Ilyen szempontból a lösz a negyedidőszaki geológia továbbra is igen izgalmas és értékes üledékes archívuma marad.

Irodalomjegyzék

- Beck, J.W., Zhou, W., Li, C., Wu, Z., White, L., Xian, F., Kong, X., An, Z. (2018): *Science*, **360**, 877–881.
- Bohm, K., Kaakinen, A., Stevens, T., Lahaye, Y., O'Brien, H., Tang, H., Shang, Y., Zhang, H., Lu, H. (2023): *Global and Planetary Change*, **221**, 104049
- Bradák, B., Seto, Y., Chadima, M., Kovács, J., Tanos, P., Újvári G., Hyodo, M. (2020): *Earth-Science Reviews*, **210**, 103385
- Buggle, B., Hambach, U., Kehl, M., Markovic, S.B., Zöller, L., Glaser, B. (2013): *Geology*, **41**, 771–774.
- Chauvel, C., Garcon, M., Bureau, S., Besnault, A., Jahn, B.-M., Ding, Z. (2014): *Earth and Planetary Science Letters*, **388**, 48–58.
- Ding, Z.L., Rutter, N.W., Sun, J.M., Yang, S.L., Liu, T.S. (2000): *Quaternary Science Reviews*, **19**, 547–558.
- Ding, Z.L., Ranov, V., Yang, S.L., Finaev, A., Han, J.M., Wang, G.M. (2002): *Earth and Planetary Science Letters*, **200**, 387–400.
- Dong, J., Eiler, J., An, Z., Wu, N., Liu, W., Li, X., Kitchen, N., Lu, F. (2020): *Chemical Geology*, **533**, 119414
- Evans, M.E. (2001): *Geophysical Journal International*, **144**, 495–497.
- Frechen, M.A., Horváth, E., Gábris, Gy. (1997): *Quaternary Research*, **48**, 291–312.
- Heller, F., Shen, C.D., Beer, J., Liu, X.M., Liu, T.S., Bronger, A., Suter, M., Bonani, G. (1993): *Earth and Planetary Science Letters*, **114**, 385–390.
- Kukla, G.J. (1977): *Earth-Science Reviews*, **13**, 307–374.
- Kukla, G.J., Cilek, V. (1996): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **120**, 171–194.
- Li, Y., Shi, W., Aydin, A., Beroya-Eitner, M.A., Gao, G. (2020): *Earth-Science Reviews*, **201**, 102947
- Liu, Q., Roberts, A. P., Larrasoana, J. C., Banerjee, S. K., Guyodo, Y., Tauxe, L., Oldfield, F. (2012): *Reviews of Geophysics*, **50**, RG4002
- Maher, B.A., Taylor, R.M. (1988): *Nature*, **336**, 368–370.
- Maher, B.A., Thompson, R., Zhou, L.P. (1994): *Earth and Planetary Science Letters*, **125**, 461–471.
- Marković, S.B., Stevens, T., Kukla, G.J., Hambach, U., Fitzsimmons, K.E., Gibbard, P., Buggle, B., Zech, M., Guo, Z.T., Hao, Q.Z., Wu, H., O'Hara-Dhand, K., Smalley, I.J., Újvári, G., Sümegi, P., Timar-Gabor, A., Veres, D., Sirocko, F., Vasiljević, Dj.A., Jari, Z.,

- Svensson, A., Jović, V., Kovács, J., Svirčev, Z. (2015): *Earth-Science Reviews*, **148**, 228–258.
- McLennan, S.M. (2001): *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **2/24**, 2000GC000109
- Nemecz, E., Pécsi, M., Hartyáni, Zs., Horváth, T. (2000): *Quaternary International*, **68–71**, 199–208.
- Novothny, Á., Horváth, E., Frechen, M. (2002): *Quaternary International*, **95–96**, 155–163.
- Novothny, Á., Frechen, M., Horváth, E., Bradák, B., Oches, E.A., McCoy, W., Stevens, T. (2009): *Quaternary International*, **198**, 62–76.
- Novothny, Á., Frechen, M., Horváth, E., Wacha, L., Rolf, C. (2011): *Quaternary International*, **234**, 75–85.
- Pécsi, M. (1990): *Quaternary International*, **7/8**, 1–21.
- Pye, K. (1995): *Quaternary Science Reviews*, **14**, 653–667.
- Rousseau, D-D., Sima, A., Antoine, P., Hatté, C. Lang, A., Zöller, L. (2007): *Geophysical Research Letters*, **34**, L22713
- Smalley, I.J., Markovic, S.B., Svirčev, Z. (2011): *Quaternary International*, **240**, 4–11.
- Stevens, T., Palk, C., Carter, A., Lu, H., Clift, P.D. (2010): *Geological Society of America Bulletin*, **122**, 1331–1344.
- Stevens, T., Carter, A., Watson, T.P., Vermeesch, P., Andó, P., Bird, A. F., Lu, H., Garzanti, E., Cottam, M.A., Sevastjanova, I. (2013): *Quaternary Science Reviews*, **78**, 355–368.
- Sun, Y., Clemens, S.C., Morrill, C., Lin, X., Wang, X., An, Z.S. (2012): *Nature Geoscience*, **5**, 46–49.
- Sun, Y., Yin, Q., Crucifix, M., Clemens, S.C., Araya-Melo, P., Liu, W., Qiang, X., Liu, Q.S., Zhao, H., Liang, L., Chen, H., Li, Y., Zhang, L., Dong, G., Li, M., Zhou, W., Berger, A., An, Z.S. (2019): *Nature Communications*, **10**, 352
- Sümeği, P., Hertelendi, E. (1998): *Radiocarbon*, **40**, 855–863.
- Sümeği, P., Krolopp, E. (2002): *Quaternary International*, **91**, 53–63.
- Sümeği, P., Molnár, D., Gulyás, S., Náfrádi, K., Sümeği, B.P., Törőcsik, T., Persaits, G., Molnár, M., Vandenberghe, J., Zhou, L.P. (2019): *Quaternary International*, **504**, 40–55.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., McCulloch, M.T. (1983): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **47**, 1897–1905.
- Újvári, G., Klötzli, U. (2015): *International Journal of Earth Sciences*, **104**, 1365–1385.
- Újvári, G., Varga, A., Balogh-Brunstad, Zs. (2008): *Quaternary Research*, **69**, 421–437.
- Újvári, G., Varga, A., Ramos, F.C., Kovács, J., Németh, T., Stevens, T. (2012): *Chemical Geology*, **304–305**, 83–96.
- Újvári, G., Klötzli, U., Kiraly, F., Ntaflou, T. (2013): *Quaternary Science Reviews*, **75**, 132–142.
- Újvári, G., Molnár, M., Novothny, Á., Páll-Gergely, B., Kovács, J., Várhegyi, A. (2014a): *Quaternary Science Reviews*, **106**, 140–154.
- Újvári, G., Varga, A., Raucsik, B., Kovács, J. (2014b): *Quaternary International*, **319**, 22–37.
- Újvári, G., Kok, J.F., Varga, Gy., Kovács, J. (2016a): *Earth-Science Reviews*, **154**, 247–278.
- Újvári, G., Molnár, M., Páll-Gergely, B. (2016b): *Quaternary Geochronology*, **35**, 43–53.
- Újvári, G., Stevens, T., Molnár, M., Demény, A., Lambert, F., Varga, Gy., Jull, A.J.T., Páll-Gergely, B., Buylaert, J.-P., Kovács, J. (2017): *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **114/50**, E10632–E10638
- Újvári, G., Kele, S., Bernasconi, S.M., Haszpra, L., Novothny, Á., Bradák, B. (2019): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **518**, 72–81.
- Újvári, G., Bernasconi, S.M., Stevens, T., Kele, S., Páll-Gergely, B., Surányi, G., Demény, A. (2021): *Paleoceanography and Paleoclimatology*, **36**, e2020PA004170
- Varga, A., Újvári, G., Raucsik, B. (2011): *Quaternary International*, **240**, 71–86.
- Varga, Gy., Újvári, G., Kovács, J. (2019): *Quaternary International*, **502**, 60–70.
- Wright, J.S. (2007): *Sedimentary Geology*, **202**, 337–351.
- Zhai, J., Wang, X., Qin, B., Cui, L.L., Zhang, S., Ding, Z. (2019): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **257**, 68–79.
- Zhang, H., Lu, H., He, J., Xie, W., Wang, H., Zhang, H., Breecker, D., Bird, A., Stevens, T., Nie, J., Li, G. (2022): *Science Advances*, **8**, eabq2007
- Zhou, L.P., Oldfield, F., Wintle, A.G., Robinson, S.G., Wang, J.T. (1990): *Nature*, **346**, 737–739.
- Zhou, W., Priller, A., Beck, J.W., Zhengkun, W., Maobai, C., An, Z.S., Kutschera, W., Feng, X., Huagui, Y., Lin, L. (2007): *Radiocarbon*, **49**, 139–160.