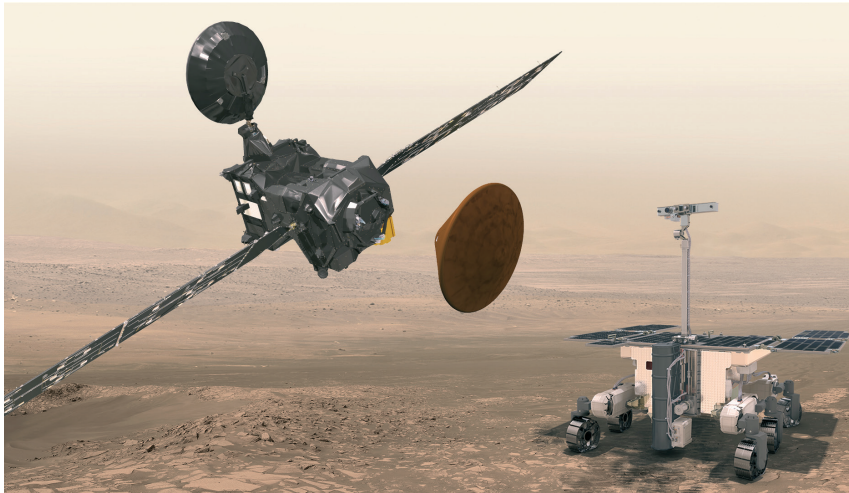


KAPUI ZSUZSANNA

Víz vagy szél?

Üledékek eredetének vizsgálata a Marson és a Földön



1. ábra. A 2016–2018 ExoMars program elemei (Forrás: exploration.esa.int)

Az első európai rover a Mars vizsgálatára

Az ExoMars rover küldetés a tervek szerint 2020-ban startol, fő célja az esetleges élet számára nyújtott körülmények elemzése [3], és a felszín és felszín alatti kőzetek kutatásával a bolygófejlődés megértése. A leszálló egységről leguruló, kb. 6 hónapos élettartamra tervezett rover néhány km-es távolságot tesz majd meg, a folyamatos energiaellátását a tetején található napelemek biztosítják. A tudományos műszerek a Pasteur nevű egységben csoportosulnak: a rendszer többek között tartalmaz egy panorámakamerát, egy fűrót, mintaelosztó rendszert, illetve a különböző mintaelemző laboratóriumi egységeket. A terv szerint a rover 2 méteres mélységre fűr le, ami azért szükséges, mert a marsi környezetet átalakító különböző tényezők ilyen mélyre már nagyjából nem hatolnak le (2. ábra), így ha elérjük a kb. 2 méteres mélységet, feltehetőleg a roncsoló folyamatok által nem érintett kőzettel találkozhatunk.

A fűrés időtartama változó, néhány perctől akár napokig is terjedhet. A folyamat lassú, hogy ne melegegessen fel a minta. A mintavételezés egy gyémánt geotechnikai vágófejjel történik: az így kapott fűrómagok kb. 1 cm átmérőjűek és 4 cm hosszúak. A kiemelt anyag megértése azonban önmagában nagyon nehéz – kell a kontextus, amit egy „átlagos geológus” látna a helyszínen. A fűrés helyszínéről ezért a PanCam (fedélzeti

kamera) készít képeket, míg a CLUPI (közeli képfelvévő) szintén lefotózza a fűrés helyét és a mintát egyaránt (itt azt látja a szonda, amit egy geológus a nagyító alatt). Az utóbbi műszerrel nagyobb felbontású képek is készíthetők, akár 7 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ felbontással. Ideális esetben az ISEM nevű infravörös detektor is segíti a célpont összetételének becslését,

megbecsülve az összetételt és némi üledékes szerkezetet.

Ezután következik a minták vizsgálata, amely mindig a kiemlést követő kora reggel kezdődik, amikor a hőmérséklet még -40°C alatt van, így mind az OH, mind a szerves anyag meg tud maradni a mintákban. A porítás után (kb. 1 mm^3 anyagot porít a rendszer) a különböző műszerek kapják meg a port: a MicrOmega ásványazonosítást, szerves-, és OH-tartalom meghatározást végez, a MOMA szerves anyagot észlel, illetve biogén és abiogén molekulák kiralitását határozza meg), a Raman pedig az ásvány-, és szervesanyag-azonosításában, ill. OH-tartalom becslésében segít (2. táblázat).

Első analóg helyszín: Pilismarót

Az első, itthon vizsgált analóg terület Pilismaróton van, mely kb. 10 km-re nyugatra található Visegrádtól. A korábban már jól megkutatott terület előnye hogy viszonylag sok feltárás található egymás közelében (3. ábra) és mindössze kb. 2 méteres mélységig jelentős a fiatal, negyedidőszaki (kb. 2,5 millió évtől máig) üledékek változékonysága: megtalálható folyóvízi,

	Eolikus (szél által szállított)	Fluviális (folyóvíz által szállított)
osztályozottság	nagyon jól osztályozott üledék (egyforma mérettartományú szemcsék jellemzik)	rosszul osztályozott, változó mérettartományú szemcséket tartalmazhat [agyag ($\leq 0,002$ mm), homok, akár görgeteg (64–256 mm)]
kerekítettség, koptatottság	jól kerekített szemcsék	változatos alak (szögletes, kerekített)
összetétel	monomineralikus vagy közel monomineralikus – döntően egyfajta ásványból épül fel: túlnyomóan kvarc, ritkábban karbonát vagy egyéb ásványok	polimineralikus, főleg kvarc, földpát, csillám
kapcsolódó képződmények	homok, aleurit (aleurit-finom homokig)	konglomerátum, homokkő, agyagkő

1. táblázat. A legjellemzőbb tulajdonságok, amelyek alapján az eolikus és fluviális üledékeket a legegyszerűbb szétválasztani

bármiféle minta-előkészítés nélkül. A fűrólyukban a fűrés során a fűrófej mellett, oldalt elhelyezkedő MaMiss érzékelő pedig végigpásztázza a falat az infravörös tartományban,

ártéri, sőt szél által szállított üledékek is.

Az összegyűjtött minták feldolgozása és mérése a Magyar Tudományos Akadémia Földtani és Geokémiai, valamint a Földrajz-

	ExoMars műszere (felbontás vagy tartomány)	Általunk használt műszer, (felbontás vagy tartomány)
Helyszínfotó	PanCam	fényképezőgép
Közelebbi kép a vizsgált mintákról	CLUPI (7 μm/pixel)	Optikai mikroszkóp, Morphologi
Ásványazonosítás	MicrOmega (0,9-3,5 μm tartomány)	FTIR Vertex 70 infravörös spektrométer (2,5-25 μm), Shimadzu UV-VIS-NIR 3600 spektrométer (1,8-2,4 nm)
Ásvány-, és szerves anyag meghatározás	Raman (a spektrális (hullámhosszban): kb. 6 cm ⁻¹)	Raman (Morphologi 3G ID)
Szervesanyag-meghatározás	MOMA (pyr-GC mód: ≤ 1Da; LDI mód: ≤ 2Da; 500-tól 1,000 Da-ig)	Raman, FTIR Vertex 70 infravörös spektrométer

2. táblázat. Az ExoMars rover (2. oszlop) és a magyar kutatók (3. oszlop) által használt műszerek (Da = dalton = atomi tömegegység)

tudományi Intézetének laboratóriumaiban zajlik. Minden műszeres vizsgálat alapja az optikai mikroszkópos elemzés, mely segítségével jellemeztük a rétegekből származó mintákat, azaz meghatároztuk a fő ásványokat, leírtuk a szemcsék méretét, kerekítettségét, koptatottságát illetve az üledékek osztályozottságát (3. ábra). Hasonlót a CLUPI műszer végez az ExoMars roveren, ez veszi „szemügyre” elsőként a mintát. Ezek után a földi, különböző rétegből származó porított mintákat, ásvány meghatározásra alkalmas műszerekkel vizsgáljuk (két infravörös spektrométerrel) – ezek az ExoMars MicrOmega berendezéséhez hasonló elemzéseket végeznek. Mindezzel tisztább képet kaptunk a minták pontos ásványos összetételéről (4. ábra). A földi laborban a Morphologi 3G ID műszer, amelyhez egy Raman-érzékelő is kapcsolódik szintén bevetésre került. Ez a berendezés képes az egyes a szemcséket külön-külön, többféle tulajdonságuk szerint is megmérni (kerekítettség, megnyúlás stb.) (5. ábra). Mindezekből statisztikák készíthetők, és a műszer a szemcséről külön-külön Raman-spektrumot vehet fel, így megállapítva egy érdekesebb szemcséről milyen ásvány is valójában.

A sokfajta mérés ellenére sem sikerült szembetűnő különbséget kimutatni a különböző eredetű minták között, azaz nem volt jelentős különbség sem ásványtanilag, sem morfológiailag pl. a fluviális és az eolikus eredetű szemcsék között. [4] Ez is bizonyítja, hogy sokszor hiába várunk tankönyvi példának megfelelő eredményeket, csak a szemcsékre koncentrálna néha szinte lehetetlen elkülöníteni a különböző üledékeket. A pilismaróti példa esetében ez feltehetőleg azzal magyarázható, hogy az eolikus üledékek korábban szállítódtak folyóvízi úton is, de ezt követően nem szállítódott annyi ideig kizárólag eolikus, hogy a fluviális nyomok

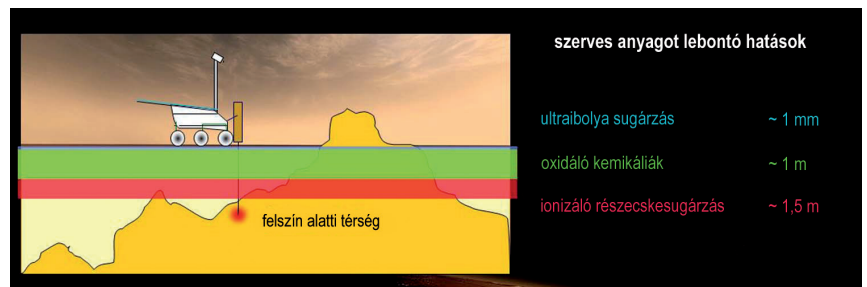
eltűnjenek a szemcsékről. Hasonló helyzet talán a Marson is előfordul – bár ennek valószínűségét még becsülni is alig tudjuk.

Francia kiküldetés – Orléans

A nemzetközi együttműködés keretében egy további sikeres pályázatnak köszönhetően (COST-STSM-TD1308-32028) lehetőségem nyílt egy hetet Orléans-ban, a Centre national de la recherche scientifique (CNRS) egyik központjában, a Centre de biophysique moléculaire-ben (CBM) tölteni. Ezen belül az exobiológiai csoport munkájába tekinthetem be rövid időre, mely nagyszerű együttműködés a természettudomány különböző területei között. Itt együtt dolgozik geológus, kémikus, fizikus vagy akár biológus. Az itt folyó kutatások fő tárgya az élet eredetének és fejlődésének elemzése, de nemcsak a földi körülmények kö-

a legérdekesebb. Az egyik PhD-hallgató a legősibb földi kőzetekben keres biológiai maradványokat (mikrobiális szőnyeg vagy mikrofosszila-nyomokat) és ezek geokémiai és morfológiai tulajdonságait vizsgálja. A minták alapján megpróbálja levezetni a kőzetekben található primitív, legtöbb esetben kemotróf bakteriális szervezetek ökológiáját, anyagcseréjét. Ezek a szervezetek az esetleges kipisztult, vagy jelenlegi egyszerű marsi élet lehetséges analógiáinak is tekinthetők. Egy másik, már befejezett kutatás során archai korú (kb. 2,5 milliárd évnél idősebb) fotoszintetizáló (fototróf) organizmusok evolúcióját vizsgálták az ősi Földön. Kifejlesztettek egy izotópelemzésre alkalmas kísérleti módszert, amelyet a szervezetek által létrehozott mikrobiális szőnyegek vagy sztramatolitokon használtak. A vizsgálatok során sikerült a legősibb fototróf szervezeteket tartalmazó kőzeteket (Josefsdal Chert, Barberton zöldkő-öv, Dél-India) megvizsgálni. A harmadik kutatási program a prebiotikus kémia és geológia határán mozogva próbálja megérteni, hogy valószínűleg milyen kémiai folyamatok játszhattak szerepet a korai Földön előfordult szerves molekulák felszínén és mi vezetett a mai, bonyolult biokémiai folyamatokhoz. Mindegyik kutatás hozzájárulhat a marsi kérdések megválaszolásához is.

A francia központhoz kapcsolódó egyik jelentős projekt: az ISAR (International Space Analogue Rockstone). Ennek a célja, hogy a földi, ún. Mars analóg kőzeteket olyan műszerekkel vizsgálják, amelyek az ExoMars programban is szerepelnek, és segítségével az űrszonda műszereit majd úgy kalibrálják, ahogy a földi mérések során a legjobb eredményeket adták. Cél, hogy a szonda indulásig összeállítsanak egy olyan referencia adatbázist, amely bazaltok, különböző üledékek és ásványok morfológiai, geokémiai és közettani tulajdonságait tartal-



2. ábra. A szerves anyagokat lebontó hatások a Marson: UV sugárzás (a felső kb. 1 mm-ig jut le), oxidáló kemikáliák (a felső kb. 1 m-en hatnak), ionizáló sugárzás (kb. 1,5 m-ig jut le)

zött, hanem ennek lehetőségét a Naprendszer többi égitestén is (főleg a Mars esetében) vizsgálják. Jelenleg is több kutatás zajlik párhuzamosan, ezek közül számomra – mint geológusnak – az alábbi három volt

mazsa, így segítve az ExoMars munkáját. A Franciaországban töltött egy hét alatt a különböző laborok megismerése után lehetőségem volt a saját mintáink lemérésére az intézetben található Raman-műszerrel



3. ábra. A pilismaróti partfal és egy fontosabb feltárás. A kis képeken alul a) fluviális homok és b) eolikus homok mikroszkopikus képe

(ásvány- és szervesfázis-azonosítás). Három mintát elemeztem: Líbiából származó dűnehomokat, dunai futóhomokat (eolikus üledékek), illetve egy miocén korú mecseki fluviális homokkővet. A mérendő szemcséket és területeket mikroszkóppal választottuk ki (6. ábra), majd a líbiai homokról és a fluviális homokokról összetétel-térképet készítettünk, illetve az érdekesebb szemcsék esetében pontméréseket is végeztünk. Kinti munkám másik nagy előnye, hogy az ISAR gyűjteményéből mintákat hozhattam haza, ami elősegítheti az ExoMars roverrel kapcsolatos itthoni munkánkat. Ezek között van egy átalakult vulkáni üledék Ausztráliából, egy bazalt Dél-Afrikából és kétfajta bazalthomok Izlandról (7. ábra).

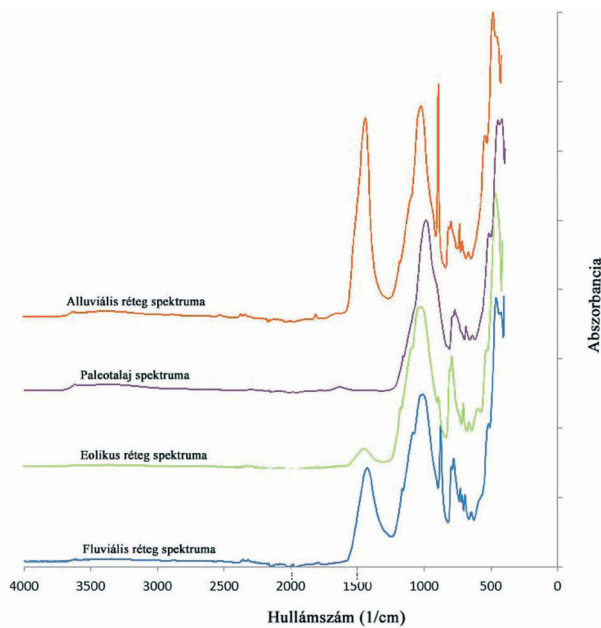
Mire jó ez az egész?

A marsi kutatás révén tehát egy alapvető földi kérdéskör is boncolható, amelynek keretében eddig kiderült: a valóság gyakran sokkal nehezebben értelmezhető és bonyolultabb, mint a tankönyvi példák. Még csak a munka elején járunk, de reméljük, hogy sikerül hasznos kiegészítő földi tapasztalatokat adni az ExoMars rover fúrásainak értelmezéséhez – többek között olyan szempontból is, hogy a nehéz eseteket miként kell kezelni.

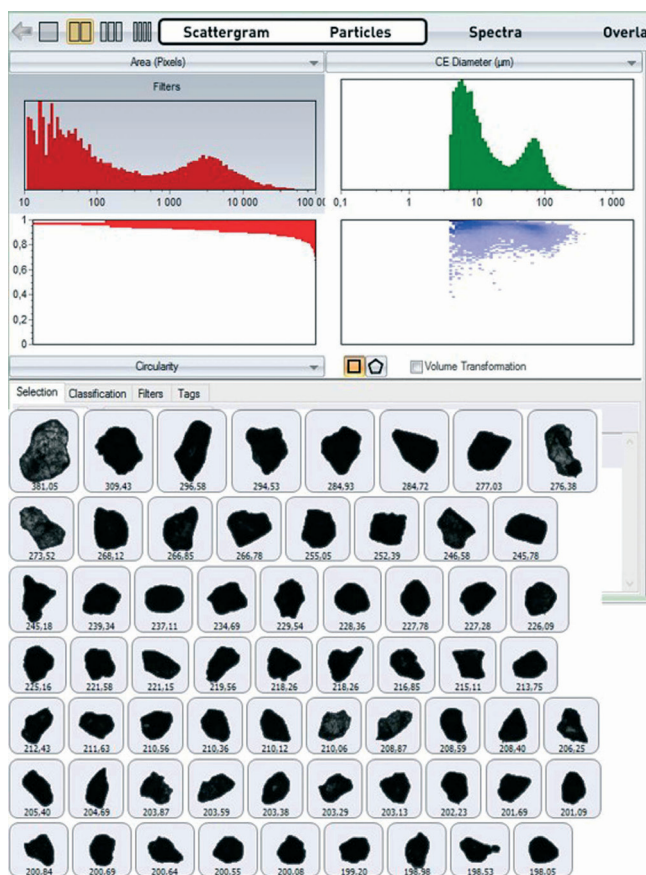
Az ilyen tapasztalatok segíthetik a különböző folyamatokkal kialakult üledékek eredetére vonatkozó határozó bélyegek megtalálását, a földi eredményeknek a

Marsra történő extrapolációjával. Mind ez segíthet az eredmények kiértékelésében is. A Marson még ma is fontos az esetleges eolikus és fluviális üledékek elkülönítése, ez adhatja ugyanis azt a kontextust, ami esetleg egy azonosított szerves molekula, avagy potenciális ősi életnyom értelmezéséhez szükséges.

A projekttel nem csak a Marson is fellépő folyamatok földi megfelelőinek jobb megismeréséhez járulhatunk hozzá. Egy fontos nemzetközi programhoz kapcsolódó analógia kutatás újabb területen használhatja fel a hazai földtudományi ismereteket és laboratóriumi kapacitásokat. A Mars jobb megismerésében, egyes speciális témakörökben a földi folyamatok és jelenségek megértése



4. ábra. Az összes rétegről infravörös spektrométerrel kapott különböző spektrum



5. ábra. A fluviális homokról készült Morphologi-s eredmények: a szemcsékről készült képek, illetve egyéb statisztikai diagramok



7. ábra. Az Orléans-i kiküldetés a) az ISAR minták, b) optikai mikroszkóp (a képen az intézet egyik doktorandusza: Keyron Hickman-Lewis)

segít, noha nem Marson dolgoznak a kutatók, a vörös bolygóra releváns eredményeket is kaphatnak.

A magyar analógia kutatóprogramot az NKFIH a COOP-NN-116927 pályázattal támogatta, továbbá köszönetet érdemel az eddigi munkában nyújtott segítségért Bradák Balázs, Józsa Sándor, Kiss Klaudia, Szalai Zoltán, Szeberényi József, Sztanó Orsolya és Újvári Gábor.

Az írás a Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutatóközpontja (MTA TTK) és a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat (TIT) közös ismeretterjesztő cikkpályázatán harmadik díjat kapott.

Irodalom

- [1]Kereszturi Á. 2012. Mars – fehér könyv a vörös bolygóról. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest
- [2]Kereszturi Á., Bradák B., Újvári G. 2015. Hogyan vizsgálhatnánk más égitesteket a Kárpát-medencében? Természet Világa, 172-175.
- [3]Pál B., Kereszturi Á. 2015. Evaluation of liquid brine appearance at ExoMars rover's candidate landing sites. 46th Lunar and Planetary Science Conference, abstract 1796.
- [4]Kereszturi Á., Újvári G., Bradák B. 2014. Estimating the origin and transport process of grains expected to find during the drill of ExoMars rover mission. 45th Lunar and Planetary Science Conference, abstract 1496.

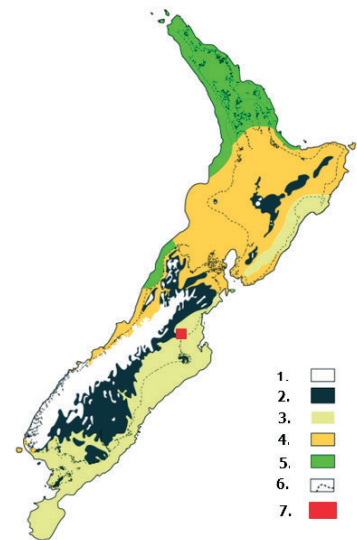
SÜMEGI PÁL–GULYÁS SÁNDOR–
SÜMEGI BALÁZS PÁL

Új-Zélandon jártunk, mesterségünk címere a löszkutató

A negyedidőszaki szárazföldi képződmények közül az egyik legjellemzőbb közettípus a lösz, amely bolygónk felszínén mintegy 10 millió km²-t borít. A jégkori sárga üledéket alkotta löszös rétegekről és a bennük található fosszilis talajszintekről az első tudományos megfogalmazások *Luigi Ferdinando Marsigli* gróf (1658–1730) tollából származik. 1726-ban kiadott művében szerepel a következő két latin mondat: „Terra nigra fructifera pinguis. Terra lutosa cinerive et in fragmento cretacea priabilis” = „Fekete termékeny kövér föld (= fekete televény, azaz talaj). Sárgásszürke föld karbonátos fragmentumokkal (= lösz konkréciókkal).” Ez a munka az oszmán megszállás alól felszabadított királyi Magyarország déli részén, a Duna völgyében végzett utazást mutatta be, ahol a dunai magasparkot alkotó löszös rétegeket és fosszilis talajokat ismert fel *Luigi Ferdinando Marsigli* gróf. Ezzel szinte egy időben a Balaton déli részén, a somogyi partokat alkotó sárga földet (= löszös rétegeket) írta le *Bél Mátyás* magyar polihisztor Balatonkeresztúron. Majd *Robert Towson*, a skót akadémia tagja tárta fel a tatai gimnázium alatt található szörnyű elefántcsontokat (mamutcsontokat) tartalmazó löszös rétegeket 1790-es években a magyarországi utazásai során. Ezt követően a francia geológus, *François Sulpice Beudant* ismert fel és térképezte a diluviális (jégkori) sárga földet a Balaton környékén, és térképre is vitte az elterjedésüket (1818).

A löszös képződmények első tudományos leírójának mégis a német heidelbergi ásványtani professzort, *Karl Caesar Ritter von Leonhard* (1779–1862) bárót tartjuk. Leonhard a Rajna völgyében felismerte, leírta, és a német bányászati lose (laza) kifejezést átveve, lösznek nevezte el ezt az üledékes képződményt 1824-ben megjelent könyvében. Leonhard a löszös rétegekből előkerült csigafajok héjait és a ma-

mutcsontokat is megemlíti ebben a munkájában, és többek között csigahéjas talajként (*Schneckelhausen Boden*) említi az Oppenheim környéki löszöket. Leonhard eredményeit *Charles Lyell* (1797–1875) a *Földtan alapelvei* (Principles of Geology)



1. ábra. Új-zélandi szigetek jégkori kiterjedése és növényzete az utolsó eljegesedési maximumban, 20–21 ezer évvel ezelőtt (Newnham et al. 2007)
1: jégtakaró peremén kialakult tundra jellegű növényzet; 2: olvadékvízsiáság és porfelhalmozódási övezet löszsztyeppel és szórtan fákkal, cserjékkel; 4: fenyővel, déli bükkal (*Notofagus*) kevert erdősztyepp; 5: döntően déli bükk- és kőtiszafafélék (*Podocarpus*) erdők; 6: Új-Zéland mai partvonal; 7: a vizsgált lelőhely

munkájában népszerűsítette, és az egész világon elterjesztette a lösz közettani – geológiai szakkifejezést (1833). Ezt követően a világ sok területén felismerték a löszös