

Törmelékes rétegsorok komplex eredetvizsgálata (KEVi) Ötelemes, összehangolt törmelékeskőzet-elemző vizsgálat

MIKLÓS Dóra Georgina¹, JÓZSA Sándor¹, SZAKMÁNY György¹

¹ELTE, Természettudományi Kar, Közzetan-Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest Pázmány Péter sétány 1/C
miklosdoragina94@gmail.com, sandor.jozsa@geology.elte.hu, gyorgy.szakmany@geology.elte.hu

Expanded Provenance Analysis (EPAn) of Clastic Deposits Five-part coordinated analysis of clastic rocks

Abstract

It is well known that clastic rocks have great economical and scientific importance as for example may represent hydrocarbon- and water reservoirs and remnants of totally eroded mountain belts. The precise mineralogical-petrological determination (petrography) of their detrital grains and identification of their source area are important research direction for both areas. Traditionally, two main trends have been developed for the provenance examination of unconsolidated clastic sequences: Pebble petrography, which performs the macroscopic determination and thin-section examination of the individual pebbles larger than a few centimetres and the heavy mineral analyses, which targets the sand fraction. Both methods have serious deficiencies. To eliminate some of these deficiencies, the fine-grained pebble examination (FPE) method has been introduced into the petrographic examinations in the last few years. However it has not resolved the problem to unequivocally link different heavy minerals to source rock types. The aim of this paper is to present a grain determination procedure that allows to identify the source rock types of clastic deposits with improved accuracy, by reducing the uncertainty that would arise from using one or the other method separately. Our approach - the Expanded Provenance Analysis (EPAn) - is a combined procedure of five different grain/clast determination methods. These include both, previously utilised techniques and one that is proposed herein for the first time. This paper describes and evaluates the EPAn approach.

Key words: provenance, petrography, pebble, sand, thin-section, heavy minerals

Összefoglalás

Közismert, hogy a törmelékes kőzetek, mint például szénhidrogén-, vagy víztároló képződmények, és mint eltűnt hegységek lepusztulási maradványai komoly gazdasági és tudományos jelentőséggel bírnak. Törmelékeskőzetek pontos ásvány-közzetani és geokémiai és forrásterületük azonosítása mindkét terület számára fontos kutatási irányt jelenthet. Laza törmelékes rétegsorok forrásterület-vizsgálatára hagyományosan két fő irányzat alakult ki: a nagyobb méretű kavicsok petrográfiaja, amellyel az egyedi, néhány cm-nél nagyobb méretű kavicsok makroszkópos, terepi és vékonycsiszolt vizsgálatát végezzük, valamint a nehézasvány vizsgálat, amely a rétegek homokméretű ásványzemszéinek meghatározásával foglalkozik. Mindkét módszernek komoly hiányosságai vannak. Ezek egy részének kiküszöbölésére az utóbbi években bevezették a beágyazott szemcsecsiszolt vizsgálati módszert, de a nehézasványok biztos kőzethez rendelhetősége így sem oldódott meg. Ezzel a munkánkkal az a célunk, hogy egy olyan vizsgálatot mutassunk be, amely laza üledékes rétegsoroknak az eddigieknél sokkal pontosabb és biztosabb forrás meghatározását teszi lehetővé, és amelynek segítségével kiküszöbölhetők a korábban alkalmazott módszerek egyedi hiányosságai. Az általunk komplex eredetvizsgálatnak (KEVi) nevezett módszer olyan ötelemes szemcseelemző vizsgálat, amely az eddig hagyományosan és újabban használt, valamint ebben a cikkben használt újonnan bemutatott vizsgálatokat együttesen, összehangoltan tartalmazza. Jelen cikkben részletesen bemutatjuk a „KEVi” módszer egyes elemeinek vizsgálati leírását, alkalmazhatósági feltételeit, előnyeit és hátrányait, valamint a vizsgálatban betölthető szerepét és hasznát. A dolgozat végén a „KEVi” módszer értékelését is összefoglaljuk.

Kulcsszavak: forrásterület, petrográfia, kavics, homok, vékonycsiszolat, nehézasvány

Bevezetés

A recens folyóvízi hordalékok kavicsainak vizsgálata és származási helyük felkutatása már a kőkorszak emberének is egyik fő tevékenysége volt. Az üledékes kőzetek forrásterületének modern kori tudományos kutatása azonban csak a 19. században kezdődött el. LUDWIG (1874), MEUNIER (1877) és MICHEL LÉVY (1878) recens tengerparti és folyóvízi eredetű homokok, míg THÜRACH (1884) különböző homokkövek nehéz ásványainak mikroszkópos megfigyelésével igyekeztek meghatározni azok lehetséges forrásterületeit.

Az üledékes rétegek és rétegsorok törmelékanyagának forrásterület-elemzése a 20. század során egyre elterjedtebbé vált és a mai napig fontos kutatási terület mind az alkalmazott, mind az alap kutatásban. Az üledékes összetetek törmelékanyagának ásványtani és kőzettani vizsgálatával ugyanis megismerhető többek között a forrásterület lepusztulás-története, amely segítheti az adott lepusztulási terület földtani felépítésének, földtani és tektonikai fejlődéstörténetének jobb megismerését (pl. DICKINSON & SUZEK 1979, HAUGHTON et al. 1991, PRESTON et al. 1998, PEARCE et al. 1999, ANDERSSON et al. 2004, HEINS & KAIRO 2007, NIE et al. 2012, BARNARD et al. 2013, ZAID 2013, WRAY & JEANS 2014).

A technológia és a műszeres analitika fejlődésével új utak nyíltak meg a forrásterület-elemzés előtt. Az egyes homokméretű szemcsék mikroszkópos–mikromorfológiai (SEM, CL) vizsgálatával az alak, szín és belső szerkezet, mint például a zónáság és törések változatosságát használják ki (pl. LIHOU & MANGE-RAJETZKY 1996, SEYEDOLALI et al. 1997, DUNKL et al. 2001). A detritális homokszemcsék ásványkémiai és radiometrikus vizsgálatához többek között elektronmikroszkóp, ionmikroszkóp, LA-ICP-MS vizsgálatokat, illetve U-Pb, U-Pb(He), hasadvány nyom valamint $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ korhatározást végeznek, amelyek pontosabban, más oldalról teszik lehetővé a lehetséges forráskőzetek vagy forrásterületek azonosítását. Ezzel együtt más kutatók a lepusztulási terület kőzettani felépítését az üledékes kőzetek geokémiai vizsgálatával is megpróbálják azonosítani (pl. PRESTON et al. 1998, PEARCE et al. 1999, ANDERSSON et al. 2004, SABAOU et al. 2009, MONTILLA et al. 2013, WRAY & JEANS 2014). Egyes szerzők például bizonyos kémiai elemek teljes kőzetben mért mennyiségéből, azok arányaiból, valamint a jellemző izotóparányokból következtettek a lepusztulási terület összetételére és jellegére (pl. GARVER et al. 1996, BOCK et al. 2000).

A különböző vizsgálati módszerek alkalmazása során nagy számban keletkezett adatok feldolgozását egyre inkább matematikai statisztikai módszerekkel végzik. A lepusztulási területet számítógépes modellezéssel próbálják behatárolni és jellemezni (WELTJE 2002, 2004; HOFMANN et al. 2008, 2013; MARSCHALLINGER & HOFMANN 2010). WELTJE megalkotta az üledékes kőzetben alkalmazott háromszögdiagramok mintájára az ún. petrográfiai adatkockát (PDC), amelynek előnye, hogy egyszerre három tengely mentén, három különböző értéket tud kezelni és ábrázolni

(WELTJE 2004, 2012). Ezek a módszerek alkalmasak folyóvízi rendszerekben a különböző forráskőzetek térbeli elterjedésének és mennyiségének megállapítására, vagy a forrásterületen történő erózió és exhumáció mértékének meghatározására (WELTJE & VON EYNATTEN 2004).

A mállás-szállítás-leülepedés-diagenézis folyamatának rekonstrukciója a szénhidrogén-kutatásban is nagy jelentőségű, elsősorban a medenceanalízis terén és a szénhidrogén anyakőzetek, tároló kőzetek, illetve záró kőzetek földtani minősítése szempontjából (pl. HAUGHTON et al. 1991, HEINS & KAIRO 2007, ZAID 2013).

Ugyanakkor az üledékes kőzetek egészének és egyes detritális alkotóinak tulajdonságai nem feltétlenül egyeznek meg pontosan forrásterületük kőzeteinek és alkotóinak eredetileg fennállt kiindulási tulajdonságaival. Az üledékes kőzetekben megjelenő elegyrészek mennyiségét, arányát, összetételét és megjelenési módját (pl. mállottsági fok, alak stb.) a mállás, szállítás és diagenézis során végbemenő számos folyamat befolyásolhatja (SIEVER 1988, WELTJE & VON EYNATTEN 2004, WELTJE 2012). A folyóvízi szállítás során például a legfontosabb befolyásoló tényező a kémiai átalakulás (JOHNSON & MEADE 1990), de fontos szerepet játszik még a szemcsék koptatódása, osztályozódása, áthalmozódása és keveredése is (SIEVER 1988, WELTJE & VON EYNATTEN 2004, WELTJE 2012). A lerakódás után ható diagenetikus folyamatok során a detritális elegyrészek visszaoldódhatnak, kémiaiilag átalakulhatnak, és új ásványfázisok is képződhetnek (SIEVER 1988, WELTJE & VON EYNATTEN 2004). A fent ismertetett vizsgálati módszerek nagy része esetén nem lehetséges a detritális, illetve autigén és epigén eredetű összetevők megkülönböztetése. Mindezek a folyamatok és módszerek adta hiányosságok bizonytalanná tehetik a forrásazonosítást (pl. GARVER et al. 1996, BOCK et al. 2000, WELTJE & VON EYNATTEN 2004).

Mindezek alapján megállapítható, hogy az üledékes kőzetek forrásterületének pontos, megbízható megismeréséhez nem elég csupán egyes anyagtípusok (pl. lehetséges forráskőzetek, kavicsok, nehézásványok, egyes detritális ásványfajták) egyféle módszerrel (pl. mikromineralógia, kavicsstatisztika, ásványkémia, kőzetkémia stb.) történő vizsgálata. A módosító hatások miatt ugyan alkalmaznak bizonyos kiegészítő vizsgálati módszereket, de ezek nem közvetlenül az üledék forrásának pontosabb megismerésére irányulnak, hanem csak közvetetten, a lepusztulás, szállítás és diagenézis során érvényesülő környezeti tényezők (pl. tektonika, klíma, növényzet, topográfia) hatásaira próbálnak rávilágítani (WELTJE et al. 1998). Ezeknek a befolyásoló tényezőknek az ismeretében pontosabban meg lehetne ismerni a vizsgált üledék vagy üledékes kőzet forrásterületét, azonban a legtöbb forráskutató vizsgálat során e folyamatok közül csak egyet-egyet vesznek figyelembe.

Mindezen problémák egyszerű módszerrel történő megoldására egy összetett petrográfiai vizsgálatos, az általunk komplex eredetvizsgálati módszernek (KEVi) nevezett vizsgálatos bevezetését javasoljuk.

A kavicsokat is tartalmazó törmelékes összetetek ásványkőzettani, petrográfiai módszerrel történő, forrásterületük

kőzetösszetételére irányuló kutatása hagyományosan három, újabban négy fő anyag típus vizsgálatára korlátozódik:

1. Az egyedi kavicsok petrográfiaja magában foglalja a terepi kőzetmeghatározást és legalább 200 kavics adatainak (kőzettípus, mennyiség, alak, koptatottság, mállottság stb.) rögzítését (pl. BÓDI 1938, PÉCSINÉ DONÁTH 1958, JUHÁSZ 1965, BREZSNYÁNSZKY & HAAS 1984, BURJÁN 2002), valamint a kavicsfajták vékonycsiszolatból történő pontos leírását és meghatározását (pl. ILLENBERGER 1991, SALATA & OSZCZYPKO 2010, SPRÁNITZ & VÁCZI 2014, ANASTASIU et al. 2015, JIN-LONG et al. 2016, OSZCZYPKO et al. 2016, SPRÁNITZ et al. 2017).

2. A homokkőrétegek petrográfiaja leginkább a vékonycsiszolatos vizsgálatra korlátozódik (PETTIJOHN et al. 1973; B. ÁRGYELÁN 1995; VARGA et al. 2001, 2003; ARRIBAS et al. 2003; KASSAB et al. 2014; SZŐCS et al. 2015; OBBÁGY 2017).

3. Hagományos nehézsavány vizsgálat alatt a törmelékes összetek homok méretű frakciójából kinyert nehézsaványok vizsgálatát értjük (MOLNÁR 1964, 1965; GEDEONNÉ RAJETZKY 1973; MORTON 1991; THAMÓNÉ BOZSÓ 1991a, b; MANGE & MAURER 1992; MORTON & HALLWORTH 1994, 1999; LIHOU & MANGE-RAJETZKY 1996; SEYEDOLALI et al. 1997; DUNKL et al. 2001; BURJÁN 2003; MÁTHÉ et al. 2003; MANGE & WRIGHT 2007; NÁDOR et al. 2007; VARGA et al. 2009; OBBÁGY 2017; BÓNOVÁ et al. 2018).

4. Az eddig itthon leginkább csak *szemcsecsiszolatos vizsgálat*ként emlegetett módszert csak néhány éve vezették be az oktatásba és a kutatásba az ELTE kutatói (RÓZSÁS 2012, BENEI 2014, SIMON 2015). Ez a forráskutató módszer, amely a laza üledékből szeparált darakavics méretű szemcsék vékonycsiszolatos vizsgálatát jelenti, az újabb hazai kutatásokban is kezd teret nyerni (CARACCILO et al. 2012; BRADÁK et al. 2014; SZEBERÉNYI et al. 2014, 2015; MIKLÓS & JÓZSA 2017).

Ezek a vizsgálati módszerek önmagukban alkalmazva sok bizonytalanságot hordoznak és csak nagyon hiányos képet adnak a forrásterületről és annak lepusztulás történetéről. Itt említhető meg példaként a nagyméretű kavicsok terepi kőzetmeghatározásának pontatlansága, azok pontos (vékonycsiszolatos) kőzetmeghatározásának számbeli korlátozottsága, illetve a mikroásványok forráskőzethez rendelhetőségének bizonytalansága (l. a „KEVi módszer értékelése” című fejezetben). A szemcsecsiszolatos vizsgálat esetében pedig a szemcsék egy részének pontos kőzettani besorolása lehet bizonytalan. A törmelékes rétegsorok forrásterületének és azok lepusztulás történetének rekonstrukcióját szolgáló fent felsorolt hagyományos vizsgálati módszerek közül a kutatók általában egyszerre csak egyet, vagy legfeljebb kettőt alkalmaznak egy-egy egységes rétegsor tanulmányozása során. Ezeknél a munkáknál az egyes önállóan alkalmazott módszerek hiányosságai, hátrányai jól megmutatkoznak a következtetések bizonytalanságában.

Ezeket a bizonytalanságokat és hiányosságokat, amelyeket a „A KEVi módszer részletes leírása” című fejezetben részletezünk, jelentősen csökkenthetjük az általunk ebben a munkában javasolt vizsgálat sor alkalmazásával. A vizsgálat sor bemutatásával az a célunk, hogy az eddigieknél

hatékonyabb eszközt nyújtsunk laza törmelékes rétegsorok forráskőzet meghatározásához. Az itt bemutatott módszer öt különböző vizsgálat együttes alkalmazásán és összehangolt értékelésén alapul. A vizsgálat sorba ötféle vizsgálati módszert vontunk be, amelyek közül az első, harmadik és negyedik már régóta jól ismert, a második egy újabban bevezetett, az ötödik pedig egy általunk itt újonnan bemutatott vizsgálat: 1. Egyedi *Nagyméretű kavicsok Petrográfiai vizsgálata (NP)*. 2. *Beágyazott szemcsék Vékonycsiszolatos vizsgálata (BV)* (korábban szemcsecsiszolatos vizsgálat). 3. *Homokkőrétegek hagyományos Vékonycsiszolatos vizsgálata (HV)*. 4. *Hagományos Nehézsavány vizsgálat (HN)*. 5. *Nagyméretű kavicsok Nehézsavány vizsgálata (NN)*.

Bár ezek a vizsgálatok egyenként is alkalmasak a lepusztult kőzetekre vonatkozó többé-kevésbé pontos minőségi vagy mennyiségi következtetésekre, összehangolt alkalmazásukkal az eddigieknél sokkal pontosabban meg lehet határozni laza durvatörmelékes összetek lepusztulási területének kőzettani felépítését. A KEVi módszer alkalmazásával pontosabban nyomon követhetők a lepusztult kőzetözegek törmelékanyagának az áthalmozódás, lerakódás és diagenezis okozta mennyiségi, méretbeli és minőségi változásai.

Ez a munka egy kétrészesre tervezett cikksorozat első része, amelyben magát a KEVi módszert ismertetjük részletesen. A következő, második részben a vizsgálat sor gyakorlati alkalmazását tervezzük bemutatni miocén Szászvári Formáció egy nyugat-mecseki szelvényén.

A komplex eredetvizsgálat (KEVi) részletes leírása

Az általunk alkalmazott és javasolt, a lepusztulási terület kőzettani felépítésének pontosabb meghatározását célzó teljes vizsgálat sor olyan laza, durvatörmelékes kőzetösszetek esetében alkalmazhatjuk, amelyben megjelennek a kb. 2 cm-nél nagyobb kavicsok, valamint a darakavics- és a homokméretű szemcsék is. Fontos feltétel az is, hogy a vizsgált rétegsor összetétele közel egységes legyen a vizsgálni kívánt törmelékes üledékes összetekben belül. A teljes vizsgálat sor 5 különböző vizsgálati módszert tartalmaz, amelyek együttes, összehangolt alkalmazásával érhetjük el a legjobb eredményt. Az ötelemes, összehangolt forráskőzet-kutató eljárás, azaz a KEVi egyes elemeit sorba véve, azok előnyeit és hátrányait külön részletezve bemutatjuk be.

1) Egyedi nagyméretű kavicsok petrográfiai vizsgálata (NP)

Az *NP vizsgálat leírása*: Az egyedi nagyméretű kavicsokat makroszkópos majd vékonycsiszolatos vizsgálatoknak vetjük alá.

A kavicsok makroszkópos leírását a korábban is sokak által alkalmazott eljárás alapján, kőzettani, alaktani és fizikai tulajdonságbeli szempontok szerint végezzük (pl. DILL

1989, LINDSEY et al. 2007). Ehhez először az egységes összetételű rétegsor egészében a kavicsokat alaposan megfigyeljük, majd kőzet fajtánként csoportosítjuk és a csoportokról részletes makroszkópos kőzettani leírást készítünk. Ezután rögzítjük a forráselemzéshez szükséges makroszkópos kavicsstatisztikai adatokat (kavicsméret [hosszúság, szélesség, vastagság], koptatottság [1–5], keménység-mállottság [1–5], kőzetnév, szín, szemcseméret, főbb ásványok, szöveti bélyegek [irányítottság, sávosság, erezés stb.]). Ezt a vizsgált rétegsor egy-egy kiválasztott reprezentatív rétegből véletlenszerűen kiválasztott, rétegenként legkevesebb 200 darab, lehetőleg 4 cm-nél nagyobb méretű, kavics egyenkénti számbavételével hajtjuk végre. A kiválasztott rétegek számát a rétegsor kiterjedtsége és vastagsága határozza meg. Ezzel a kőzettípusok pontos átlagos mennyiségi eloszlását is megismerjük.

Ezt követően a makroszkópos csoportosítás során elkülönített kőzetfajták jellegadó példányaiból és a különlegesebb, ritkább, esetleg makroszkóposan bizonytalanul meghatározható kavicsokból *vékonycsiszolatos vizsgálatot* végzünk. A mikroszkópi vizsgálatra kiválasztott kavicspéldányok számát a vizsgált durvatörmelékes összlet kőzet-csoportjainak száma és a kőzetcsoportok diverzitása határozza meg. Minél változatosabb egy összlet, annál nagyobb számú mintára van szükség. Egy átlagos változatosságot mutató kavicsos összlet vizsgálata esetén legalább 20–30 darab kavics vékonycsiszolatos elemzésére lehet szükség ahhoz, hogy képet kaphassunk a terület kőzettani összetételéről.

Az NP vizsgálat előnyei: A vizsgált rétegsor forrásterületéről lepusztult kőzeteket, ezáltal az egykori háttérterület földtani felépítését a nagykavics-vizsgálattal lehet legjobban megismerni. A nagyméretű kavicsok vékonycsiszolatos vizsgálatával részletes képet kaphatunk a háttérterület különböző kőzettípusainak ásványos összetételéről és szövetéről, megadhatjuk részletes mikroszkópi leírásukat. Ezek alapján a lepusztult kőzeteket petrográfiai csoportokba sorolhatjuk, majd a mikroszkópi megfigyeléseket felhasználva pontosíthatjuk a makroszkópos, terepi kőzetazonosítást és csoportosítást. Ezek a vizsgálatok segítik legjobban a lepusztult főbb kőzettípusok makroszkópos és mikroszkópos megfigyeléseken alapuló összehasonlítását a lehetséges forráskőzetekkel. Az egyes kavicsfajták koptatottsága, keménységüket is figyelembe véve, szállítási távolságuk becslését is lehetővé teszi.

Az NP vizsgálat hiányosságai: A terepi makroszkópos kőzethatározás egyes kőzetfajtáknál, főleg a finomszemcsés változatoknál nehézségekbe ütközhet, ráadásul a szövet és az ásványos összetétel meghatározása ezzel a módszerrel pontatlan. Ha a durvatörmelék tág szemcseméret-tartományt ölel fel, akár több száz szemcse felmérésére is szükség lehet ahhoz, hogy átfogó kőzet-összetételi képet kapjunk egy-egy kiválasztott rétegről. Az egyébként is szükséges nagyszámú kavicspéldány makroszkópos leírása nagyon időigényes, leginkább csak terepen megvalósítható, ellenkező esetben igen nagy, mintánként akár több 10, vagy akár 100 kilogrammos mintamennyiséget is be kellene

gyűjteni rétegenként. A forrásterületen és a lepusztult hordalék szállítása közben elmállott kőzetekkel a vizsgálat során nem számolhatunk. A mégis egyben megmaradt nagyobb méretű mállott kavicsok a mintázásnál könnyen széteshetnek apró darabokra, így a nagy kavicsok számolásánál alulreprezentálttá válhatnak. Ennél az eljárásnál az egyedi kavicsok egyenkénti számbavétele során rögzített makroszkópos adatok később a legtöbb esetben nem ellenőrizhetők vissza. A vékonycsiszolatos vizsgálattal a fenti hiányosságok egy része kiküszöbölhető, de ennek általában szám- és észszerűségi korlátai vannak. Pontos petrográfiai képet tehát csak a főbb kőzettípusokról, vagy csak néhány makroszkóposan különlegesnek vélt, kiválasztott kőzetről kaphatunk. A kőzetek ásványai közül vékonycsiszolatban is csak a fő kőzetalkotókat lehet pontosan megismerni, a mellékes elegyrészeket csupán esetlegesen, kis mennyiségben és méretben lehet megfigyelni.

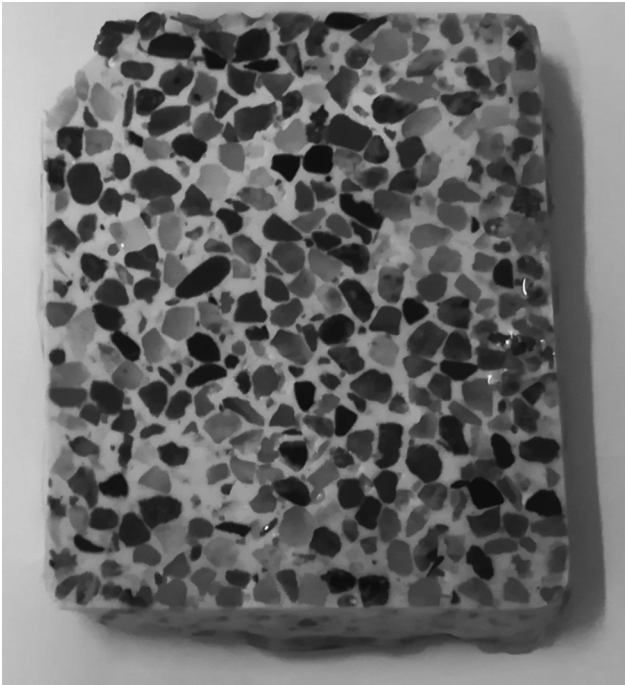
Az NP vizsgálat szerepe a KEVi módszerben: A nagy kavicsok vékonycsiszolati képének ismerete, amellyel hogy lehetővé teszi a főbb és egyes ritka kőzettípusok pontos meghatározását és a lehetséges forráskőzetekkel való azonosítását, alapul szolgál a szemcsecsiszolatok (BV) és a hagyományos vékonycsiszolatok (HV) kisebb méretű kőzet- és ásványszemcséinek biztosabb kőzettani azonosításához. Ez a vizsgálat kisebb mértékben hozzájárul a fő kőzettípusok nehézásványainak (NN) előzetes polarizációs mikroszkópi megismeréséhez is.

2) *Beágyazott szemcsék vékonycsiszolatos (szemcsecsiszolatos) vizsgálata (BV)*

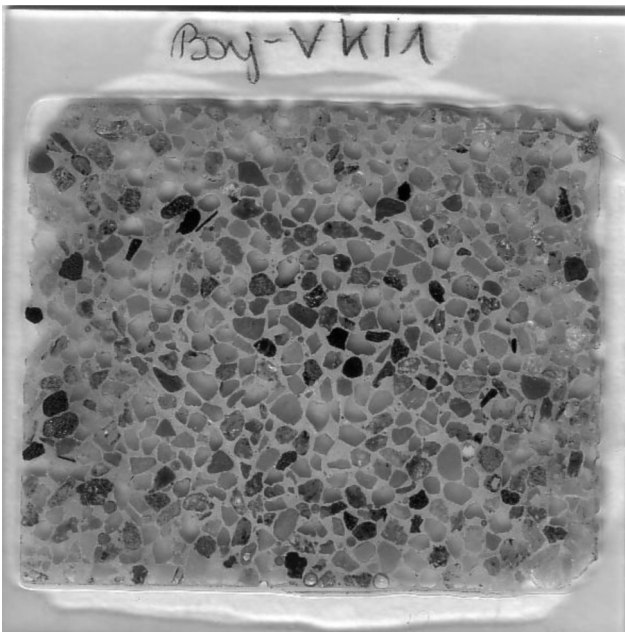
A BV vizsgálat leírása: A szemcsecsiszolatos vizsgálatot idehaza már több szerző is alkalmazta (1. Bevezetés), de mivel viszonylag újnak mondható, az alábbiakban rövid leírást adunk róla.

Ehhez a vizsgálatához a vizsgálni kívánt rétegsor durvahomok és darakavics tartalmú rétegeit mintázzuk meg. Mindenképpen célszerű minden olyat megmintázni, amelyből nagykavics-vizsgálat is történt. Akár nagyszámú réteget is kiválaszthatunk a mintavételre, hiszen a vizsgálatához fél dm³-nyi minta is elegendő lehet, sőt ebből a mennyiségből a hagyományos nehézásvány vizsgálat (HN) mintáigénye is fedezhető. A kiszemelt laza törmelékes réteg 3 mm-nél nagyobb átmérőjű szemcséit lehetőleg még a terepen szitálással távolítjuk el. Mivel ennél a módszernél, annál hatékonyabb a vizsgálat, minél szűkebb mérettartománnyal dolgozunk, az 1–3 mm-es frakciónak egy szűkebb, legfeljebb 1 mm-t átölelő tartományába tartozó szemcséit elkülönítjük. Az így előállt szemcsefrakcióból legalább 25 cm³-nyi mennyiséget mesterséges cementáló anyagba keverünk, amit kb. 5×5×2 cm-es formába öntünk és buborékmentesre tömörítünk. Az így elkészített mintatestből (1. ábra), teljes megszilárdulása után vékonycsiszolatot készítünk (2. ábra). Az 1–3 mm-es frakcióból azt a szűkebb mérettartományt válasszuk, amelyben a szemcsék többsége még kőzetként azonosítható. Ehhez segítséget nyújt az előzetesen elvégzett egyedi kavicsok vékonycsiszolatos

vizsgálata. Az 5×5 mm-es beágyazott szemcsecsiszolatok legalább 200 darab, 2 mm-nél kisebb méretű beágyazott szemcsék esetén legalább 400 szemcse meghatározását és a megfelelő kategóriákba sorolását teszik lehetővé, ami a szemcsetípusok mennyiségi eloszlásának meghatározásához éppen elegendő. Amennyiben igény van rá, úgy is végezhetjük az adatok rögzítését, hogy a szemcsecsiszolatok digitális képén minden egyes szemcsét megszámozzunk. Az

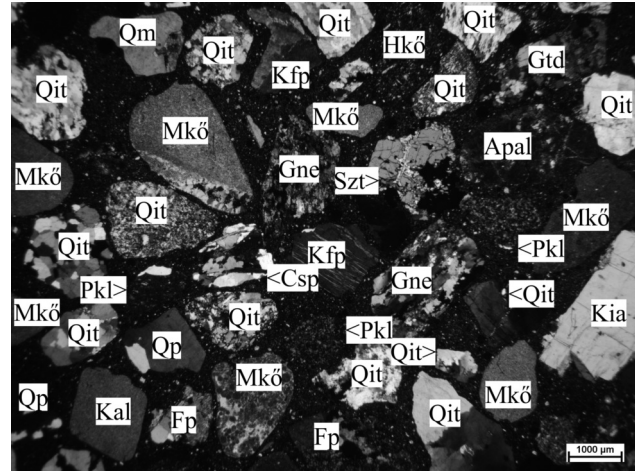


1. ábra. Cementbe ágyazott szemcsék (a tárgylemez 5×5 cm-es)
Figure 1. Grains are encased in cement (glass is 5×5 centimetres)



2. ábra. Csiszolás előtt álló szemcsecsiszolat szkennelt képe (az üveglemez nagysága 5×5 cm)
Figure 2. Grain-section before grinding (the glass sheet's size is 5×5 centimetres)

egyes szemcséket (3. ábra) a megfelelő ásvány és kőzetkategoróriákba soroljuk be és az adataikat (ásvány-, vagy kőzetnév, az ásvány töredékek esetében például a hasadás, szín, pleokroizmus, míg a kőzettörmelékeknek például az alak, szemcseméret, ásványos összetétel és egyéb bélyegek) egyenként táblázatban rögzítjük.



3. ábra. Az elkészült szemcsecsiszolat polarizációs mikroszkópi fényképe, ahol megfigyelhetők a finom cementanyagba ágyazott különböző típusú ásvány-töredékek és kőzettörmelékek.

Apal - Agyagpala, Csp - Csilámpala, Fp - Földpát, Gne - Gneiss, Gtd - Granitoid, Hkő - Homokkő, Kal - Kalcit egykristály, Kfp - Káliföldpát, Kia - Kianit, Pkl - Pirokaszit, Qit - Kvarcit, Qm - Monokristályos kvarc, Qp - Polikristályos kvarc, Szt - Sztaurolit

Figure 3. The ready grain-section's photo with a polarizing microscope, where can be seen the different types of mineral- and rockfragments encased in the fine grained cement.

Apal - Shale, Csp - micaschist, Fp - feldspar, Gne - gneiss, Gtd - Granitoid, Hkő - Sandstone, Kal - Calcite monocystal, Kfp - Potassium feldspar, Kia - Kianite, Pkl - Pyroclastic rock, Qit - Quartzite, Qm - Monocrystal quartz, Qp - Polycrystal quartz, Szt - Staurolite

A BV vizsgálat előnyei: A szemcsecsiszolatos (BV) vizsgálat révén lehetővé válik minden egyes vizsgált rétegből több mint 200 szemcse vékonycsiszolatos megfigyelése, leírása, pontos számbavétele és mennyiségi arányainak értékelése. Az ásvány- és kőzetszemcséket a nagyméretű kavicsok vékonycsiszolatos vizsgálatával (NV) azonosított szemcsékkal egyeztetve soroljuk a megfelelő kategóriákba. A nagyszámú szemcse mikroszkópos vizsgálata és leírása lehetőséget nyújt a területről a nagyméretű kavicsok között eddig még meg nem talált, vagy kevésbé ismert ritka kőzetfajták felismerésére is. A mikrofoszília tartalmú mészkőszemcsék ebben a tartományban igen jól azonosíthatóak. A szemcsék koptatottságának megfigyelhetősége, így a szállítási távolságukra való következtetés lehetősége ennél a módszernél is fennáll. Ezzel a módszerrel a nagy kavicsok számbavételénél egyszerűbben kaphatunk kellően reprezentatív, pontosabb minőségi és mennyiségi szemcsepetrográfiai ismereteket a forrásközetek vizsgált rétegekben megőrzött maradványairól. Mind emellett előfordulhatnak olyan kőzettörmelékek is, amelyek a nagyméretű kavicsok közül nagyrészt kikoptak, de a kis szemcsék között még előfordulnak. A szemcséket a rétegekben esetlegesen ért utóhatások, mint pl. a visszaoldódás, vagy diagenetikus ásványkiválás ebben a mérettartományban még nem okoznak

jelentős változást az eredeti összetételhez képest. Az így kapott nagy mennyiségű adat statisztikus kiértékelés alapját is képezi. Mivel rögzített, számozott szemcséket frunk le, az adatok bármikor visszaellenőrizhetők.

A BV vizsgálat hiányosságai: A forrásterületről lepusztult egyes durvább szemcsés kőzetek a szemcsecsiszolában már csak egyedi ásvány szemcsék formájában jelennek meg, ezért kőzethez rendelésük nehézségekbe ütközhet. Egyes összetett szemcsék pontos kőzettani besorolása is bizonytalan lehet, ha az alkotó ásvány szemcsék fajtája, mennyisége és mérete ehhez nem megfelelő. Az ezzel a vizsgálattal egyébként jól meghatározható kőzetek esetén is nehézségekbe ütközhet a nagy kavicsok leírásánál alkalmazott csoportosítással való egyeztetés. A karbonátos kőzet szemcséknél a makroszkóposan jól megfigyelhető, de ritkábban megjelenő ősmaradványok ebben a mérettartományban kevéssé tanulmányozhatók, így ezeknek a szemcséknek a szemcsecsiszolatos azonosítása, illetve egyeztetése a nagyméretű mészkő kavicsokkal szintén nehézkes lehet. Ezen a téren nagyobb hibát okozhat a szitalás közben elaprózódott, elmállott, eredetileg a szemcsecsiszolotnak megfelelő méretű szemcsék (pl. agyagkőzetek, murvásodó gránit, tufaszemcsék stb.) kiesése a vizsgált frakcióból. Az esetlegesen előforduló detritális karbonát szemcséket nehéz lehet elkülöníteni a szintén esetlegesen előforduló karbonátos kötőanyagból származó szemcséktől.

A BV vizsgálat szerepe a KEVi módszerben: Ez a vizsgálat a forráskőzetek együttes, minőségi és mennyiségi megismerése terén a legmegbízhatóbb. Segítségével elsősorban a rétegsorból származó nem mállékony kőzetek vizsgálhatóak. Önállóan is megállhatja a helyét, amennyiben nem állnak rendelkezésre nagyméretű kavicsok. A pontosabb kőzethatározást lehetővé tévő egyedi nagy kavics vizsgálatok (NP) legtöbb hiányosságát kiküszöböli a nagy számú szemcse vékonycsiszolatos minőségi és mennyiségi elemzésének lehetősége révén. A homok méretű frakció vékonycsiszolatos vizsgálatánál (HV) — nagyobb szemcsemérete miatt — pontosabb kőzetmegismerést tesz lehetővé. Minden szempontból átmenetet jelent a nagy kavicsos és a hagyományos vékonycsiszolatos vizsgálatok között.

3) Hagományos vékonycsiszolatos vizsgálat (HV)

A HV vizsgálat leírása: A homok méretű szemcsék anyagának és a törmelék szemcsék eredeti szöveti viszonyainak vizsgálata érdekében meg kell kísérelni a megfelelő homok- vagy homokkőrétegekből hagyományos vékonycsiszolatos vizsgálatokat végezni. Ehhez vagy a még egybe álló, esetleg gyengén kötött homokdarabokból mesterségesen cementált mintadarabot kell készíteni, vagy a feltárásban előforduló természetesen cementált rétegeket kell megmintázni. A cementált mintadarabok vékonycsiszolotainak térfogati és szemcseszámolásos kimérésével a megfigyelhető valamennyi alkotóelem (törmelék szemcsék, alapanyag, kötőanyag, pórus) minőségét és mennyiségét, valamint az esetleges utóhatásokat (diagenezis, metasztatizáció stb.) pontosan, in situ határozhatjuk meg. A homokkő-

minták ezzel a módszerrel eredeti szöveti és összetételi képet mutatnak, tehát mennyiségi kimérésre is érdemesek, ami által besorolhatjuk őket az üledékes kőzetekben elterjedt FOLK (1968) vagy PETTIOHN et al. (1973) által megalkotott rendszerek valamelyikébe.

A HV vizsgálat előnyei: Ezzel a vizsgálattal (HV) minden más vizsgálatnál pontosabban megismerhetjük az egyes homok méretű törmelékes alkotók betemetődéskori, eredeti mennyiségi arányait. A szemcsék szöveti elrendeződése is csak ezzel a vizsgálattal figyelhető meg. Így például egy vékonycsiszolotban általában jól látható, ha a törmelékes szemcsék eredeti arányát a — többi vizsgálattal szintén nem tanulmányozható — betemetődés után zajlott események (diagenezis, metasztatizáció stb.) megváltoztatják. Egyes változások (pl. diagenetikus vagy metasztatikus ásványok megjelenése, egyes szemcsék visszaoldódása) megfigyelése és számbavétele az ezzel a módszerrel számolt szemcseösszetétel korrekciójára ad lehetőséget. Ez a vizsgálat a kisebb méretű (<1 mm) törmelékes alkotók, pl. akcesszóriák közelítő pontosságú vizsgálatát is lehetővé teszi. A szemcsék koptatottsága az előző két vizsgálathoz hasonlóan vizsgálható és értékelhető.

A HV vizsgálat hiányosságai: Az így vizsgált kőzetrétegek kisebb szemcsemérete miatt a törmelék szemcsék nagy részét már nem kőzettörmelék formájában, hanem az azok szétesésével keletkezett ásvány szemcsék formájában láthatjuk, így a nagyméretű kavicsok és beágyazott szemcsék vizsgálatával felállított csoportosítás követése ennél a vizsgálatnál általában nehézségekbe ütközik. A kőzetként jelenlévő törmelékek pedig általában finomszemcsésék, így nehezen azonosíthatóak.

A HV vizsgálat szerepe a KEVi módszerben: Ha ennek a vizsgálatnak az eredményeit összehasonlítjuk a nagy kavicsos (NP) és szemcsecsiszolatos (BV) vizsgálatokkal, rávilágíthatunk arra, hogy a lepusztult törmelék összetétele hogyan változik a szemcseméret csökkenésével. Az itt megfigyelt törmelékes szemcsék eredeti kőzethez rendelése és csoportosítása szintén csak a fenti két vizsgálat eredményeivel való összevetéssel valósítható meg. Az alább ismertetett nehéz ásvány vizsgálatok (HN, NN) eredményének értékeléséhez a homokkő vékonycsiszolotokban megfigyelt lerakódás utáni folyamatok okozta másodlagos, ásványos összetételbeli változásokat (diagenetikus és metasztatikus ásványoldódás és -képződés) figyelembe kell venni.

4) A Hagományos nehéz ásvány vizsgálat (HN)

A HN vizsgálat leírása: Ez a vizsgálat teljesen meg egyezik a laza homokból, valamint a kavicsos rétegek mátrixából származó minták szokásos nehéz ásvány vizsgálatának elvével, módszerével és menetével (MANGE & MAURER 1992). A hagyományos nehéz ásvány meghatározást célszerű több rétegen is elvégezni annak érdekében, hogy lehetőleg a lepusztult kőzet összlet teljes, átlagos nehéz ásvány spektrumát megismerjük. Ehhez a vizsgálat-hoz a szemcsecsiszolathoz vett mintákat is felhasználjuk, de

néhány tisztán homokból álló rétegből is célszerű mintát venni. A kiválasztott minták 63–125 és 125–250 µm-es frakcióiból leválasztott nehézásványokból egy-egy műgyantába ágyazott polírozott preparátumot készítünk, és azokat külön-külön értékeljük. A szemcsék tanulmányozásával minőségi kategóriákat (főleg ásvány) állítunk fel, és legalább 200–300 szemcsét reprezentatív módszerrel számba véve ezeket a kategóriákba sorolunk be és adataikat (ásvány neve, termete–alakja, fizikai tulajdonságai [pl. hasadás, szín, pleokroizmus, egyéb bélyegek]) egyenként rögzítjük. Az ásványok számolását célszerű a klasszikus sávszámilásos módszerrel végezni. A kiindulási anyag, és a különböző módszerekkel szétválasztott minden egyes frakció tömegét meg kell mérni. Az értékeléshez ugyanis szükség lehet többek között a vizsgált mérettartományokon belüli nehézásvány – teljes kőzet arányának a meghatározására és figyelembe vételére is.

A HN vizsgálat előnyei: A lepusztulási területet ez a vizsgálat képviseli a legnagyobb reprezentativitással. Ez a módszer sokkal részletesebb nehézásvány ismereteket ad, mint a hagyományos vékonycsiszolatos (HV), vagy az egyedi nagykavicsos petrográfiai (NP) vizsgálatok. Egy-egy minta esetén ugyanis általában nagyszámú, akár több ezer nehézásvány-szemcse is vizsgálható, amelyek vélhetően jóval nagyobb tömegű lepusztult kőzetanyagot képviselnek, mint a másik négy vizsgálati módszerrel megismert szemcsék együttvéve. Ha kellően nagy tömegű minta nehézásványait ismerjük meg, a lepusztulási terület teljes egészéről, annak szinte minden kőzetről szerezhetünk nehézásvány-tartalmukra vonatkozó ismereteket. A nagy szemcseszám miatt ritka ásványfélések is előkerülhetnek, amelyek pontosíthatják a lepusztult kőzetekre vonatkozó ismereteinket. A szeparált ásványszemcsék további, elsősorban geokémiai vizsgálata lehetővé teszi a lepusztulási terület potenciális forráskőzeteinek meghatározását, valamint az azokkal történő korrelációt.

A HN vizsgálat hiányosságai: A forráskőzetek nehézásványai keverten figyelhetők meg a laza törmelékes rétegek mátrixának nehézfrakciójában, így műszeres vizsgálat (pl. a nehézásványok ásványkémiai, esetenként nyomelem geokémiai, és/vagy izotópos vizsgálata) nélkül nagyon nehéz kétséget kizáróan megállapítani, melyik ásványfajta melyik lepusztult kőzethez tartozik. A nehézásvány-tartalom értékelésével leginkább csak a metamorf indexásványok esetében és csak általánosságban lehet a forráskőzet típusát biztosan meghatározni. A lepusztult, ásványaira szétesett kőzetek eredeti nehézásványainak minősége és mennyiségi arányai a szállítás, lerakódás és a diagenezis során fellépő hatásokra (kopás, kémiai átalakulás, szelekció, oldódás, utólagos ásványkiválás stb.) akár jelentős mértékben is megváltozhatnak (ALLEN & MANGE-RAJETZKY 1992; MORTON & HALLWORTH 1994, 1999). Ezért a vizsgált rétegekből hagyományos módszerrel kinyert nehézásvány-együttes értékelésénél e hatások lehetséges eredményeit figyelembe kell venni.

A HN vizsgálat szerepe a KEVi módszerben: A vizsgált törmelékes rétegsor egyes rétegeinek nehézásvány-együtte-

seit egymással összevetve megfigyelhetők a vizsgált rétegsoron belül megnyilvánuló finom változások, de arra is fény derülhet mennyire egységes összetételű a rétegsor, azaz alkalmazható-e rá, mint egységes egészre az itt bemutatott KEVi módszer. Az egyes nehézásványok vagy nehézásvány-csoportok kőzettípusokhoz rendelését csak kis mértékben segíthetik a szemcse- és vékonycsiszolatos vizsgálatok (NP, BV, HV). Biztos kőzettípushoz rendelésüket az egyedi nagyméretű kavicsok nehézásvány-vizsgálati (NN) eredményeivel való összevetésük egyértelműen megoldhatja.

5) Nagyméretű kavicsok nehézásvány vizsgálata (NN)

A NN vizsgálat leírása: Ezt a vizsgálatot a kiválasztott főbb nagykavics-típusok vékonycsiszolatos megismerését követően végezzük. Ebben az eljárásban a nehézásványokat az egyedi nagyméretű kavicsok leggyakoribb, legfontosabb típusainak egy-egy jellegadó, nagyobb méretű példányából külön-külön nyerjük ki. Ha egy adott kőzetfajta változatosabb megjelenésű, akár több példányának vizsgálata is szükséges lehet, hogy a teljes lepusztult kőzetre jellemző nehézásvány-spektrumot megkapjuk. Ha csak kisebb méretű kavicsok állnak rendelkezésre, a petrográfiailag (NP) biztosan azonos csoportba sorolható kőzetek több példányát összevonva is el lehet végezni a vizsgálatot. A kiválasztott kavicsok dezaggregálása után teljes egészében a hagyományos nehézásvány-vizsgálat (HN) ismertetett eljárást követjük.

A NN vizsgálat előnyei: Ezzel a módszerrel a vizsgált rétegsorban fellelhető minden egyes fő kőzetfajtájáról egyértelműen kiderül, hogy milyen mennyiségben és arányban milyen nehézásványokat tartalmaznak. Fontos előny a hagyományos nehézásvány-vizsgálathoz képest, hogy az egyes kőzetfajtáknak ezzel a módszerrel meghatározott nehézásvány-együttese nagy valószínűséggel megegyezik a lepusztult forráskőzet eredeti nehézásvány-összetételével. Így a lehetséges forráskőzetek nehézásvány-együttesével való egyeztetés egyértelmű eredményt hozhat.

A NN vizsgálat hiányosságai: Ennél a vizsgálatnál könnyen előfordulhat, hogy az egyedi nagy kavicsok nem mindig elég nagyok ahhoz, hogy egyetlen példányuk megfelelő mennyiségű nehézásványt szolgáltatson. Csak az egészen biztosan azonos típusú és származású kavicsok példányait szabad összevontan, egy mintaként kezelve vizsgálni. Erősen polimikt, sok különböző nehézásvány-szolgáltató kőzetfajtát tartalmazó törmelékes összletek esetén nagyszámú nagy kavics vizsgálata hozhat csak megfelelően átfogó eredményt, ami tovább növeli a módszer egyébként is nagy munkaigényét és költségeit.

A NN vizsgálat szerepe a KEVi módszerben: Ez a vizsgálat a nagy kavicsok vékonycsiszolatos (NP) nehézásvány-észleléseit, mind minőségi, mind mennyiségi vonatkozásban jelentősen pontosítja. Az egyedi kavicsfajták nehézásványainak ismerete alapján a vizsgált rétegsorok hagyományosan kinyert, teljes rétegből származó, kevert

nehézasvány együttes (HN) ásványfajtáit elvileg konkrét kőzetfajtához lehet rendelni. A hagyományos módszerrel meghatározott nehézasványok (HN) konkrét kőzettípusokhoz tartozásának megismerése nagyban segítheti más, azonos háttérterületről származó, nagy kavicsokat nem tartalmazó törmelékes rétegsorok forrásterület-vizsgálatát. Ugyanakkor egyes kavics típusok tartalmazhatnak olyan nehézasványokat is, amelyek az őket befoglaló kőzetekből szállítás közbeni szétesésük után vagy diagenézis során könnyen elmállanak (pl. olivin). Ezek az ásványok már nem lesznek megtalálhatók a rétegekből hagyományosan (HN) kinyert nehézasvány-spektrumban. Ez további információt szolgáltat az egyes ásványok helyben történt mállási és szállításkori stabilitási viszonyairól, illetve az üledékképződési körülményekről.

A KEVi módszer értékelése

Mint láttuk, a forrásterület ellenállóbb kőzeteinek legpontosabb minőségi értékelése a nagy kavicsok vizsgálatával (NP) valósulhat meg. A lepusztult területek legkönnyebben málló kőzeteinek egy része azonban ebben a tartományban már biztosan nem jelenik meg. Anyaguk maradványa leginkább csak a kisebb mérettartományokra irányuló módszerekkel (BV, HV), de leginkább a hagyományos nehézasvány-vizsgálattal (HN) tanulmányozható, viszont így egyre romlik a lepusztuló térszínen előforduló eredeti kőzettípus pontos meghatározásának lehetősége. Ezen kívül a nagy méretű kavicsok petrográfiájával (NP) csak terepi makroszkópos mennyiségi értékelést lehet megvalósítani. Ráadásul, ha a rétegsorban nincs megfelelő méretű kavicsanyag, ezt a vizsgálatot el sem lehet végezni. A terepen történő makroszkópos csoportosítás a kőzeteket alkotó ásványok méretétől függően kisebb-nagyobb hibával terhelt. Mindemellett a nagy mintatömeg miatt csak a vékonycsiszolatos vizsgálatra kiválasztott kavicsokat lehet a terepről beszállítani, a rétegenként számba vett legalább 200 kavicsot nem.

Többek között ezért vettük be a KEVi módszerbe a darakavics méretű beagyazott szemcsék vékonycsiszolatos vizsgálatát (BV) (RÓZSÁS 2012; BENEI 2014; SZEBERÉNYI et al. 2014, 2015.; SIMON 2015; MIKLÓS & JÓZSA 2017). Az így vizsgált durvahomok vagy darakavics méretű szemcsék nagy része ugyanis, az esetek többségében — különösen, ha a lepusztult kőzetek uralkodóan finomszemcsésék voltak — várhatóan még kőzettörmelékként jelenik meg. Azonban a szemcsecsiszolatokban megjelenő ásvány- és kőzetszemcsék besorolása a lepusztult kőzettípusok valamelyikébe legbiztosabban a nagy kavicsok petrográfiai megismerésével lehetséges. Mivel a szemcsecsiszolatos módszerrel laza törmelékes rétegsorokon belül nagyszámú minta nagyszámú szemcséjének petrográfiai vizsgálata válik lehetővé, segítségével nem csak a forrásterület kőzettani felépítése ismerhető meg részletesebben, hanem a vizsgált rétegsoron belül a durvahomok vagy darakavics-szemcsék mennyiségi és minőségi mutatóinak változékonysága is pontosabban

nyomon követhető. Meg kell azonban jegyezni, hogy a forráskőzetek lepusztulása közben és a vizsgálat minta-előkészítése során történt kőzetaprózódás ennél a vizsgálatnál is az ellenállóbb kőzetek túlértékelését eredményezi a forrásterület lepusztult kőzeteinek eredeti arányaihoz képest. A vizsgált rétegekben felhalmozódott törmelékanyag összetételének esetleges lerakódás utáni, diagenetikus és/vagy metasomatikus megváltozását ezzel a módszerrel úgyszintén nem lehet nyomon követni. Ezek a folyamatok viszont általában a kőzetek cementációjához vezetnek, ami megnehezíti a minták dezaggregálását, ezáltal a szemcsecsiszolatos vizsgálat kivitelezhetőségét. Ebben az esetben viszont a cementált durvább szemcsés rétegből könnyen készíthető hagyományos vékonycsiszolat, ami a szemcsecsiszolatot tökéletesen helyettesítheti.

Mindezek figyelembevételével, ha van rá lehetőség, érdemes minél több cementált, vagy mesterségesen megkötött homokkőrétegből hagyományos vékonycsiszolatos vizsgálatot (HV) végezni. Ezt a vizsgálatot ugyan nagyon jól lehet használni az törmelékes üledékes kőzetek ásvány- és kőzetösszetevőinek számolására, ezzel együtt pontos kőzetnevük meghatározására és egyéb kategóriákba sorolásukra, azonban laza összetek esetén a vélhetően kevés cementált réteg miatt csak korlátozott mértékben lehet alkalmazni. Ráadásul a darakavicsnál általában jóval kisebb szemcseméret miatt a vizsgált szemcsék nagy részének a nagy kavicsok vizsgálatával felállított kőzetcsoportokba történő pontos besorolása komoly nehézségbe ütközhet.

Itt érdemes előre átgondolni, milyen különbségek várhatók az eddig ismertetett három különböző mérettartomány szemcséit vizsgáló módszer szemcse-összetételi eredményei között. Ennek során elsősorban az alábbi közismert, egyszerű összefüggéseket célszerű figyelembe venni:

1. A durvaszemcsés–finomszemcsés kőzetek törmelékének várható aránya, ha a mállékonysági különbségeket nem tekintjük, a nagy kavicsoktól a finom homokszemcsékig egyre csökken, hiszen a durvaszemcsés kőzetek a kisebb mérettartományokban már csak az őket alkotó egyedi ásványszemcsék formájában jelennek meg.

2. Az aprózódásra hajlamosabb kőzetek mennyisége a kisebb mérettartomány felé várhatóan növekszik az ellenállóbbakéhoz képest, hiszen nagy méretben nem tudnak sokáig megmaradni, mert könnyebben szétesnek apró darabokra.

3. Az egyedi ásványszemcsék, ezen belül is leginkább a kvarc mennyisége a finomabb szemcsés homokminták felé növekszik. Ez részben a kőzetek ásványokra történő szétválasztása, részben a kvarc többi lényeges kőzetalkotó elegyrészhez képesti nagyobb ellenálló képessége miatt lehetséges.

Természetesen a forráskőzetek fenti két fő tulajdonsága, a mállékonyság és a szemcseméret kombináltan hat a lepusztulási termékek mennyiségeire. Ezért a vizsgált mintákban megfigyelt ásványok és kőzetek mennyiségi adatait, a koptatottsági adatokat is figyelembe véve egyenként, összehangoltan kell értékelni és értelmezni.

Mindezek után felmerülhet a kérdés, hogy ha ilyen jól meg lehet határozni a lepusztult kőzeteket és azonosítani

őket a lehetséges forrásközetekkel, mi szükség lehet a nehézasvány-vizsgálatokra? A nehézasvány-vizsgálatok szükségességét egy általános érvényű törvényszerűség világítja meg legjobban. E szerint, ha egy vegyes összetételű anyagtömeget (pl. a forrásterület kőzeteit) egyre kisebb méretűre aprítunk (görgeteg–kavics–homok–kőzetliszt, vagy kőzettest–kőzet–ásvány stb.) és homogenizálunk, egyre kisebb mintamennyiség is egyre nagyobb tömegű forrásanyag átlagát fogja képviselni, tehát annál nagyobb lesz a vizsgált minta reprezentativitása. Ez a legnagyobb előnye a hagyományos nehézasvány-vizsgálatoknak (HN) a kőzetvizsgáló módszerekkel szemben. A kőzetvizsgáló módszereknél érzékenyebben és pontosabban mutatja a törmelékanyag rétegsoron belüli mennyiségi és minőségi változásait. A nehézasványok biztos forrásközethez kapcsolása azonban sok ásvány esetén teljesen bizonytalan, vagy csak nagyon költséges vizsgálati módszerekkel valószínűsíthető. A különböző kőzetek ugyanis gyakran tartalmazzák ugyanazokat az ásványfajtákat, amelyek ha már összekeveredtek, nehezen különböztethetők meg egymástól. A leggyakoribb nehézasvány-féleségek nagy része ilyen. Következésképpen egy törmelékes rétegsor nehézasványegyütteséből, csupán a hagyományos módszerekkel nem minden esetben lehet egyértelmű forrásközet-azonosítást végezni. Sőt, a nehézasvány-együttesek állandóságából, vagy változásaiból úgyszintén nem lehet egyértelműen következtetni a forrásterület kőzeteinek időben és térben történt lepusztulás kori mennyiségi és minőségi változásaira. Mindezek alapján jól látható, hogy a hagyományos nehézasvány-vizsgálatok forrásközet-azonosító szerepe jóval bizonytalanabb a durvaszemcsés kőzetvizsgáló módszerekénél.

A törmelékes rétegsorok vizsgálatánál a hagyományosan használt kétféle fő módszer eredményeinek összekapcsolására, azaz a törmelékes rétegek hagyományos módszerrel meghatározott nehézasványainak a mellettük előforduló kőzetfajtákhoz történő bizonyító erejű hozzárendelésére az eddigi kutatások nem fordítottak kellő figyelmet.

Ezért tartjuk fontosnak módszerünk ötödik tagjaként bevezetni az egyedi, nagy kavicsok nehézasvány-meghatározását (NN). Ezzel a vizsgálattal biztos kapcsolatot teremtünk, hidat képezünk a törmelékes üledékes összletek törmelékanyagának kőzet-összetételi (NP, BP, HV) és a kavicsok mellett és között megjelenő homok méretű részleg, azaz a mátrix nehézasványos összetételi (HN) adatai között. Segítségével ugyanis biztosan megtudhatjuk, me-

lyik lepusztult kőzethez melyik nehézasvány-együttes tartozik, így a törmelékes rétegek hagyományos vizsgálati eredményeként kinyert nehézasványainak forrásközethez rendelése az eddigieknél sokkal egyszerűbben és egyértelműbben megvalósítható. Érdekes eredmények várhatók a kétféle nehézasvány-vizsgálat (HN és NN) mennyiségi adatainak összehasonlító értékelésével is. A nagy kavicsok nehézasványai ugyanis, ellenálló képességük esetleges különbségeitől függetlenül, a befoglaló kőzetükben kialakult eredeti mennyiségi arányukat megőrizve, kőzetbe zárva kerülnek lerakódási helyükre. Ezzel szemben a hagyományos vizsgálattal kinyert nehézasványok szállításuk során — ellenálló képességük, szemcseméretük, sűrűségük és alakjuk különbségei miatt már átestek bizonyos mértékű szelekción. A kétféle vizsgálat eredménye közötti különbség értékelése segítheti a szállítás és a diagenezis közbeni folyamatok jobb megértését.

Következtetések

Mint láttuk az alkalmazott vizsgálatok külön-külön is eredményesek lehetnek, de azok csak bizonyos korlátokon belül alkalmazhatóak és számos hiányossággal is rendelkeznek. Az itt bemutatott ötelemes, összehangolt ún. komplex eredetvizsgálat (KEVi) módszerrel az egyes vizsgálati elemeket (NP, BV, HV, HN és NN) együttesen alkalmazzuk, amelynek lényege, hogy könnyen, mindenki számára elérhető, egyszerűbb módszert kínálunk a forrásterület meghatározáshoz. Ezzel elérhetjük a korábban alkalmazott eljárások hiányosságainak feloldását, egyben új lehetőségeket kínálunk a geológiai kutatásokban.

Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatási munka az ELTE TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszékén készült. Köszönettel tartozunk a Mecsek-erdő Zrt. Sásdi erdészetének munkatársainak, hogy lehetővé tették a terepbejárásokat, valamint a minták begyűjtését. Külön szeretnénk megköszönni PINTÉR Ottónak, BAGDÁN Leventének és FARKAS Lászlónak szíves segítségüket a terepi kiszállások alkalmával, valamint az azt megelőző időszakokban.

Irodalom — References

- ALLEN, P. A. & MANGE-RAJETZKY, M. A. 1992: Devonian–Carboniferous sedimentary evolution of the Clair Area, offshore northwestern UK: impact of changing provenance. — *Mar. Pet. Geol.* **9**, 29–52. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(92\)90003-w](https://doi.org/10.1016/0264-8172(92)90003-w)
- ANASTASIU, N., CIOCLRDEL, M. & JIPA, D. C. 2015: Nature and provenance of the Bugeci Conglomerate pebbles. A petrographic approach. — *Geo-Eco-Marina* 95–109.
- ANDERSSON, P. O. D., WORDEN, R. H., HODGSON, D. M. & FLINT, S. 2004: Provenance evolution and chemostratigraphy of a Paleozoic submarine fan-complex: Tanqua Karoo Basin, South Africa. — *Marine and Petroleum Geology* **21**, 555–577. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.004>

- ARRIBAS, J., ALONSO, A., MAS, R., TORTOSA, A., RODAS, M., BARRENECHEA, J. F., ALONSO-AZCÁRATE, J. & ARTIGAS, R. 2003: Sandstone petrography of continental depositional sequences of an intraplate rift basin: Western Cameros Basin (North Spain). — *Journal of Sedimentary Research* **73/2**, 309–327. <https://doi.org/10.1306/082602730309>
- B. ÁRGYELÁN G. 1995: A gerecsei kréta törmelékes képződmények petrográfiai és petrológiai vizsgálata. — *Általános Földtani Szemle* **27**, 59–83.
- BARNARD, P. L., FOXGROVER, A. C., ELIAS, E. P. L., ERIKSON, L. H., HEIN, J. R., MCGANN, M., MIZELL, K., ROSENBAUER, R. J., SWARZENSKI, P. W., TAKESUE, R. K. & WOODROW, D. L. 2013: Integration of bed characteristics, geochemical tracers, current measurements, and numerical modeling for assessing the provenance of beach sand in the San Francisco Bay Coastal System. — *Marine Geology* **336**, 120–145. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.11.008>
- BENEI B. 2014: Ibafa–4 (Nyugat-Mecsek) fúrás miocén kavicsanyagának petrográfiai értékelése. — *Kézirat*, Diplomamunka, ELTE TTK Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 73 p.
- BOCK, B., BAHLBURG, H., WFRNER, G. & ZIMMERMANN, U. 2000: Tracing crustal evolution in the southern Central Andes from Late Precambrian to Permian using Nd and Pb isotopes. — *Journal of Geol.* **108**, 518–535. <https://doi.org/10.1086/314422>
- BÓDI B. 1938: A Budapest-környéki harmadkori kavicsok kőzettani vizsgálata, különös tekintettel a levantei kavicsképződményekre. (Petrographische Untersuchung der tertiären Schotterablagerungen aus der Umgebung von Budapest). — *Földtani Közlöny* **68**, 180–207.
- BÓNOVÁ, K., BÓNA, J., KOVÁČIK, M. & MIKUŠ, T. 2018: Heavy minerals and exotic pebbles from the Eocene flysch deposits of the Magura Nappe (Outer Western Carpathians, eastern Slovakia): their composition and implication on the provenance. — *Turkish Journal of Earth Sciences* **27**, 64–88. <https://doi.org/10.3906/yer-1707-9>
- BRADÁK, B., KISS, K., BARTA, B., VARGA, GY., SZEBERÉNYI, J., JÓZSA, S., NOVOTHNY, Á., KOVÁCS, J., MARKÓ, A., MÉSZÁROS, E. & SZALAI, Z. 2014: Different paleoenvironments of the Pleistocene age identified in Verőce outcrop, Hungary: Preliminary results. — *Quaternary International* **319**, 199–136. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.11.035>
- BREZSNYÁNSZKY K. & HAAS J. 1984: A szenen Nekézsényi Konglomerátum Formáció sztratotípus szelvényének szedimentológiai és tektonikai vizsgálata. — *Földtani Közlöny* **114**, 81–100.
- BURJÁN B. 2002: A Pesti-síkság kavicsos üledékeinek szemcseeloszlási vizsgálata. — *Földtani Közlöny* **132**, 161–173.
- BURJÁN B. 2003: Budapest környéki idős Duna-teraszok nehézasvány-tartalmának cluster-analízis alapú statisztikai vizsgálata. — *Földrajzi Értesítő* **52/3–4**, 171–185.
- CARACCILO, L., TOLOSANA-DELGADO, R., LE PERA, E., VON EYNATTEN, H., ARIBAS, J. & TARQUINI S. 2012: Influence of granitoid textural parameters on sediment compositions: Implications for sediment generation. — *Sedimentary Geology* **280**, 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.07.005>
- DICKINSON, W. R. & SUCZEK, C. 1979: Plate tectonics and sandstone compositions. — *AAPG Bull.* **63**, 2164–2182. <https://doi.org/10.1306/2f9188fb-16ce-11d7-8645000102c1865d>
- DILL, H. 1989: Facies and provenance analysis of Upper Carboniferous to Lower Permian fan sequences at a convergent plate margin, using phyllosilicates, heavy minerals and rock fragments (Erbendorf Trough, F. R. G.). — *Sedimentary Geology* **61/1–2**, 95–110. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(89\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0037-0738(89)90043-2)
- DUNKL, I., DI GULIO, A. & KUHLEMANN, J. 2001: Combination of single-grain fission-track geochronology and morphological analysis of detrital zircon crystals in provenance studies — sources of the Macigno formation (Apennines, Italy). — *J. Sediment. Res.* **71**, 516–525. <https://doi.org/10.1306/102900710516>
- FOLK, R. L. 1968: *Petrology of sedimentary rocks*. — Austin, Texas, Hemphill's, 170 p.
- GARVER, J. I., ROYCE, P. R. & SMICK, T. A. 1996: Chromium and nickel in shale of the Taconic foreland: a case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source. — *J. Sediment. Res.* **66**, 100–106. <https://doi.org/10.1306/d42682c5-2b26-11d7-8648000102c1865d>
- GEDEONNÉ RAJETZKY M. 1973: Fossilis folyóvízi üledékek mikromineralógiai spektrumának értelmezése recens hordalékvizsgálatok alapján. — *Földtani Közlöny* **103**, 285–293.
- HAUGHTON, P. D. W., TODD, S. P. & MORTON, A. C. 1991: Sedimentary provenance studies. — *Geological Society, London, Special Publication* **57**, 1–11. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1991.057.01.01>
- HEINS, W. A. & KAIRO, S. 2007: Predicting sand character with integrated genetic analysis. Sedimentary, Provenance and Petrogenesis: Perspectives from petrography and geochemistry. — *Geological Society of America, Special Paper* **420**, 345–379. [https://doi.org/10.1130/2006.2420\(20\)](https://doi.org/10.1130/2006.2420(20))
- HOFMANN, P., STROBL, J. & BLASCHKE T. 2008: A Method for adapting global image segmentation methods to images of different resolutions. — In: HAY, G. J., BLASCHKE, T. & MARCEAU, D. (eds): GEOBIA 2008 – Pixels, Objects, Intelligence. GEOgraphic Object Based Image Analysis for the 21st Century. University of Calgary, Calgary Alberta, Canada, August 05–08. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sciences*, **XXXVIII–4/C1**.
- HOFMANN, P., MARSCHALLINGER, R., UNTERWURZACHER, M. & ZOBL, F. 2013: Marble provenance designation with Object Based Image Analysis: State-of-the-art rock fabric characterization from petrographic micrographs. — *Austrian Journal of Earth Sciences* **106/2**, 73–82.
- ILLENBERGER, W. K. 1991: Pebble shape (and size!). — *Journal of Sedimentary Petrology* **61/5**, 756–767. <https://doi.org/10.1306/d42677c6-2b26-11d7-8648000102c1865d>
- JIN-LONG, N., JUN-LAI, L., XIAO-LING, T., XIAO-XIAO, S., HONG, Z. & SHUAI, H. 2016: Geochemical fingerprints and pebbles zircon geochronology: Implications for the provenance and tectonic setting of Lower Cretaceous sediments in the Zucheng Basin (Jiadong peninsula, North China). — *J. Earth Syst. Sci.* **125/7**, 1413–1437. <https://doi.org/10.1007/s12040-016-0739-1>
- JOHNSSON, M. J. & MEADE, R. H. 1990: Chemical weathering of fluvial sediments during alluvial storage: the Macuapanim island point bar, Solimões River, Brazil. — *J. Sediment. Petrol.* **60**, 827–842. <https://doi.org/10.1306/212f9296-2b24-11d7-8648000102c1865d>

- JUHÁSZ Á. 1965: A „Cáki Konglomerátum” közettani vizsgálata. — *Földtani Közlemények* **95**, 313–319.
- KASSAB, M. A., HASSANAIN, I. M. & SALEM, A. M. 2014: Petrography, diagenesis and reservoir characteristics of the pre-Cenomanian sandstone, Sheikh Attia area, East Central Sinai, Egypt. — *Journal of African Earth Sciences* **96**, 122–138. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.03.021>
- LIHOU, J. C. & MANGE-RAJETZKY, M. A. 1996: Provenance of the Sardona flysch, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage. — *Sediment. Geol.* **105**, 141–157. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00147-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00147-6)
- LINDSEY, D. A., WILLIAM, H., L. & BRADLEY, S. VAN. G. 2007: Using pebble lithology and roundness to interpret gravel provenance in piedmont fluvial systems of the Rocky Mountains, USA. — *Sedimentary Geology* **199/3**, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.02.006>
- LUDWIG, R. 1874: Geologische Bilder aus Italien. — *Bull. Soc. Imprim. Nat. Mosc.* **48**, 42–131.
- MANGE, M. A. & MAURER, H. F. W. 1992: *Heavy Minerals in Colour*. — Chapman and Hall, London.
- MANGE, M. A. & WRIGHT D. T. 2007: *Heavy Minerals in use*. — Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58051-9](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58051-9)
- MARSCHALLINGER, R. & HOFMANN, P. 2010: The application of Object Based Image Analysis to Petrographic Micrographs. — In: MENDEZ-VILAS, A. & DIAZ, J. (eds.): *Microscopy. — Science, Technology, Applications and Education* **4**, 1526–1532.
- MÁTHÉ, Z., SZAKMÁNY, Gy., JÓZSA, S. & CSICSÁK, J. 2003: Petrology of Miocene sandstone sequence in Mecsek Mts., South Hungary. — IAS 2003, 22nd meeting, conference poster.
- MEUNIER, S. 1877: Composition et origine du sable diamantifère de Du Toit's Pan (Afrique australe). — *C. R. Acad. Sci., Paris* **84**, 250–252.
- MICHEL LÉVY, A. 1878: Note sur quelques minéraux contenus dans les sables du Mesvrin, près Autun. — *Bull. Soc. Mineral.* **1**, 39–41.
- MIKLÓS, D. G. & JÓZSA S. 2017: Törmelékes összletek komplex petrográfiai vizsgálata a Borjúsréti-völgy (Nyugat-Mecsek) miocén kavicsos rétegsorának példáján. — In: PÁL MOLNÁR (szerk.): *Absztrakt — 8. Közzetani és Geokémiai Vándorgyűlés, Szihalom*, 113–114.
- MOLNÁR B. 1964: A magyarországi folyók homoküledékeinek nehézasvány-összetétel vizsgálata. — *Hidrológiai Közlemények* **8**, 347–355.
- MOLNÁR B. 1965: Adatok a Duna-Tisza köze fiatal harmadidőszaki és negyedkori rétegeinek tagolásához és származásához nehézasvány-összetétel alapján. — *Földtani Közlemények* **95**, 217–225.
- MONTILLA, L. A., MARTÍNEZ, M., MÁRQUEZ, G., ESCOBAR, M., SIERRA, C., GALLEGO, J. R., ESTEVES, I. & GUITÉRREZ, J. V. 2013: Geochemistry and chemostratigraphy of the Colón-Mito Juan units (Campanian–Maastrichtian), Venezuela: Implications for provenance, depositional conditions, and stratigraphic subdivision. — *Geochemical Journal* **47**, 537–546. <https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0275>
- MORTON, A. C. 1991: Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research. — In: MORTON, A. C., KRONZ, A. & HAUGHTON, P. D. W. (eds): *Developments in Sedimentary Provenance Studies. — Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* **57**, 31–45. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1991.057.01.04>
- MORTON, A. C. & HALLSWORTH, C. R. 1994: Identifying provenancespecific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. — *Sediment. Geol.* **90**, 241–256. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90041-8)
- MORTON, A. C. & HALLSWORTH, C. R. 1999: Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. — *Sedimentary Geology* **124**, 3–29. [https://doi.org/10.1016/s0037-0738\(98\)00118-3](https://doi.org/10.1016/s0037-0738(98)00118-3)
- NÁDOR, A., THAMÓNÉ BOZSÓ, E., MAGYARI, Á. & BABINSZKI, E. 2007: Fluvial responses to tectonics and climate change during the Late Weichselian in the eastern part of the Pannonian Basin (Hungary). — *Sedimentary Geology* **202**, 174–192. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.03.001>
- NIE, J., HORTON, B. K., SAYLOR, J. E., MORA, A., MANGE, M., GRAZIONE, C. N., BASU, A., MORENO, C. J., CABALLERO, V. & PARRA, M. 2012: Integrated provenance analysis of a convergent retroarc foreland system: U–Pb ages, heavy minerals, Nd isotopes, and sandstone compositions of the Middle Magdalena Valley basin, northern Andes, Colombia. — *Earth-Science Reviews* **111–126**. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.002>
- ÖBBÁGY, G. 2017: Provenance analysis of the Paleogene siliciclastic sequences of the Transylvanian Basin. – Master's Thesis, Eötvös Loránd University, Department of Petrology and Geochemistry, Budapest, 123 p.
- OSZCZYPKO, N., SALATA, D. & KONEČNÝ, P. 2016: Age and provenance of mica-schist pebbles from the Eocene conglomerates of the Tylicz and Krynica Zone (Magura Nappe, Outer Flysch Carpathians). — *Geologica Carpathica* **67/3**, 260–274. <https://doi.org/10.1515/geoca-2016-0017>
- PEARCE, T. J., BESLY, B. M., WRAY, D. S. & WRIGHT, D. K. 1999: Chemostratigraphy: a method to improve interwell correlation in barren sequences — a case study using onshore Duckmanian/Stephanian sequences (West Midlands, U.K.). — *Sedimentary Geology* **124**, 197–220. [https://doi.org/10.1016/s0037-0738\(98\)00128-6](https://doi.org/10.1016/s0037-0738(98)00128-6)
- PETTILJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER R. 1973: *Sand and sandstone*. — Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 618 p.
- PÉCSINÉ DONÁTH É. 1958: Duna-terasz kavicsok görgetettségi vizsgálata. — *Földtani Közlemények* **88**, 57–75.
- PRESTON, J., HARTLEY, A., HOLE, M., BUCK, S., BOND, J., MANGE, M. & STILL, J. 1998: Integrated whole-rock trace element geochemistry and heavy mineral chemistry studies: aids to the correlation of continental red-bed reservoirs in the Beryl Field, UK North Sea. — *Pet. Geosci.* **4**, 7–16. <https://doi.org/10.1144/petgeo.4.1.7>
- RÓZSÁS A. 2012: A Szentkatalin–I-es fúrás (Nyugat-Mecsek) miocén rétegsorának mikromineralógiai vizsgálata. — *Kézirat*, Diplomamunka, ELTE TTK Közzetani-Geokémiai Tanszék, Budapest, 54 p.
- SABAOU, N., AIT-SALEM, H. & ZAZAOUN, R. S. 2009: Chemostratigraphy, tectonic setting and provenance of the Cambro-Ordovician clastic deposits of the subsurface Algerian Sahara. — *Journal of African Earth Sciences* **55**, 158–174. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.04.006>

- SALATA, D. & OSZCZYPKO, N. 2010: Preliminary results of provenance analyses of exotic magmatic and metamorphic pebbles from the Eocene flysch deposits of the Magura Nappe (Krynica Facies Zone, Polish Outer Carpathians). — *Scientific Annals, School of Geology*, (Aristotle University of Thessaloniki) **100**, 241–248.
- SEYEDOLALI, A., KRINSLEY, D. H., BOGGS, S., O'HARA, P. F., DYPVIK, H. & GOLES, G. G. 1997: Provenance interpretation of quartz by scanning electron microscope-cathodoluminescence fabric analysis. — *Geology* **25**, 787–790. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0787:pioqbs>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0787:pioqbs>2.3.co;2)
- SIEVER, R. 1988: *Sand*. — Scientific American Library, HPHLP. New York. 237 p.
- SIMON I. 2015: A nagy-völgyi (Észak-Börzsöny) kavicsbánya kavicsvizsgálati eredményei. — *Kézirat*, Országos Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE TTK, Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 44 p.
- SPRÁNITZ T. & VÁCZI B. 2014: Új magyarországi ásványfajok a Duna pleisztocén kavicsösszletéből és földtani jelentőségük. — *Kézirat*, Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE TTK, Közettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 71 p.
- SPRÁNITZ T., VÁCZI B., LANGE T. P. & JÓZSA S. 2017: Jégszállította dumortierites gneisz, klinohumitos márvány és szkapolitos amfibolit a Duna pleisztocén kavicsanyagában. — *Földtani Közlöny* **147/3**, 311–326. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2017.147.3.311>
- SZEBERÉNYI J., JÓZSA S., ALZBETA, M., JURAJ, H., BALOGH J., FÁBIÁN SZ.Á., KISS É., VARGA GY. & VICZIÁN I. 2014: Dunateraszok helyzete a Visegrádi-szorosban. — VII. Magyar Földrajzi Konferencia, Miskolc-Lilafüred, 513–527
- SZEBERÉNYI J., JÓZSA S., SIMON I., KISS K., BRADÁK B. & VICZIÁN I. 2015: A Visegrádi-szoros kiemelt helyzetű kavicsos üledékeinek vizsgálata Zebegény térségében, és jelentősége a magas dunai teraszok morfosztratigráfiai besorolásakor. — *Földtani Közlöny* **145**, 367–383. <http://ojs3.mtak.hu/index.php/foldtanikozlony/article/view/127>.
- SZŐCS E., HIPS K., JÓZSA S. & BENDŐ ZS. 2015: A kora-miocén Pétervásárai Homokkő diagenézis-története. — *Földtani Közlöny* **145/4**, 351–366. <http://ojs3.mtak.hu/index.php/foldtanikozlony/article/view/125>.
- THAMÓNÉ, BOZSÓ, E. 1991a: The heavy mineral content and mineralogical maturity of Cenozoic psammites in Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **34/1–2**, 127–132.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E. 1991b: A magyarországi kainozóos homokok és homokkövek nehézasvány-tartalmának mennyiségi viszonyai. — *Földtani Intézet Évi Jelentése 1989-ről*, 587–595.
- THÜRACH, H. 1884: Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanmineralien in den Gesteinen. — *Verh. Phys. Med. Ges., Würzburg*. **18**, 203–284.
- VARGA A., SZAKMÁN, GY., JÓZSA, S. & MÁTHÉ, Z. 2001: A nyugat-mecseki alsó-miocén konglomerátum karbon homokkő kavicsainak és a Tésenyi Homokkő Formáció képződményeinek petrográfiai és geokémiai összehasonlítása. — *Földtani Közlöny* **131/1–2**, 11–36
- VARGA, A., SZAKMÁN, GY., JÓZSA, S. & MÁTHÉ, Z. 2003: Petrology and geochemistry of Upper Carboniferous siliciclastic rocks (Téseny Sandstone Formation) from the Slavnonian–Drava Unit (Tisza Megaunit, S Hungary) — summarized results. — *Acta Geologica Hungarica* **46/1**, 95–113
- VARGA A., MIKES T. & RAUCSIK B. 2009: A mecseki toarci feketepala Réka-völgyi szelvényének előzetes petrográfiai és nehézasvány-vizsgálatai eredményei. — *Földtani Közlöny* **139**, 33–54.
- WELTJE, G. J. 2002: Quantitative analysis of detrital modes: statistically rigorous confidence regions in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology. — *Earth-Sci. Rev.* **57**, 211–253. [https://doi.org/10.1016/s0012-8252\(01\)00076-9](https://doi.org/10.1016/s0012-8252(01)00076-9)
- WELTJE, G. J. 2004: A quantitative approach to capturing the compositional variability of modern sands. — *Sedimentary Geology* **171**, 59–77. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.05.010>
- WELTJE, G. J. 2012: Quantitative models of sediment generation and provenance: State of the art and future developments. — *Sedimentary Geology* **280**, 4–20. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.03.010>
- WELTJE, G. J. & VON EYNATTEN, H. 2004: Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. — *Sedimentary Geology* **171**, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.05.007>
- WELTJE, G. J., MEIJER, X. D. & DE BOER, P. L. 1998: Stratigraphic inversion of siliciclastic basin fills: a note on the distinction between supply signals resulting from tectonic and climatic forcing. — *Basin Res.* **10**, 129–153. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.1998.00057.x>
- WRAY, D. S. & JEANS, C. V. 2014: Chemostratigraphy and provenance of clays and other non-carbonate minerals in chalks of Campanian age (Upper Cretaceous) from Sussex, southern England. — *Clay Minerals* **49**, 327–340. <https://doi.org/10.1180/claymin.2014.049.2.10>
- ZAID, S. M. 2013: Provenance, diagenesis, tectonic setting and reservoir quality of the sandstones of the Kareem Formation, Gulf of Suez, Egypt. — *Journal of African Earth Sciences* **85**, 31–52. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.04.010>

Kézirat beérkezett: 2018. 02. 18.