

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

**TÖRÉSES ÉS KÉPLÉKENY SZERKEZETI ELEMKEHEZ
KAPCSOLÓDÓ ÉRRENDSZEREK ÉS A
FLUIDUMMIGRÁCIÓ NYOMAI AZ ÓBÁNYAI
ÖREG-PATAK VÖLGYBEN
(KELET-MECSEK)**

OTDK DOLGOZAT

LADÁNYI LILI
FÖLDTUDOMÁNY MSc

Témavezetők:

Dr. Schubert Félix
Egyetemi adjunktus
SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
ÁSVÁNYTANI, GEOKÉMIAI
ÉS KÖZETTANI TANSZÉK

és

Dr. Hrabovszki Ervin
Tudományos segédmunkatárs
SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
ÁSVÁNYTANI, GEOKÉMIAI
ÉS KÖZETTANI TANSZÉK

Szeged

2023

Tartalomjegyzék

Összefoglalás	3
1. Bevezetés	4
2. Földtani háttér	4
3. Vizsgálati módszerek.....	6
4. Minták	6
5. Eredmények	11
5.1. Szerkezetalakulási események.....	11
5.2. Mikroszkópos petrográfia.....	12
5.3. Fluidumzárvány petrográfia	18
5.4. UV-fluoreszcens mikrospektroszkópia.....	19
6. Diskusszió	20
6.1. A karbonátfestés és a katódlumineszcens vizsgálatok eredményeinek értelmezése	20
6.2. Breccsatípusok.....	22
6.3. Szerkezetfejlődés és érgenerációk	23
6.4. A deformációs mechanizmusok és az érgenerációk kapcsolata az orientációs adatok alapján.....	25
6.5. Fluidumáramlási események	26
7. Következtetések	26
Köszönetnyilvánítás	27
Felhasznált irodalom.....	27

Összefoglalás

A Mecsek-hegység területén az elmúlt évtizedekben számos kutatás igazolt triász és jura képződményekben szénhidrogén-tartalmú paleofluidum migrációs nyomokat. Ezen szénhidrogén-tartalmú fluidummigráció által érintett területek északi határa Pécsváradnál húzódott. Az ettől északabbra elhelyezkedő óbányai Öreg-patak völgyében végzett terepi megfigyeléseink során olyan kalcit anyagú repedéskitöltésekre bukkantunk, amelyekben kőolaj-tartalmú fluidumzárványok jelennek meg. A közel 2,8 km hosszú, ÉK–DNy-i irányban húzódó völgy — a feltársági viszonyokból fakadóan — ideális mintaterületnek tekinthető az egykori migrációt lehetővé tévő repedésrendszerek vizsgálata szempontjából. Kutatásunk során klasszikus szerkezetföldtani módszerek alkalmazásával kíséreltem meg rekonstruálni a völgyben kibukkanó képződmények szerkezetfejlődését. A korábbi terepi felméréseink során begyűjtött kőzetminták makroszkópos megfigyelésén túl — amely során három kalcit érgenerációt különítettem el — polarizációs-, katódlumineszcens- és UV-fluoreszcens mikroszkópos vizsgálatokat végeztem. A mikroszkópos vizsgálatok eredményeként a makroszkóposan megfigyelt ércsoportokat öt kalcit érgenerációba soroltam: Cal_T, Cal_{MT}, Cal_{BRE}, Cal_{MP} és Cal_{ROS}. A Cal_T érgenerációra jellemző a repedésképződés és bezáródás (*crack-sealing*) típusú érfejlődési mechanizmus által kialakult mikroszerkezet. A Cal_{MT} érgenerációra a megnyúlt tömbös kalcit szemcsék jellemzőek, amelyek több, egymással párhuzamos zónában helyezkednek el. A Cal_{BRE} érgenerációban mellékkőzetből származó zárványok figyelhetők meg, amelyek különböző alakzatú halmazokba tömörülnek. A Cal_{MP} érgenerációt döntően magperem mikroszövetű szemcsék építik fel. Ezen kalcit szemcsék peremi része egyfázisú fluidumzárványokban gazdag, míg a mag rész zárványszegény. A Cal_{ROS} érgeneráció 2 mm-nél vékonyabb, egymással közel párhuzamos lefutású erek formájában jelenik meg a völgyben. A kalcit érgenerációkban egyfázisú és kétfázisú fluidumzárvány együttesek figyelhetők meg.

A völgy területén előzetesen azonosított deformációs események (redőződés és balos eltolódás) orientációs adatait mikroszkópos, illetve fluidumzárvány petrográfiai megfigyelésekkel egészítettem ki. Mindezen adatok ismeretében megkíséreltem felvázolni a völgyben kibukkanó képződmények szerkezetfejlődését és fluidummigráció-történetét.

Kulcsszavak: kalcitér, szénhidrogén, fluidumzárvány, óbányai Öreg-patak völgye, Mecsek-hegység

1. Bevezetés

Eddigi ismereteink szerint a Mecsek-hegység területén a szénhidrogén-tartalmú paleofluidum migráció északi határa Pécsvárad térségében húzódott (LUKOCZKI et al. 2012). Az ettől északabbra elhelyezkedő, közel 2,8 km hosszú, ÉK–DNy-i irányba húzódó óbányai Öreg-patak völgyében olyan kalcit anyagú repedéskitöltésekre leltünk, amelyekben kőolaj-tartalmú fluidumzárványok jelennek meg. A feltártsági viszonyoknak köszönhetően ideális mintaterületnek tekinthető az egykori migrációt lehetővé tevő repedésrendszerek vizsgálata szempontjából. Munkám tárgyát képezi a völgy területén előzetesen azonosított deformációs események (redőződés és balos eltolódás, LADÁNYI 2021) orientációs adatait mikroszkópi, illetve fluidumzárvány petrográfiai megfigyelésekkel kiegészíteni. Mindezen adatok segítségével megkíséreltem felvázolni a völgy területén kibukkanó képződmények szerkezetfejlődését és azonosítani azon kalcit érgenerációt, amelyhez a fluidummigráció köthető.

2. Földtani háttér

Hazánk területén a Tiszai-főegység közetei a Mecsek- és a Villányi-hegység területén bukkannak a felszínre. Mivel a kutatási terület tárgyát képező óbányai Öreg-patak völgye a Kelet-Mecsekben található, indokolt a Tiszai-főegység és a Mecsek-hegység mezozoós fejlődéstörténetének vázlatos áttekintése.

A főegység az alpi fejlődéstörténeti ciklus korai szakaszában az Eurázsiai kontinentális lemez D-i peremén helyezkedett el, ezáltal a Tethys É-i selfjét képviselte (HAAS et al. 2012). Ennek köszönhetően a mezozoikum során folyamatos tengerszintváltozások erőteljesen érzékelhetők voltak, így az üledéklerakódás is ettől függően lagúnai, tavi vagy delta környezetben következett be. A triász végéhez köthető tengerszintcsökkenés hatására a sósvízi környezetet fokozatosan édesvízi váltotta fel (NAGY 1969). A triász-jura határon továbbra is a folyami-tavi-mocsári leülepedés volt jellemző, azonban széntelepek lerakódása vált uralkodóvá. Ezen telepek triász sziliciklasztos üledékekkel fogazódnak össze. Az üledéklerakódásban a jura középső részén jelentkező újabb tengerszintemelkedés és gyors ütemű süllyedés hozott változást, amely során nyílt, mély-tengeri medencébe finomszemcsés terrigén anyag és pelágikus, biogén iszap rakódott le. A finomabb szemcseméretű üledék aránya a tengerszint változásaival összhangban folyamatosan változott. Következésképpen jellegzetes, ritmikus váltakozásban foltos márga, mésztartalmú márga és agyagos mészkő képződött. A középső jura végén a Tiszai-főegység Európai lemezről történő leválásával mediterrán elemek jelentek meg és terjedtek el a területen (GÉCZY 1973, VÖRÖS 1993). A leülepedés nyílt,

pelágikus medencében történt, amely a kora kréta vulkanizmus során sem változott. A kora krétára tehető intenzív alkáli bazaltos magmatizmust feltehetően a késő triász idején megkezdődött riftesedés eredményezte, amelynek következtében a rétegekben átszállítódott karbonát szemcsék, finom piroklasztitok és vulkáni bombák jelentek meg (KUBOVICS et al. 1990).

Az óbányai Öreg-patak völgye közel 2,8 km hosszan húzódik Kisújánya és Óbánya között. Elhelyezkedése párhuzamos a Réka-völgytől északra található Döngölt-árok lefutásával. A Kisújányához legközelebb eső területeken késő jura–kora kréta karbonátos sorozatok jelennek meg (GALÁCZ et al. 1992). Tovább haladva ÉK-i irányba tithon korú, világos színű tűzköves mészkő figyelhető meg, amelynek tűzköves jellege ÉK felé egyre erőteljesebb. A tűzköves mészkövet, ÉK felé bath–kallovi korú képződmények váltják fel (GALÁCZ et al. 1992). Ezek uralkodóan agyagos, gumós, zöldes-vöröses-szürkés színű, márga anyagú kőzetek (VELLEDITS et al. 1985). Óbányához közeledve egyre sötétebb szürke mészmárga jelenik meg, amelybe foltos márga és levelesen szétváló agyagosabb rétegek települnek (BÖCKH 1880). Ezen litológiai jellegek a terrigén anyag mennyiségének és a leülepedés sebességének bajóci korszak végi visszaesésével magyarázhatók (HAAS et al. 2012). A falut elérve már bajóci-aaleni korú sötétszürke, foltos, bitumenes márga figyelhető meg (GALÁCZ et al. 1992). A kora jura, toarci anoxikus eseményhez köthető képződmény a felszínen a Kelet-Mecsek területén elsősorban a szomszédos Réka-völgyben fordul elő szerves anyagban gazdag pala formájában (VARGA et al. 2007).

A Kelet-Mecsek területén a legidősebb meghatározó és azonosítható szerkezetalakulási események a kréta időszakban történtek. Ezen területet gyűrt, antiklinális-szinklinális szerkezetek határozzák meg, amelyek csapása általában ÉK–DNy-i. Az antiklinális szárnyain feltolódásos, vetős szerkezetek jellemzőek (PÜSPÖKI et al. 2012). A tárgyalt szerkezetek a kréta során, két kompressziós eseményhez köthetően alakultak ki K–Ny-i tengelyű (BERGERAT & CSONTOS 1988), illetve némileg aszimmetrikus ÉK–DNy-i tengelyű redők formájában (NÉMEDI-VARGA 1983, BERGERAT & CSONTOS 1988). Mindemellett a redőtengely csapásával megegyező balos oldaleltolódások is ezen eseményekhez köthetők (MAROS et al. 2004). A Mecsek kainozoos szerkezetfejlődését összetett, többfázisú események jellemzik, amelyek elsősorban a Pannon-medence kialakulásával vannak összefüggésben. A Pannon-medence kialakulását kísérő színrift fázis során balos transzpressziós eltolódások (NÉMEDI-VARGA 1983) pull-apart medencék kialakulását eredményezték a hegység É-i és D-i határában húzódó vetőzónák mentén (WEIN 1967). A szarmata során ÉK–DNy-i tengelyű redők és (a hegység É-i területén) pikkelyek kialakulása következett be (BERGERAT & CSONTOS 1988). A pannóniai

korai szakaszában kezdődő inverziós esemény hatására megindult a Mecsek- és Villányi-hegység kiemelkedése (FODOR et al. 1999, SEBE 2009). Ezzel párhuzamosan az egykori ÉK–DNy-i csapású zóna reaktiválódott és újabb rátolódások alakultak ki (MAROS et al. 2004), ÉNy–DK-i kompresszió és rá merőleges extenzió következményeként (CSONTOS et al. 2002).

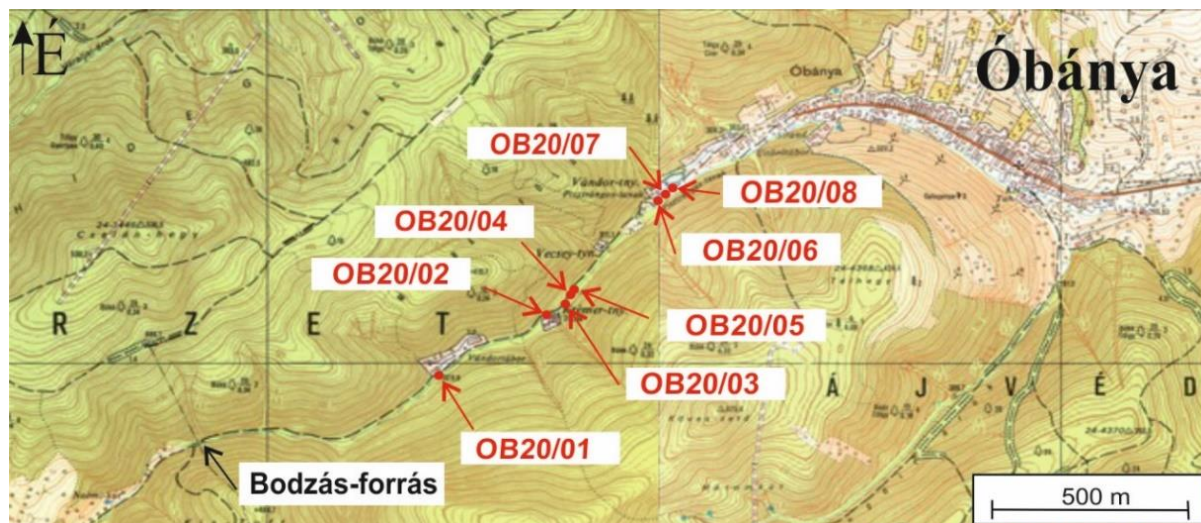
3. Vizsgálati módszerek

Munkám során először az óbányai Öreg-patak völgyében található szerkezeti elemek orientációjának dokumentálását és értelmezését végeztem. A terepi bejárás során Freiberg kompasz, illetve mobiltelefonon futó FieldMove Clino alkalmazás segítségével gyűjtöttünk orientációs adatokat. A mérések megbízhatóságának ellenőrzése céljából egyidejű méréseket végeztünk kompasz és okostelefon segítségével. A két módszerrel együttesen 522 mérést hajtottunk végre. A begyűjtött adatokat Strereonet 11 szoftverrel grafikusán ábrázoltam. Az így nyert sztereogramok segítségével az erek, törések és rétegek orientációs adataiból csoportokat alakítottam ki. A sztereogramok Schmidt-féle hálón, alsó hemiszférás ábrázolással készültek. A begyűjtött minták makroszkópos leírása mellett 7 db mintából készült, 30 μm vastagságú vékonycsiszolat mikroszkópos jellemzését végeztem el a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszéken, Olympus SZX-7 típusú polarizációs sztereomikroszkóp, Olympus BX-41 típusú polarizációs mikroszkóp, valamint Olympus BX-43 típusú mikroszkópra szerelt Reliotron VII katódlumineszcens (CL) berendezés segítségével. A vékonycsiszolatokat DICKSON (1965) alapján Na-alizarin-szulfonát és kálium-hexaciano-ferrát vegyületek savas oldatával kezeltük a különböző karbonátfázisok elkülönítése érdekében. Az UV-fluoreszcens petrográfiai és mikrospektroszkópai vizsgálatok során a gerjesztés 100W-os higanygőz fényforrással történt, Olympus U-MNU2 szűrőkocka alkalmazásával (gerjesztő hullámhossz 360–380 nm, dikroikus szűrő 400 nm, határoló szűrő 420 nm). A fluoreszcens spektrumokat Olympus BX-41 polarizációs mikroszkóphoz csatlakoztatott Ocean Insight (OceanOptics) QEPRO spektrométerrel vettem fel. A rendszer teljes spektrális felbontása 4 nm, a mérési folt átmérője a mintán 2 μm volt. A spektrumokat 8 s felvételi idővel, OceanView szoftverrel rögzítettem. Az összehasonlíthatóság érdekében minden spektrumot az adott spektrum maximális intenzitására normáltam.

4. Minták

A terepbejárás során a Kisútbánya és Óbánya között húzódó Öreg-patak völgy teljes hosszában felmértük az üledékes rétegek és a szerkezeti elemek orientációs adatait, továbbá nyolc feltárásból kézipéldányokat gyűjtöttünk (4.1. ábra). A völgy teljes hosszára jellemző, hogy a kalcittal cementált törések, ásványos erek mellett megjelennek kitöltetlen repedések is.

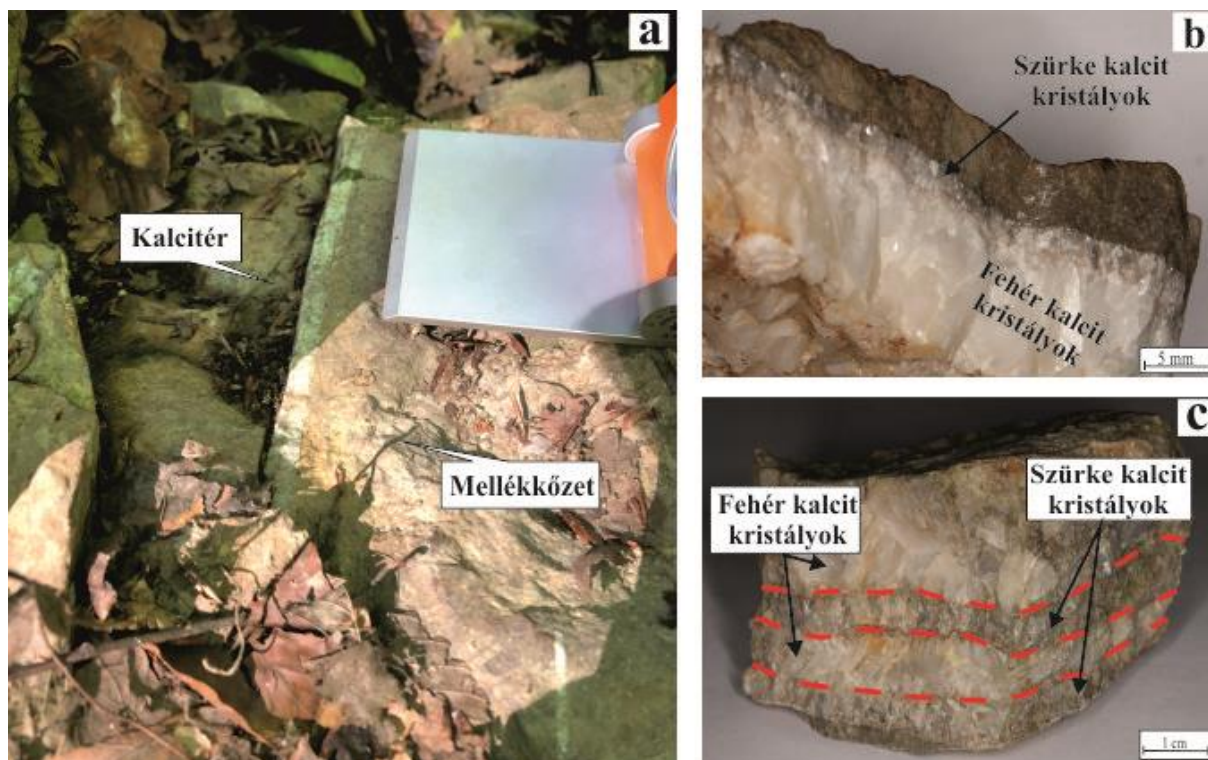
A feltárásokban gyűjtött mintákat a repedéskitöltő kalcit makroszkópos jegyei alapján három csoportba soroltam.



4.1. ábra. Mintavételi helyek és a Bodzás-forrás helyzete az óbányai Öreg-patak völgyében.

Zónás kifejlődésű ér

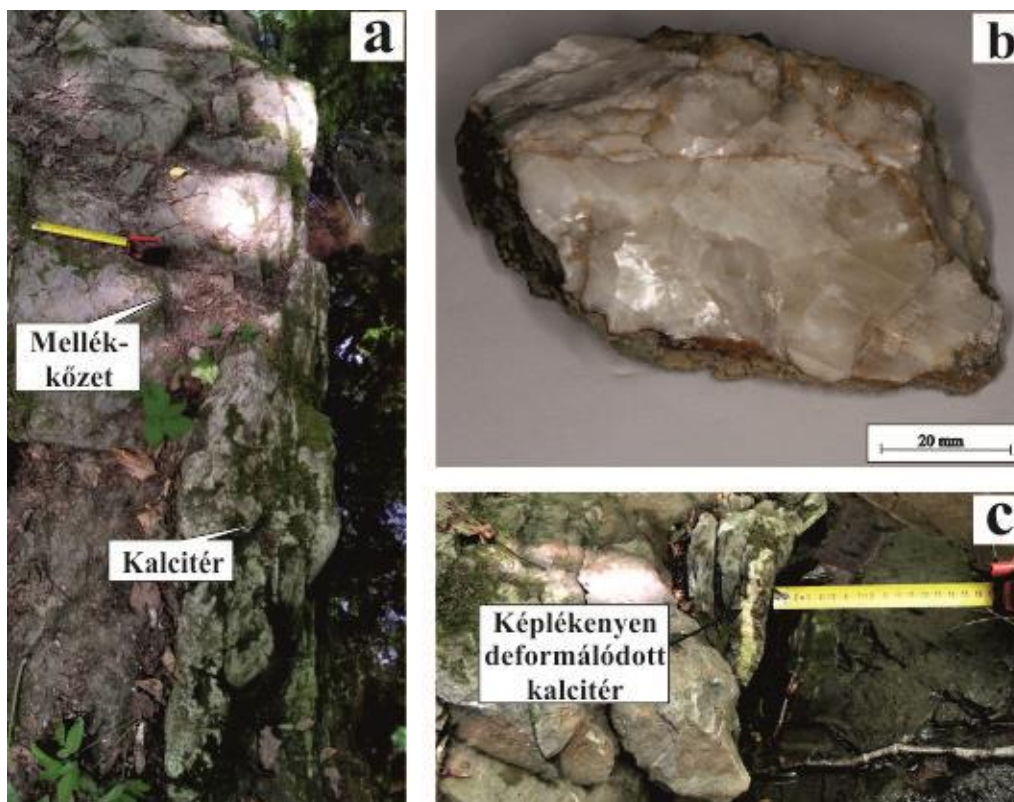
A völgy területén megfigyelt erek egy csoportját két különböző színű ásvány alkotja. Ezen erek esetében a mellékkőzet szürkés-sárgás színű, finomszemcsés, földes habitusú márga (4.2. ábra, a). A mellékkőzet fala és a rá közel merőlegesen elhelyezkedő ásványszemcsék között éles határ figyelhető meg (4.2. ábra, b). A begyűjtött minták esetében a 3–5 cm nyitottságú ereket fehér és szürke színű ásványok töltik ki, amelyek sósavval reakcióba lépve intenzíven pezsegnek. Következésképpen a repedéskitöltő ásvány minden esetben kalcit. A kalcit kristályok színe alapján két zóna különíthető el az erekben, amely terepi feltételek mellett is jól látható. A fehér színű szemcséket tartalmazó zónában a szemcsék mérete 2 mm és 3 cm között változik, míg a szürke zóna esetében a szemcsék mérete nem haladja meg az 5 mm-t (4.2. ábra, b, c). A zónák között jellemzően egy 1–2 mm vastagságú rozsdabarna színű sáv figyelhető meg.



4.2. ábra. a) A kalcitér és a márga érintkezése (OB20/02 mintavételi hely). b) és c) A fehér és szürke színű kalcit zónák egymással közel párhuzamos lefutása (OB20/01 és OB20/05 minta). A piros szaggatott vonal a zónák határát jelöli.

Homogén kifejlődésű ér

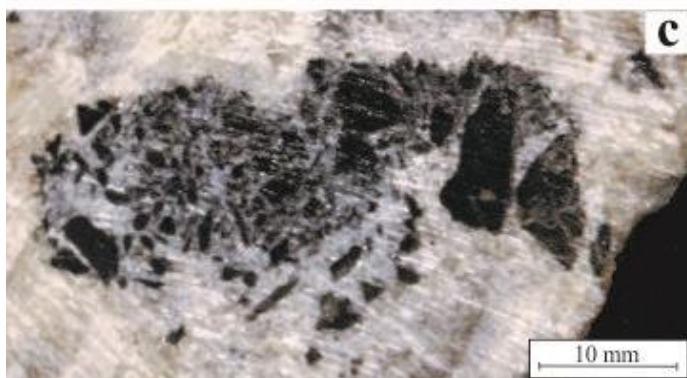
A terepbejárás során megfigyelt másik érgeneráció homogén kifejlődésű. A feltárásokban ezen erek mellett megfigyelt mellékkőzet finomszemcsés, enyhén rétegzett, földes tapintású, sötétszürke színű márga (4.3. ábra, a). Az éralkotó ásvány fehéres-sárgás színű, többnyire romboéderes kifejlődésű kalcit (4.3. ábra, b). A mellékkőzet és a kalcitér határfelülete élesen elkülönül egymástól és jellemzően egy 1 mm vastagságú rozsdabarna sáv jelöli ezt a határt. Ezen kalciterek nyitottsága jellemzően 1–2 cm, azonban egyes feltárások esetében jelentősen nagyobb, akár 35 cm-t is elér. Továbbá az egyik feltárás esetében képlékenyen deformált kalcitér és üledékes rétegek is megfigyelhetők (4.3. ábra, c).



4.3. ábra. a) Vastag, homogén kifejlődésű kalcitér és a mellékkőzet határa (OB20/04 mintavételi hely). b) Pátos kifejlődésű repedés kitöltő kalcit (OB20/04 minta). c) Képlékenyen deformálódott kalcitér (OB20/06 mintavételi hely).

Breccsa ér

A völgy területén meghatározott harmadik értípus esetében a repedés kitöltő cement mellett mellékkőzetzárványok figyelhetők meg. A mellékkőzet szürkés színű, földes tapintású, finomszemcsés márga. Ezen mellékkőzetben 5–10 cm nyitottságú erekben, fehéres-szürkés színű, 1–3 cm nagyságú, romboédes kifejlődésű kalcit kristályok figyelhetők meg. Az érben a kalcit szemcsék mellett 1–4 cm nagyságú, szögletes mellékkőzetzárványok találhatók (4.4. ábra, a, b). A klaszterek túlnyomó többsége különböző alakzatokba rendeződik. Ezen halmazok határa lekerekített és a mellékkőzetzárványok közötti teret fehéres-szürkés színű kalcit tölti ki (4.4. ábra, b, c). Ezen kalcit szemcsék mérete nem haladja meg az 5 mm-t, illetve a nagyméretű klaszterek mellett μm -es mérettartományba tartozó mellékkőzetzárványokban is gazdag. Az OB20/03 feltárásban az ér-mellékkőzet síkján, a patak jobb partján, 30–40 cm hosszú szakaszon balos eltolódásra utaló kalcit anyagú ásványlépcsők jelennek meg (4.4. ábra, d).

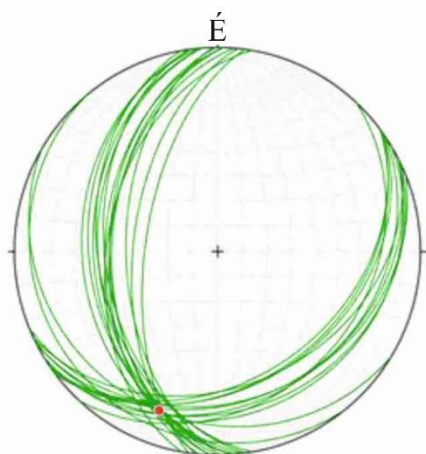


4.4. ábra. a) Kalcitér mellékkőzet zárványokkal (OB20/03 mintavételi hely). A sárga vonal a kőzetzárványok határát jelöli. b) Szögletes mellékkőzetzárványok a breccsa érgenerációban (OB20/03 minta). A rózsaszín vonalak a mellékkőzetzárvány halmazok határát jelölik. c) A b) ábra részlete, amelyen megfigyelhető, hogy a szögletes mellékkőzetzárványok lekerekített határokkal rendelkező halmazokba tömörülnek. d) 30–40 cm hosszan megfigyelhető ásványlépcsők (OB20/03 mintavételi hely).

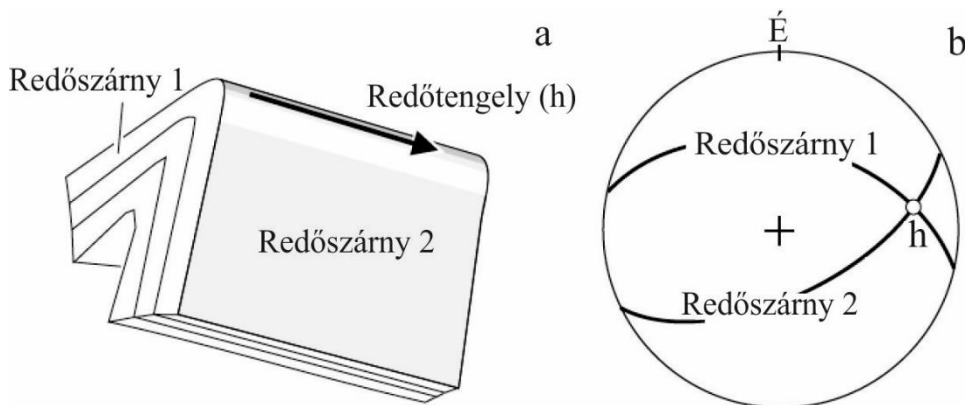
5. Eredmények

5.1. Szerkezetalakulási események

Az előzetes kutatás eredményeivel (LADÁNYI 2021) összhangban elmondható, hogy az óbányai Öreg-patak völgyét ért kisebb-nagyobb szerkezetfejlődési események következményeként a rétegek dőlésiránya — a völgy mentén — 150° és 310° között változik. A kétféle dőlésirány a Bodzás-forrás közvetlen környezetében kis területen megfigyelhető, ahol a patak két partján a rétegek közel ellentétes dőlésirányokat mutatnak. Ezen síkok sztereogramjain a főkörök relatív kis területen metszik egymást (5.1.1. ábra). A közel egy pontban történő metsződés hengeres geometriájú redőre utal (5.1.2. ábra). A redőszárnyakon mért síkok főköreinek metszéspontja megadja a redőtengely helyzetét (TWISS & MOORES, 1992), amelynek dőlésiránya 200° (DDNy), dőlésszöge 18° . A redőződést kiváltó deformációs esemény eredményeként a Bodzás-forrás szomszédságában egy DDK-i irányba dőlő redőtengelyű antiform alakult ki.

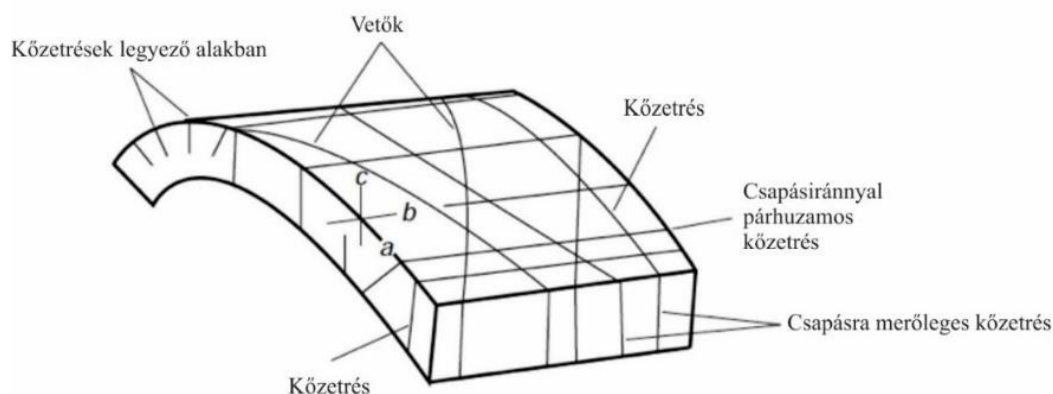


5.1.1. ábra. A Bodzás-forrás mellett rögzített réteglapok orientációs adataiból szerkesztett sztereogram (26 sík), amelyen a feltérképezett redő tengelyét a piros pont reprezentálja.



5.1.2. ábra. a) Hengeres geometriájú redő elméleti rajza és b) ábrázolása sztereogramon (VAN DER PLUIJM & MARSHAK 2004, módosítva).

A redőződéshez kapcsolódva a redőszárnyakon törések, illetve vetők alakulhatnak ki (TWISS & MOORES, 1992), jellemzően négy, egymástól eltérő orientációban. A síkok közül egy párhuzamos a redőtengely lefutásával, míg egy merőleges arra. Ezen törések közetrésrendszerekként jelennek meg a redőszárnyakon. A fennmaradó két sík jellemzően egy konjugált vetőpárt alkot, amelynek tagjai általában hegyesszöget zárnak be a redőtengelyre merőleges síkkal (5.1.3. ábra). A völgy területén fellelhető legtöbb törésről elmondható, hogy irányuk teljesen, vagy megközelítőleg egyezést mutat a kitérképezett redőhöz kapcsolható négy törési síkkal ($110^\circ/90^\circ$; $20^\circ/72^\circ$; $67^\circ/77^\circ$; $154^\circ/103^\circ$). A terepen begyűjtött mintákhoz tartozó orientációs adatok közül (5.1.4. táblázat) az OB20/06 és az OB20/07 minta adatai nem mutatnak egyezést a redőződéshez kapcsolódó négy, elméleti törési síkkal.



5.1.3. ábra. Redőszárnyon kialakuló közetrésrendszerek és konjugált vetőpárok. (VAN DER PLUIJM & MARSHAK 2004, módosítva).

Azonosító	Kalcit ércsoport	Ér orientációja
OB20/01	Zónás kifejlődésű ér	$114^\circ/85^\circ$
OB20/02	Zónás kifejlődésű ér	$344^\circ/85^\circ$
OB20/03	Breccsa ér	$332^\circ/84^\circ$
OB20/05	Zónás kifejlődésű ér	$288^\circ/89^\circ$
OB20/06	Homogén kifejlődésű ér	$23^\circ/85^\circ$
OB20/07	Zónás kifejlődésű ér	$136^\circ/11^\circ$
OB20/08	Zónás kifejlődésű ér	$168^\circ/75^\circ$

5.1.4. táblázat. A minták besorolása ércsoportokba, illetve a hozzájuk tartozó orientációs adatok.

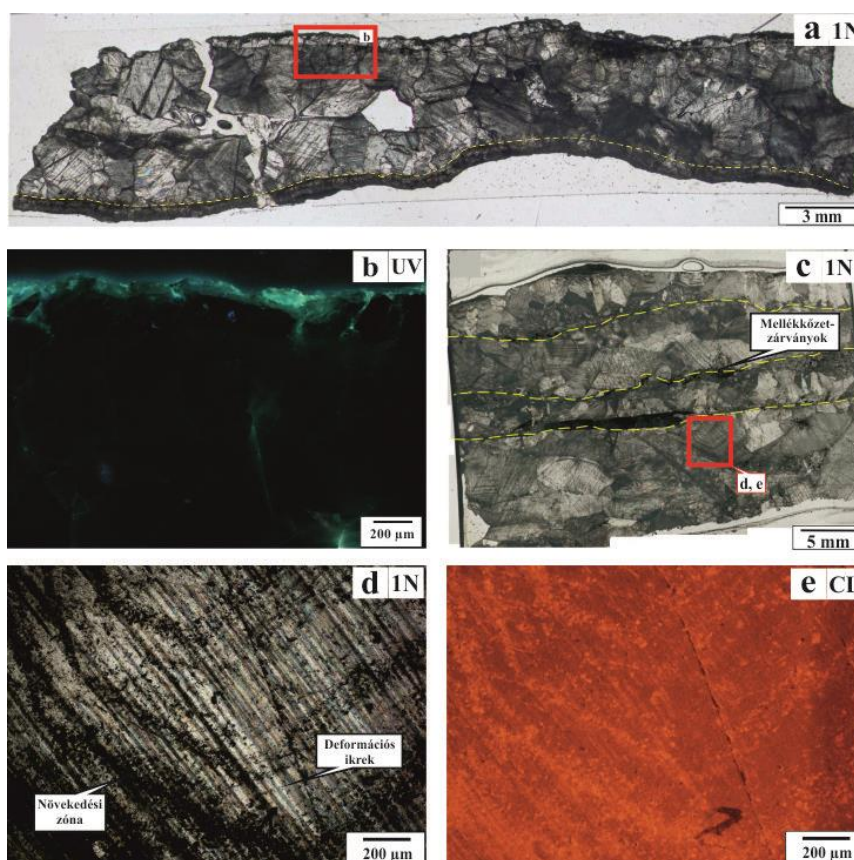
5.2. Mikroszkópos petrográfia

A makroszkópos vizsgálatok során elkülönített három kalcit érgenerációt mikroszkópos vizsgálatokkal tovább pontosítottam. A csoportokat a kalcit szemcsék morfológiája, az érgenerációk szövete, illetve a mellékkőzetből származó klasztok tulajdonságai alapján alakítottam ki. Ezen szempontok alapján öt kalcit érgenerációt különítettem el: tömbös érgeneráció, mag-perem szövetű tömbös érgeneráció, breccsa érgeneráció, megnyúlt tömbös érgeneráció és rostos érgeneráció.

Tömbös érgeneráció (Cal_T)

Ezen érgeneráció esetében a repedések falára közel merőlegesen, 100 μm -nél kisebb, tömbös kifejlődésű kalcitkristályok figyelhetők meg (5.2.1. ábra). Az ér belseje felé haladva a kalcit szemcsék kiszélesednek és méretük eléri a 6 mm-t. Az esetek túlnyomó többségében az érgeneráció több, egymással közel párhuzamos zónát alkot (5.2.1. ábra, a, c). Ezen zónák határát jellemzően mellékkőzetből származó, 50 μm -nél kisebb, szilárd zárványokból álló sávok (*inclusion bands*) jelölik ki. A karbonátfestés eredményeként kettő, összetételben különböző karbonátfázis különíthető el. Továbbá ezen érgeneráció esetében I. és II. típusú deformációs ikrek (BURKHARD 1993, FERILL et al. 2004) is megfigyelhetők.

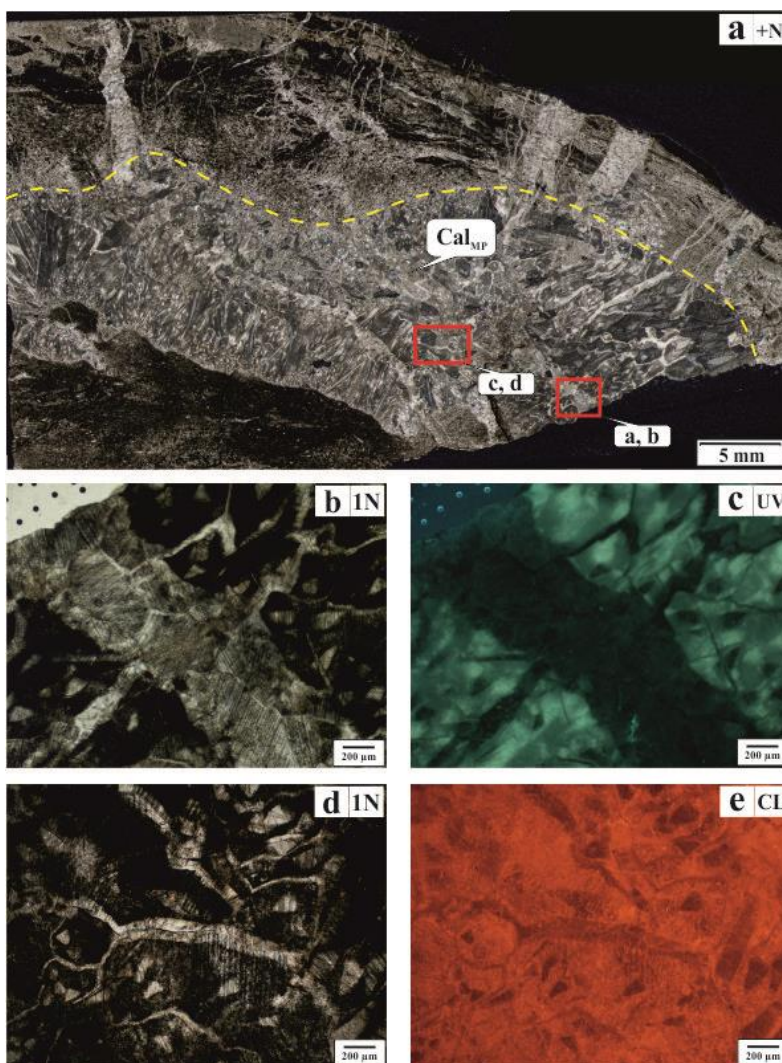
Mindezek mellett néhány szemcse növekedési zónációt mutat, amely katódlumineszcens (CL) és UV-fluoreszcens felvételeken is jól látható, feltételezhetően összetételbeli különbséget jelezve az egyes zónák között (5.2.1. ábra, b). Egyéb esetekben a kalcit szemcsék növekedési zónái nem csak CL, de — köszönhetően a zónák határán elhelyezkedő szilárd- és fluidumzárványoknak — polarizációs mikroszkópi felvételeken is megfigyelhetők (5.2.1. ábra, d, e).



5.2.1. ábra. a) Több zónából felépülő kalcitér 1N-os felvételen (OB20/02 minta), ahol a sárga szaggatott vonal a zónák határát, míg a piros téglalap a b) ábra éren belüli helyzetét jelöli. b) az a) ábra részlete UV fény alatt. c) 1N-os felvételen az egymással párhuzamos lefutású zónák, amelyek határát mellékkőzetzárványok jelölik ki (OB20/05 minta). A sárga szaggatott vonal a zónák határát jelöli, míg a piros téglalap a d) és e) ábra éren belüli helyzetét jelöli. d) és e) A c) ábra részlete 1N és CL felvételen, ahol a növekedési zónák láthatók.

Mag-perem szövetű tömbös érgeneráció (Cal_{MP})

Az érgeneráció tagjai tömbös, esetenként megnyúlt tömbös szemcsékből épülnek fel (5.2.2. ábra). A kristályok mérete 50 μm és 2,5 mm között változik a szemcseméret az érfaltól távolodva fokozatosan növekszik. A szemcsék növekedési iránya nem határozható meg minden esetben, azonban ahol igen, ott az érfalak irányából az ér közepe felé történt a növekedés. A kristályok jellemzően egy 50–200 μm széles világosabb belső (mag) és egy 100–300 μm széles, sötétebb külső (perem) részből épülnek fel. Néhány esetben egy perem rész több magot is magába foglal (5.2.2. ábra, b–e), illetve ezen mag-perem szerkezet CL és UV-fluoreszcens felvételeken is megfigyelhető (5.2.2. ábra, c, e). Továbbá az összetett szemcsék között lévő repedéseket kitöltő kalcit, az UV és a CL aktivitás alapján megegyezik az ezen szemcsék belső részét alkotó kalcittal. Mindazonáltal a karbonátfestés eredményeként mind a mag, mind a peremi részek kék színűek lettek, azaz mindkét kalcit fázis vastartalmú.



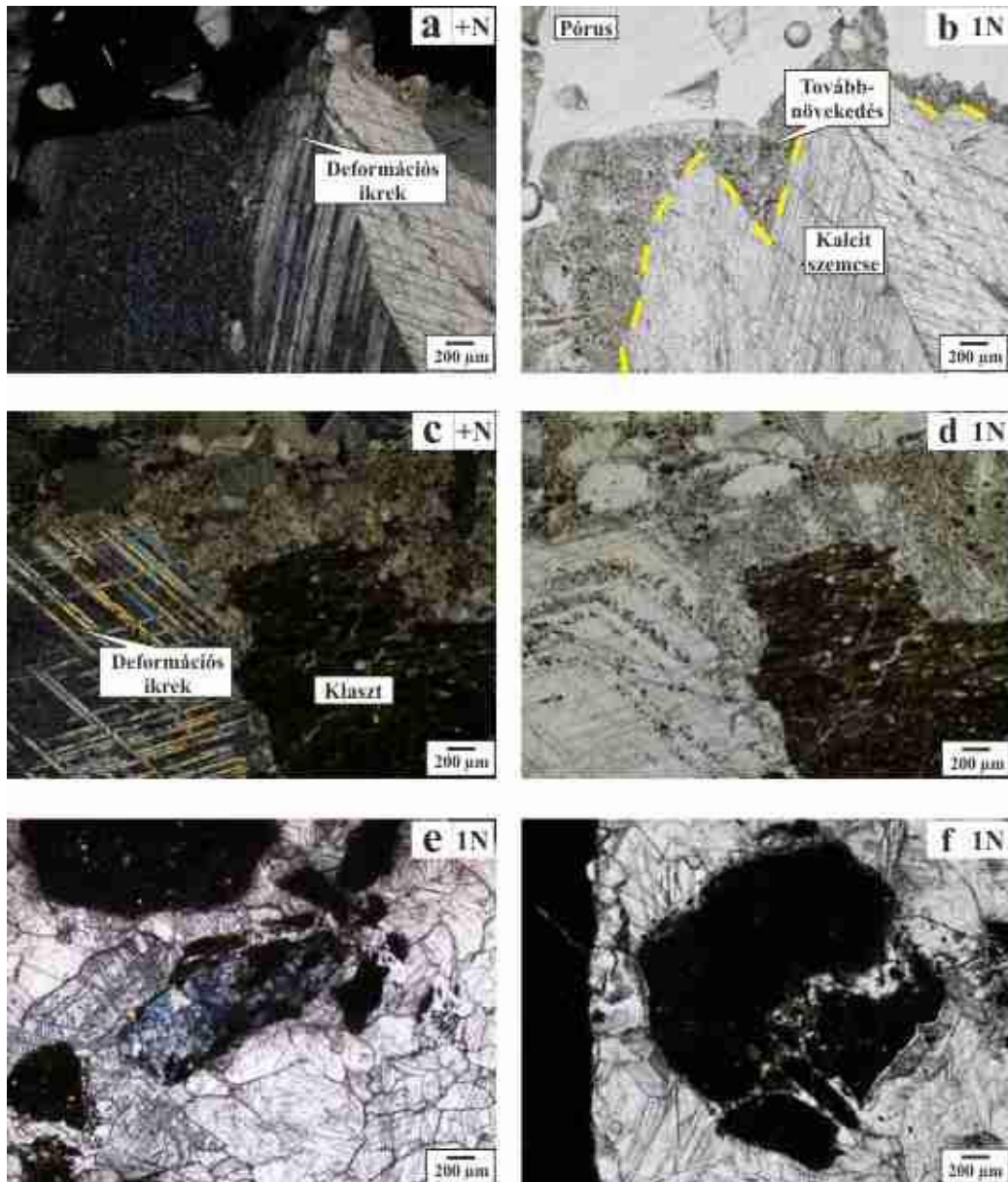
5.2.2. ábra. Mag-perem szövetű kalcit szemcsék +N-os felvételen (OB20/06 minta), ahol a sárga szaggatott vonal az érgenerációk határát jelöli, míg a piros téglalapok a b), c), d) és e) ábra vékonycsiszolaton belüli helyzetét jelölik. b) és c) Az a) ábra részlete 1N és UV felvételeken, amelyeken két különböző ér metsződési viszonyai láthatók. d) és e) Az a) ábra részlete 1N és CL felvételeken, amelyeken a mag-perem szövet látható.

Breccsa érgeneráció (Cal_{BRE})

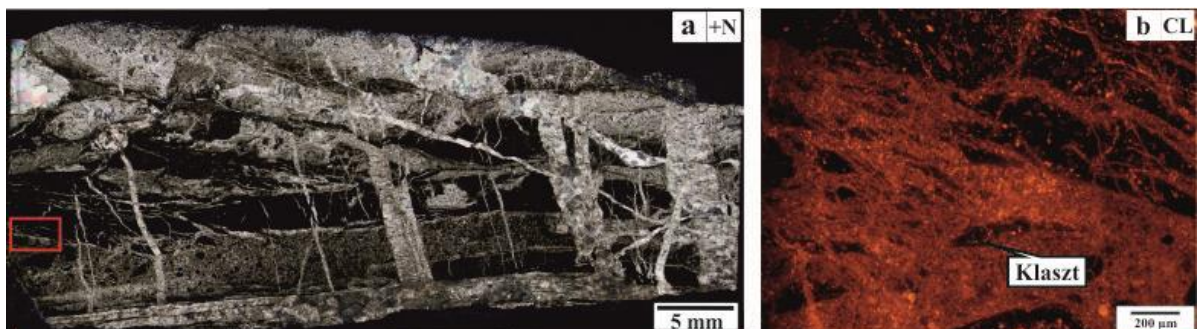
Ezen érgeneráción belül a mellékkőzetből származó klasztok mérete és alakja, illetve a kalcit szemcsék mérete alapján két altípus különíthető el.

A nagyobb méretű klasztokat tartalmazó érgeneráció esetében a kalcit cement szemcséinek mérete 50 μm és 3 mm között változik és tömbös kifejlődésűek (5.2.3. *ábra*). Ebben az esetben a mellékkőzetből származó klasztokra a szögletes és lekerekített formák egyaránt jellemzőek, azonban méretük igen változó. Azon klasztok, amelyek önállóan helyezkednek el a tömbös kalcit szemcsék között, akár a 4 mm-es nagyságot is elérhetik, míg azok, amelyek finomabb szemcseméretű cementben foglalnak helyet, nem haladják meg az 50 μm -t (5.2.3. *ábra, c, d*). Esetenként I., II., és IV. típusú deformációs ikrek figyelhetők meg a kalcit szemcséken (5.2.3. *ábra, a, c*). A nagyobb méretű kristályok esetében megfigyelhető egy perem rész, amelyet finomabb szemcseméretű, kisebb klasztokban gazdag cementanyag alkot (5.2.3. *ábra, a–d*). Az I. és II. típusú deformációs ikrek elhalnak a szemcse és a perem rész határán, míg a IV. típusba sorolható deformációs ikrek megszakítás nélkül jelennek meg mind a két részben. Ezen érgenerációt alkotó szemcsék a karbonátfestés során rózsaszín színt mutattak, azaz ezen kalcit szemcsék vasmentesek. A mellékkőzetből származó klasztok, mellett 1,5 mm-nél kisebb érdarabok is megfigyelhetők a nagyobb méretű kalcit szemcsék között. Ezen érdarabok a karbonátfestés hatására az érgeneráció többi fázisától eltérően, kék színre festődnek, ami a kalcitér klaszt vastartalmára utal (5.2.3. *ábra, e*). Továbbá néhány mellékkőzet klaszt aprózódása során egymással párhuzamos mellékkőzet sávok váltak le (5.2.3. *ábra f*).

A másik altípusba kisebb méretű klasztokat tartalmazó érgeneráció sorolható. Az érgenerációra tömbös megjelenésű kalcit szemcsék jellemzőek, amelyek mérete nem haladja meg a 200 μm -t. Az ereken a kalcit szemcsék mellett nagy mennyiségben jelennek meg mellékkőzet klasztok (5.2.4. *ábra, a*). Ezek mérete 100 μm és 2 mm között változik, míg alakjukat tekintve mind szögletes, mind lekerekített formák előfordulnak (5.2.4. *ábra, b, c*). Ezen érgenerációba sorolt ereken a többi kalcitér generáció tagjai jellemzően gyakran áthaladnak. A karbonátfestés következtében az érgenerációt alkotó szemcsék kékre színeződtek, azaz a kalcit vastartalma jelentős.



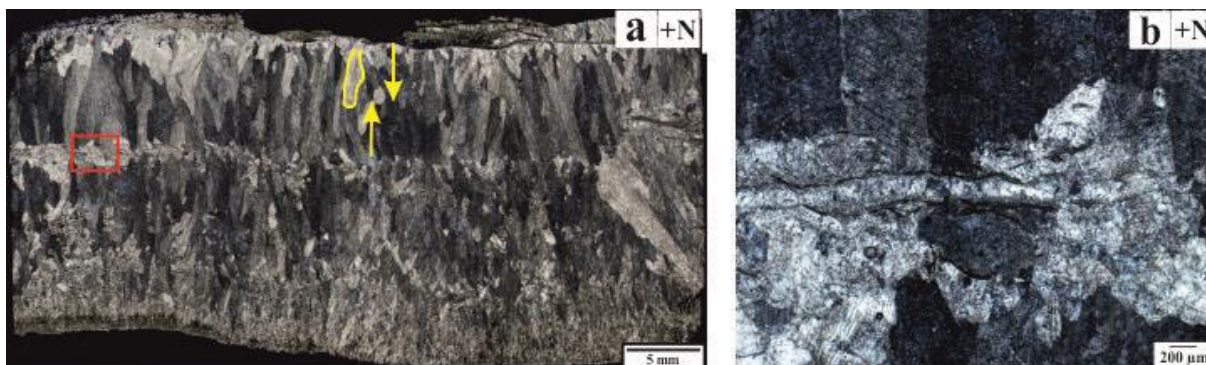
5.2.3. ábra. a) és b) ábrán finomabb szemcseméretű klasztokat tartalmazó cement látható. Ezen cement a kalcit szemcsék továbbnővekedéseként értelmezhető. A sárga szaggatott vonal a kalcit szemcse és a továbbnővekedés határát jelöli. c) IV. típusú deformációs ikrek +N felvételen. d) Kis méretű klasztokban gazdag cement a növekedési zóna határát jelöli. e) A kőzetzárványokkal együtt elszállított, klasztként értelmezhető értöredék 1N-os felvételen. f) ábrán a leszakadt, egymással párhuzamos mellékkőzet klasztokat láthatók.



5.2.4. ábra. a) +N-os vékonycsiszolati felvétel (OB20/07 minta), amelyen a piros téglalap jelöli a breccsa érgeneráció elhelyezkedését, illetve a b) ábra éren belüli helyzetét. b) Az a) ábra részlete CL felvételen, amelyen a szögletes és lekerekített mellékkőzetből származó klasztok láthatók.

Megnyúlt tömbös érgeneráció (Cal_{MT})

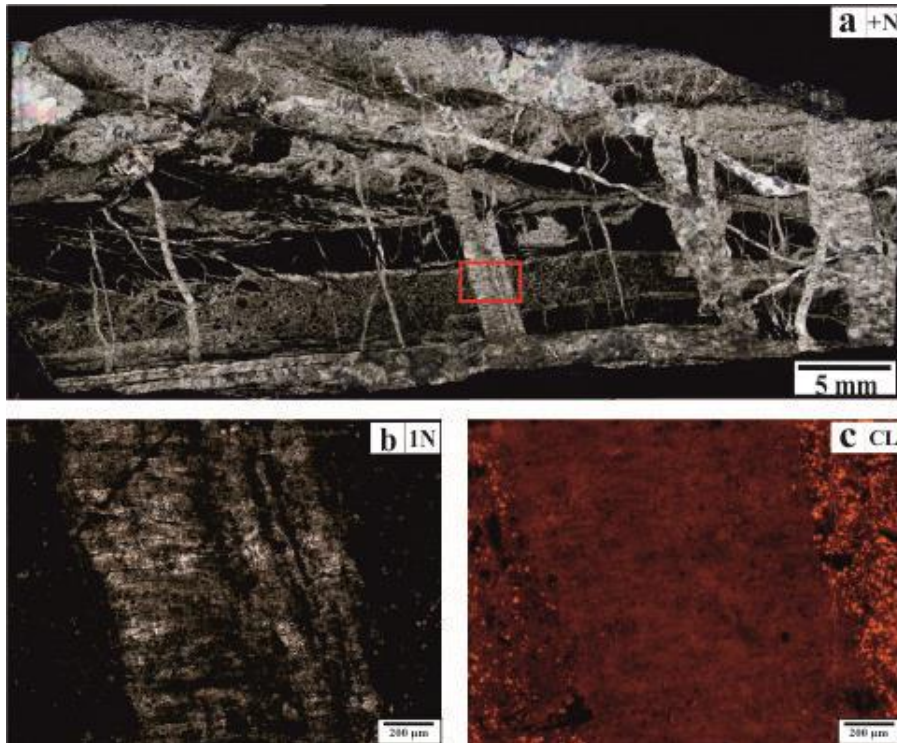
Ezen érgeneráció esetében a repedés falára közel merőlegesen $50\text{ }\mu\text{m}$ -nél kisebb, megnyúlt tömbös kifejlődésű kristályok figyelhetők meg (5.2.5. ábra, a). Az ér belseje felé haladva a kalcit szemcsék kiszélesednek és méretük eléri az 1 mm -t. Jelen érgeneráció az erek túlnyomó többségében egymással közel párhuzamos zónát alkot. Ezen zónák határát a mellékkőzetből származó, $30\text{ }\mu\text{m}$ -nél kisebb, zárványokból álló sávok (*inclusion bands*) jelölik ki (5.2.5. ábra, b). Karbonátfestés alapján ezen érgenerációt vasas kalcit alkotja.



5.2.5. ábra. a) Megnyúlt tömbös kalcit szemcsék +N felvételen (OB20/08 minta), ahol a sárga vonal a szemcsé határát, a sárga nyilak a szemcsék növekedési irányát, míg a piros téglalap a b) ábra éren belüli helyzetét jelöli. b) Az a) ábra részlete +N-os felvételen, amelyen a mellékkőzetek által kijelölt zónahatár látható.

Rostos érgeneráció (Cal_{ROS})

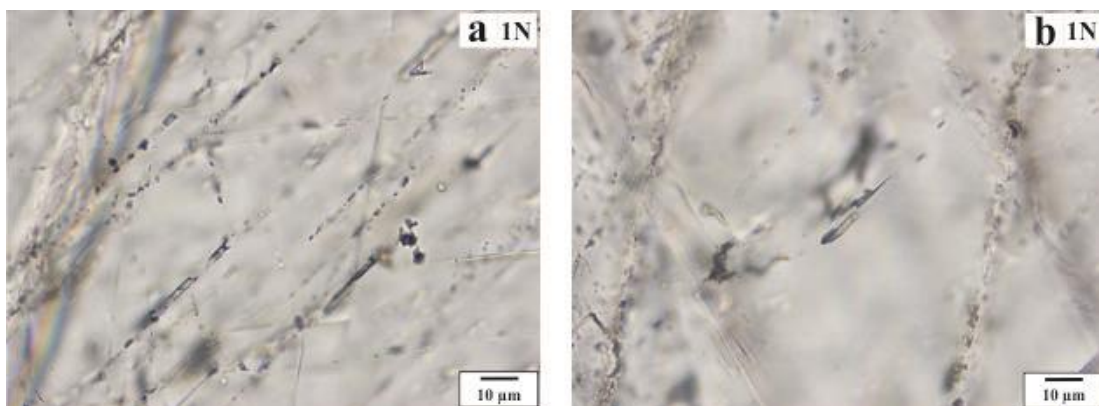
A rostos érgenerációba sorolt ásványos erek az érfalra merőleges, míg egymással közel párhuzamos kifejlődésű, rostos morfológiájú kalcit szemcsékből állnak, amelyek hossza $100\text{ }\mu\text{m}$ és $1,5\text{ mm}$ között változik (5.2.6. ábra). A szemcsék növekedésének iránya az estek túlnyomó többségében nem határozható meg, ahol viszont igen, ott az ér belseje felől történt az érfalak irányába. A kalcit szemcsék jellemzően 2 mm -nél vékonyabb ereket alkotnak, amelyek néhány esetben egymással közel párhuzamos lefutásúak (5.2.6. ábra, b, c). Ezen érgeneráció a repedésekben megjelenő többi érgenerációra közel merőleges lefutású és sok esetben metszi is azokat. Az érgenerációt alkotó kalcit szemcsék a karbonátfestés következtében kék színűre színeződtek, ami nagy vastartalmú kalcitra utal.



5.2.6. ábra. a) +N-os vékonycsiszolati felvétel (OB20/07 minta), amelyen a piros téglalap jelöli a rostos kalcitgeneráció elhelyezkedését, illetve a b) és c) ábra éren belüli helyzetét. b) és c) ábra részlete 1N és CL felvételeken, amelyeken a rostos morfológiájú kalcit szemcsék láthatók.

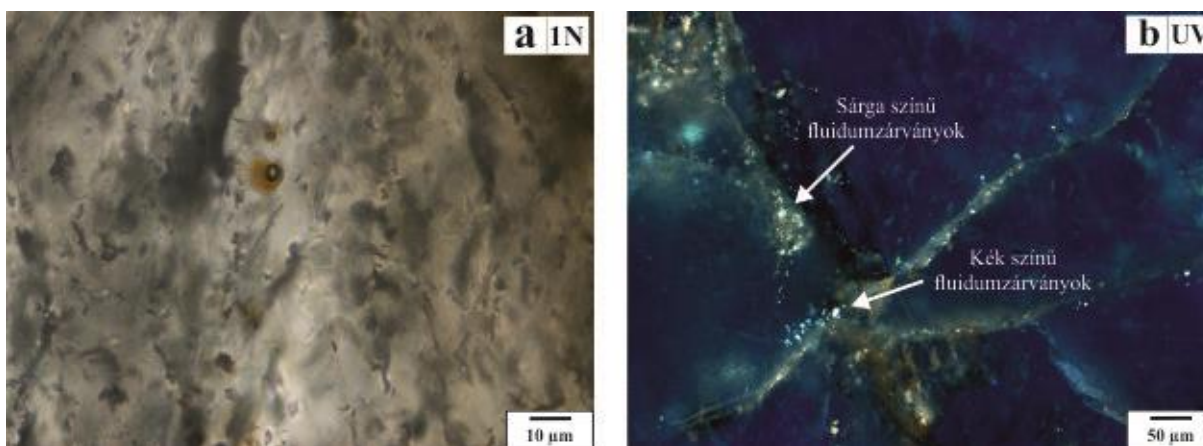
5.3. Fluidumzárvány petrográfia

A kalcit érgenerációk túlnyomó többségében megfigyelhetők, olyan fluidumzárványok, amelyek mérete nem haladja meg a $10\ \mu\text{m}$ -t és egy fázis alkotja őket (5.3.1. ábra). Ezen zárványok síkban polarizált fényben színtelenek, míg UV fény alatt vizsgálva nem fluoreszkálnak. Túlnyomó többségük megnyúlt, azonban egyes zárványok enyhén szögletes alakúak. Jellemzően zárványsorokat alkotnak, amelyek lefutása nem párhuzamos a kalcitszemcsék határával. Bizonyos esetekben ezen zárvány sorok egymást keresztezve helyezkednek el.



5.3.1. ábra. a) Egymással párhuzamosan futó egyfázisú fluidumzárványsorok. b) Megnyúlt és enyhén szögletes alakú fluidumzárványok (OB20/03 minta).

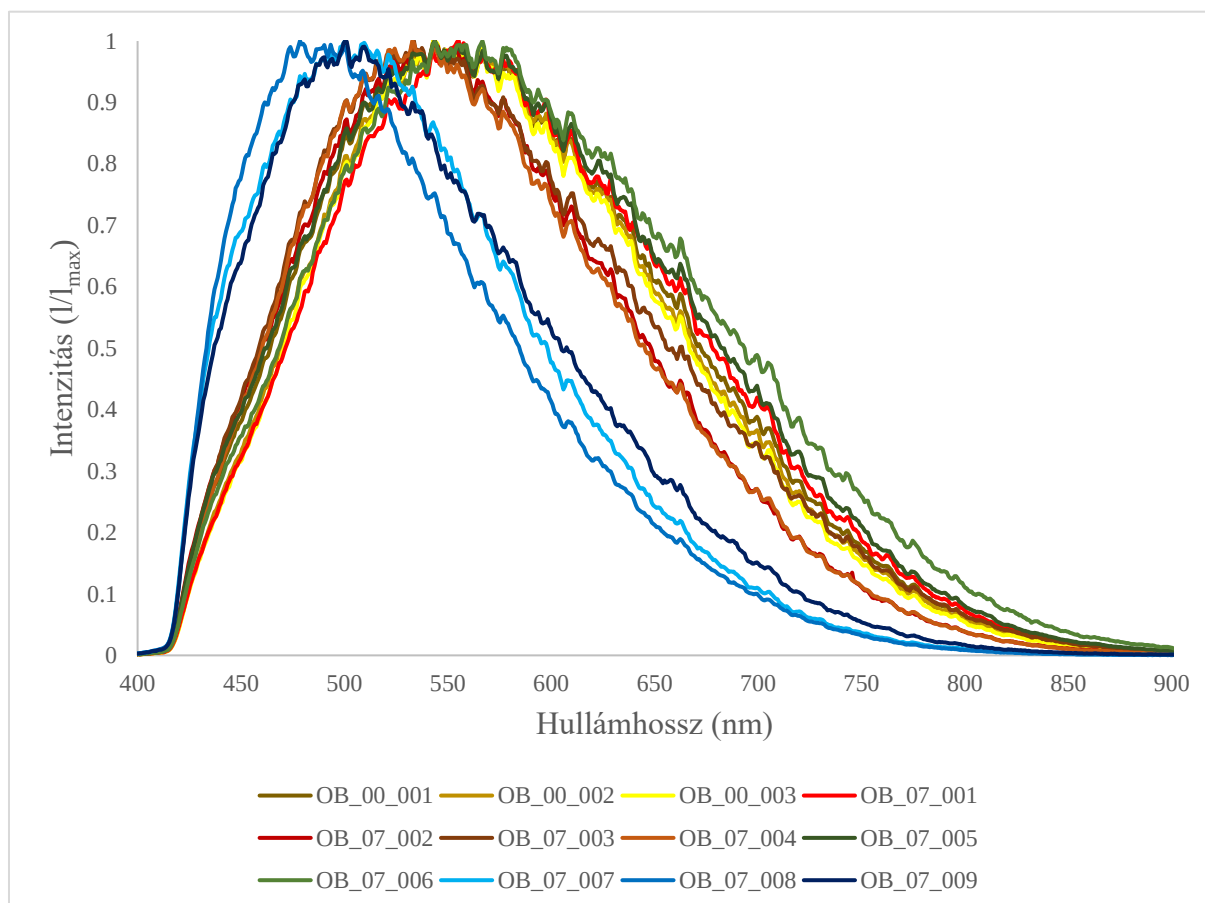
Az egyik vastartalmú, tömbös érgenerációban kétfázisú fluidumzárványok figyelhetők meg, amelyek mérete nem haladja meg a 20 μm -t. Ezen zárványokra nagy gőz/folyadék arány és szabálytalan alak jellemző (5.3.2. ábra, a). Normál fényben a zárványok folyadék fázisa sárgás-barnás színű, míg a gőz fázis színtelen. UV fény alatt a zárványok folyadék fázisa sárga, illetve kék fluoreszcens színt mutat (5.3.2. ábra, b), ami alapján e fluidumzárványok feltehetőleg szénhidrogén-tartalmúak. A két különböző szín kettő különböző generációt feltételez. Az egyfázisú zárványokhoz hasonlóan ezen fluidumzárványok is sorokba rendeződnek, azonban egyes zárványsorok a szemcse határokkal párhuzamos lefutásúak.



5.3.2. ábra. a) Kétfázisú fluidumzárvány 1N-os felvételen (OB20/07 minta). b) UV fény alatt eltérő fluoreszcens színt (kék, sárga) mutató fluidumzárványok. (OB20/07 minta).

5.4. UV-fluoreszcens mikrospektroszkópia

A méréseket az OB20/07 minta Cal_{MT} érgenerációjának fluidumzárványain végeztük, mivel ebben a mintában egymáshoz közel található két különböző fluoreszcens színű szénhidrogén-tartalmú zárványegyüttes (5.3.2. ábra, b). A sárga fluoreszcens színt mutató zárványok maximális intenzitásához tartozó hullámhossz (λ_{max}) 533 és 567 nm, míg az élénkkékek esetében ez az érték 479 és 500 nm között változik (5.4.1. ábra).



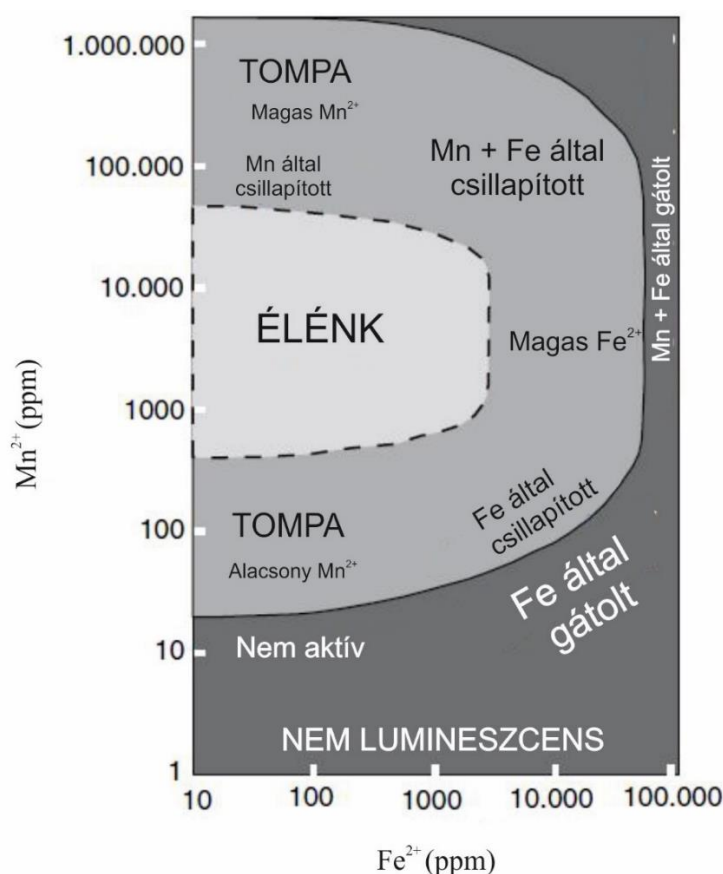
5.4.1. ábra. A sárga fluoreszcens színű fluidumzárvány spektruma az OB_00_001 – OB_07_006 görbék jelölik, míg az élénkkék színű fluidumzárványok spektrumát az OB_07_007 – OB_07_009 görbék jelölik. A spektrumok a hullámhossz és az intenzitás függvényében ábrázoltak.

6. Diskusszió

6.1. A karbonátfestés és a katódlumineszcens vizsgálatok eredményeinek értelmezése

A vékonycsiszolatokat DICKSON (1965) alapján Na-alizarin-szulfonát és kálium-hexaciano-ferrát vegyületek savas oldatával kezeltük a különböző karbonátfázisok elkülönítése érdekében. A karbonátfestés eredményeként a minták túlnyomó többsége kékre festődött, ami az érkötő kalcit szemcsék relatív nagy vastartalmára utal. Kivételként az OB20/03 minta említhető, amely a festés során rózsaszínűre színeződött, a kalcit kisebb vastartalmára utalva. A Cal_{BRE} érgenerációban olyan értöredékek figyelhetők meg, amelyek a festés következtében kék színűek lettek (5.2.3. ábra, e). Az értöredékek kifejlődése és a karbonátfestést követő kék színe arra utal, hogy eredetileg máshol alakultak ki és később kerültek a kis vastartalmú kalcit cementbe. Ennek köszönhetően az értöredékek klasztnak tekinthetők. Több minta esetében, ahol az ér kifejlődése zónás, az egyes zónák eltérő színre festődtek, amely a zónákat alkotó kalcit — így az érfejlődés során uralkodó egykori fluidum — kémiai összetételének változását jelzi.

A karbonátfestés mellett a minták katódlumineszcens mikroszkópi vizsgálata alapján következtethetünk a kalcit vastartalmára. BOGGS & KRINSLEY (2006) alapján a kalcit katódlumineszcens színe az ásványban található Fe^{2+} és Mn^{2+} mennyiségének arányától függ (6.1.1. ábra). Az ásvány élénk lumineszcens színt mutat, amennyiben a vas mennyisége legfeljebb ~ 1000 ppm és emellett a mangán mennyisége $\sim 800\text{--}80000$ ppm között változik (BOGGS & KRINSLEY 2006). Amennyiben a mangán mennyisége nem éri el vagy meghaladja az előzőekben említett intervallumot az ásvány egyre gyengébben lumineszkál. Emellett a növekvő vastartalom is a csökkenő lumineszcenciát segíti elő. Azon minták esetében, ahol a karbonátfestés alapján nagy vastartalom feltételezhető a CL vizsgálatok eredményekén sötétebb, tompább szín látható. Ellenben az OB20/03 minta esetében élénk narancssárga lumineszcens szín figyelhető meg. Mindezek alapján az élénk narancssárga lumineszcens szín olyan kalcitra utal, amelyben relatív kis vastartalom mellett a mangán mennyisége $800\text{--}80000$ ppm között változik. Mindazonáltal azon mintáknál, ahol zónás kifejlődésű az ér a nagy vastartalmú zóna sötétebb, tompább színt mutat, míg a kis vastartalmú zónák élénk narancssárga színűek. Az eltérő lumineszcens szín alapján feltételezhető, hogy az érfejlődés során az áramló fluidumban változott a Fe^{2+} és Mn^{2+} mennyisége.



6.1.1. ábra. A katódlumineszcens aktivitás erőssége a kalcit Fe^{2+} és Mn^{2+} tartalmának függvényében (BOGGS & KRINSLEY 2006, módosítva).

6.2. Breccsatípusok

A völgy területén makroszkóposan és mikroszkóposan is megfigyelhetők olyan kalciterek, amelyekben nagyobb mennyiségben fordulnak elő a mellékkőzet klasztjai. A klasztok mérete, alakja és a kalcit cement mennyisége alapján a breccsa érgenerációt két altípusra osztottuk. A különböző breccsatípusok elkülönítése jellemzően ezen paraméterek alapján történik.

A klasztok mérete alapján az egyes szerzők különböző breccsatípusokat különítenek el (6.2.1. táblázat). SPRY (1969) három kategóriát alakított ki: ahol a klasztok mérete meghaladja az 5 mm-t tektonikus breccsának tekinthető, amennyiben a klasztok mérete 5 és 1 mm között változik finomszemcsés breccsáról beszélhetünk, míg a mikrobreccsa esetében a klasztok mérete 1 mm-nél kisebb. Ezzel szemben HIGGINS (1971) 0,2 mm klasztméretnél állapította meg a mikrobreccsa és a kataklázit határát. LAZNICKA (1988) a mezo- és mikrobreccsa határát 2 mm nagyságú klasztokhoz kötötte. A völgyben megfigyelhető azon breccsatípus, amely esetében a klasztok mérete 100 μm és 2 mm között változik SPRY (1969) alapján mikrobreccsának tekinthető. Azonos rendszer alapján a másik breccsatípus esetében finomszemcsés breccsáról beszélhetünk, ugyanis a klasztok mérete 4 mm.

mm	Wentworth 1922	Spry 1969	Higgins 1971	Laznicka 1988
8	kavics	breccsa		(mezo-) breccsa
4	murva	finom- szemcsés breccsa		
2		mikro- breccsa		mikro- breccsa
1	homok			
0,5				
0,25			kata- klázit	
0,125				
0,0625				
0,03125	kőzet- liszt			

6.2.1. táblázat. Breccsatípusok a klasztok mérete alapján (WOODCOCK & MORT 2008, módosítva).

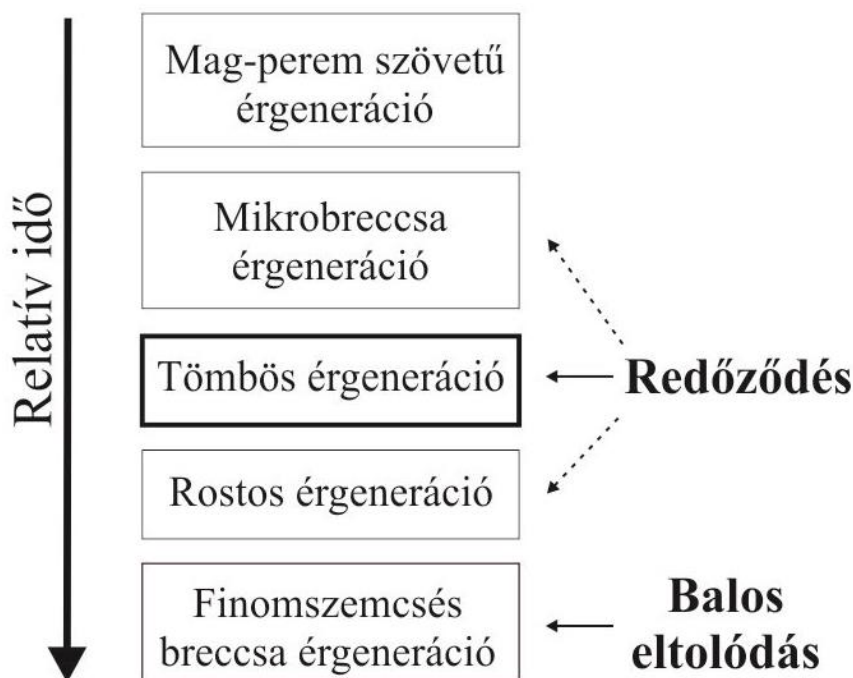
A másik két paraméter a breccsák típusának meghatározásában a klasztok alakja és a mátrix/cement mennyisége. A nagyobb klasztokat tartalmazó breccsaér esetében mind szögletes, mind lekerekített klasztok megfigyelhetők. A kisebb méretű klasztok nagyobb halmazokba rendeződnek (4.4. ábra), melyek határa lekerekített. Sok esetben ezen kisebb klasztok összeilleszthetők egymással. Az 5.2.3. e–f ábra alapján a klasztok nagyobb mennyiségű, kalcit anyagú mátrixban „úsznak” (*floating clast breccias*; CHAUVET 2019).

JEBRAK (1997) szerint a klasztok ilyen, mondhatni mozaikszerű elhelyezkedése emelkedett fluidumnyomás hatására végbemenő (hidraulikus) breccsásodásra utal.

Következésképpen mindkét altípus a klasztok hasonló alakja és elhelyezkedése alapján hidraulikus breccsatípusba tartozik. Lényeges különbség a klasztok méretében mutatkozik, ami alapján az egyik altípus hidraulikus mikrobreccsa, míg a másik altípus a hidraulikus finomszemcsés breccsa kategóriába tartozik.

6.3. Szerkezetfejlődés és érgenerációk

Az óbányai Öreg-patak völgyének területén megfigyelt szerkezeti elemeket létrehozó események következményeként a rétegek dőlése igen változatos. A Bodzás-forrás esetében a patak két oldalán markánsan eltérnek a rétegek dőlésirányai. A mért adatok sztereografikus projekción történő ábrázolásának köszönhetően a Bodzás-forrás közvetlen szomszédságában egy hengeres geometriával rendelkező redőt térképeztünk fel. A völgyben megjelennek kitöltetlen törések, illetve kalcittal kitöltött repedések, ásványos erek. A legtöbb törésről elmondható, hogy irányuk figyelemre méltó egyezést mutat a redőződésre jellemző négy törési síkkal (TWISS & MOORES 1992; 5.1.3. ábra). Ezen törések általában szöget zárnak be egymással, azonban számos esetben lefutásuk egymással párhuzamos. Mindezek alapján feltételezhető, hogy a kalcit érgenerációk legnagyobb része a redőződéshez kapcsolódó repedésrendszerek kialakulásához kapcsolódik. (6.3. ábra).



6.3. ábra. Folyamatábra a deformációs mechanizmusok és a kalcit érgenerációk feltételezett relatív sorrendjéről. A téglalapok az egyes érgenerációkat jelölik. A vastagabb kerettel rendelkező téglalap jelöli azon érgenerációt, amelyben szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványok figyelhetők meg. A folytonos nyílak a biztos kapcsolatot, míg a szaggatott nyílak a feltételezett kapcsolatot jelölik.

Több feltárásban a mellékkőzet mellett a kalcierék is képlékenyen deformálódtak (4.3. ábra, c). Ezen deformálódott erek minden esetben a mag-perem szövetű tömbös érgenerációba tartoznak. Mivel a rétegek mellett a kalciterek is deformálódtak, így feltételezhető, hogy ezen erek a redőződés előtt alakultak ki, azaz a redő képződéséhez viszonyítva prekinematikus eredetűek. A terepbejárás során feltérképezett redő szomszédságában egy ásványlépcsőkkel borított felszint figyeltünk meg, amelyen az ásványlépcsők balos eltolódásra utalnak (4.4. ábra, d). Mindemellett az ásványlépcsős fal mellett egy ~10 cm vastagságú kalcitér figyelhető meg, amely mellékkőzetből származó klasztokban gazdag (4.4. ábra, a). Ezen klasztok többnyire szögletesek, illetve bizonyos esetekben a szögletes klasztok egy helyre tömörülve, gömbölyded alakzatot alkotnak (4.4. ábra, c). A breccsás érgeneráció mikroszkópos vizsgálata során a kalcit érben a mellékkőzetből származó klasztok mellett értöredékeket is azonosítottunk (5.2.3. ábra, e). Ezen értöredékek szintén klasztnak tekinthetők, amelyek a balos eltolódás során szakadhattak le az érfalról. A karbonátfestés a breccsás érgeneráció esetében kis vastartalmú, míg az elszállított értöredékek esetében nagy vastartalmú kalcitra utal. Ezen nagy vastartalmú tömbös érgeneráció esetében a kalcit kristályok az érfalra közel merőlegesen növekedtek és az ér belseje felé mindinkább kiszélesedtek. Ez alapján megállapítható, hogy ezen erekre szintaxiális növekedés volt jellemző, ami törések menti advektív fluidumáramlást feltételez (BONS et al. 2012). Mindazonáltal ezen tömbös érgenerációra a repedésképződés és bezáródás (*creack-sealing*; RAMSAY 1980) típusú érfejlődési mechanizmus által kialakult, kőzetzárványok alkotta mikroszerkezet is jellemző. Mindezek alapján a redőződést követően, de a balos eltolódást megelőzően feltételezhető egy advektív fluidummigráció, amely eredményeként nagy vastartalmú kalcit kristályok váltak ki a repedésekben. Emellett a völgy területén megfigyelhető még mikrobreccsás érgeneráció, illetve rostos érgeneráció is, amelyek a mikroszkópi metsződési viszonyok alapján szintén a balos eltolódás előtt alakultak ki. A mikrobreccsás érgeneráció esetében 100 μm és 2 mm közötti mellékkőzet klasztok figyelhetők meg és metsződési viszonyok alapján a tömbös érgeneráció előtt alakult ki. Ezzel szemben a 2 mm-nél vékonyabb kalcit erekként megjelenő rostos érgeneráció a tömbös érgeneráció után alakult ki.

6.4. A deformációs mechanizmusok és az érgenerációk kapcsolata az orientációs adatok alapján

A terepen begyűjtött minták orientációs adatait a redőződéshez kapcsolódó négy törési sík irányával összevetve az esetek túlnyomó többségében egyezést mutatnak. Ugyanakkor a redőződést megelőzően kialakult erek esetében eltérés mutatkozik az orientációkban.

Az 5.1.4. táblázat alapján az OB20/03 minta a breccsa ércsoportba tartozik, amely a mikroszkópi vizsgálatokat követően Cal_{BRE} érgenerációba sorolható. A terepi megfigyelések és a klasztnak tekinthető, elvonszolt idősebb érdarabok alapján ezen érgeneráció finomszemcsés altípusához társítható, amely a völgyet ért balos eltolódás során jöhetett létre. Ezen érgeneráció orientációja azonos a redőződéshez társítható törésekkel. Ennek értelmében megvan annak a lehetősége, hogy a redőződés során breccsásodás is jelentkezett. A terepen megfigyelt erek legnagyobb része a zónás kalcit ércsoporton belül a Cal_T érgenerációba sorolható. Ezen minták orientációja szintén egyezést mutat a redőződéshez kapcsolható törési síkok helyzetével. Az OB20/07 minta dőlésiránya, dőlésszöge azonban eltér a redőhöz kapcsolódó törési síkok orientációjától. Ezen mintában megfigyelhető a Cal_T, a Cal_{ROS} és a Cal_{BRE} (mikrobreccsa) érgeneráció is. Az OB20/06 mintában megjelenő Cal_{MP} érgeneráció a metsződési viszonyok, illetve a terepen észlelhető gyűrődés (4.3. ábra, e) alapján a redőződést megelőzően alakult ki. Ezt alátámasztja, hogy orientációja nem egyeztethető össze a redőződés során kialakult törési síkokkal.

Az orientációs adatok értelmében a Cal_{MP} érgeneráció kialakulása nem köthető a redőződés során kialakult törésekhez. Ezen érgeneráción a redőződés nyomai figyelhetők meg, így kialakulása feltehetően megelőzte a redőződést. Mivel a Cal_T érgeneráció orientációja az esetek túlnyomó többségében egyezést mutatott a redőződés 110°/90° és 154°/103° törési síkjaival, így ezen érgeneráció kialakulása feltehetően a redőződéshez köthető. Mindazonáltal a finomszemcsés breccsa érgeneráció (Cal_{BRE}) orientációja is egyezést mutat a törési síkok egyikével. Mivel a finomszemcsés breccsa érgenerációhoz köthető a balos eltolódás így feltételezhető, hogy egy deformációs esemény két mechanizmusát jelöli a redőződés és a balos eltolódás. Azaz a balos eltolódás egy olyan vetősík mentén mehetett végbe, amely a redőződéshez kapcsolódik. Az OB20/07 mintában három érgeneráció figyelhető meg, kialakulásuk tekintetében — orientációs adatok hiányában — a mikroszkópi metsződési viszonyokra hagyatkoztunk. Ebben a mintában megjelenik a redőződéshez kapcsolható Cal_T érgeneráció (6.3. ábra), ugyanakkor a rostos (Cal_{ROS}) és a mikrobreccsa (Cal_{BRE}) érgeneráció nem köthető egyértelműen ehhez a szerkezetalakulási eseményhez.

6.5. Fluidumáramlási események

A völgyben megjelenő kalcittal kitöltött repedések túlnyomó többségében megjelennek fluidumzárványok. A fázisok száma és az UV-fluoreszcens tulajdonságaik alapján ezen zárványok két csoportba sorolhatók. A kalciterekben előforduló egyfázisú fluidumzárványok UV fény alatt nem mutatnak fluoreszcenciát (5.3.1. *ábra*). Ezen zárványok sorokba rendeződnek és genetikájukat tekintve másodlagosak. A fluidumzárványok másik csoportját kétfázisú, UV fény hatására fluoreszkáló zárványok alkotják (5.3.2. *ábra*). Ezen fluidumzárványok feltehetően szénhidrogén-tartalmúak és genetikájukat tekintve szintén másodlagosak.

Az UV-fluoreszcens mikrospektroszkópai tulajdonságaik alapján a fluoreszkáló zárványegyütteseken belül két különböző szénhidrogén-tartalmú fluidumgeneráció különíthető el. A sárga és az élénkkék fluoreszcens szint mutató zárványegyüttesek spektruma (5.4.1. *ábra*) közel azonos a LUKOCZKI et al. (2012) által bemutatott Pécsváradról származó mintákban mértekkel. A zárványok fluoreszcens színe leginkább a szénhidrogén-tartalmú fluidum kémiai összetételétől függ (BERTRAND et al. 1986), így feltételezhető, hogy a két különböző fluoreszcens szín eltérő összetételű fluidumra utal. A zárványok kémiai összetételét befolyásolhatja, ha a fluidumok eltérő anyakőzetből származnak vagy más az érettségük (MCLIMANS 1987, KIHLE 1995, BLANCHET et al. 2003). A kémiai összetételre — és ezáltal a fluoreszcens viselkedésre — szintén hatással van a vízzel való átmosás és a biodegradáció (GEORGE et al. 2001). Mindemellett a szénhidrogén-tartalmú fluidumból különböző komponensek szelektíven adszorbeálódhatnak a bezáró ásvány felszínén, ezáltal némileg eltérő összetételű zárványok képződnek, amelyek eltérő fluoreszcens viselkedést mutatnak (PIRONON & BOURDET 2008). A völgyből származó mintákban megfigyelhető másodlagos genetikával rendelkező fluidumzárványsorok tömbös kalcit szemcsékben helyezkednek el. Így tehát a mikroszkópi vizsgálatok alapján a szénhidrogén-tartalmú fluidummigráció a tömbös kalcit érgenerációt (Cal_T) követően, de még a rostos érgeneráció (Cal_{ROS}) megjelenése előtt ment végbe (6.3. *ábra*).

7. Következtetések

Az óbányai Öreg-patak völgyében lévő nagyszámú szerkezeti elem közül jelen munkában a kalcittal kitöltött repedésekkel és az ezekhez köthető fluidummigrációval foglalkoztunk.

Terepen és makroszkóposan három érgenerációt — zónás kifejlődésű ér, homogén kifejlődésű ér és breccsaér — különítettem el. A mikroszkópi vizsgálatoknak köszönhetően

ezen besorolást tovább pontosítottam, aminek eredményeként öt kalcitérgenerációt különítettem el: Cal_T, Cal_{MP}, Cal_{BRE}, Cal_{MT} és Cal_{ROS}. A zónás kifejlődésű ereket Cal_T, Cal_{MT} és Cal_{ROS} érgenerációk építik fel, míg a homogén kifejlődésű eret a Cal_{MP}, a breccseret pedig a Cal_{BRE} érgeneráció alkotja. A Cal_{BRE} érgeneráción belül a mellékközet klasztok mérete és alakja, illetve a kalcit szemcsék mérete alapján további két altípus vált elkülöníthetővé, a finomszemcsés breccsa érgeneráció és a mikrobreccsa érgeneráció. A völgyben megfigyelhető kalcit érgenerációk túlnyomó többsége nagy vastartalmú. Kivételt képez a nagyobb, szögletesebb klasztokat tartalmazó breccsás kalcitér. A makroszkópos és a mikroszkópos megfigyelések alapján a mag-perem szövetű tömbös kalcit érgeneráció (Cal_{MP}) a legidősebb. Ezen érgeneráció kialakulását feltehetően egy redőződés követte, amely nyomai a redőződést megelőző Cal_{MP} érgeneráción is megfigyelhetők. A redőződéshez kapcsolódóan törések alakulnak ki, amelyek közül bizonyosakat később egy nagy vastartalmú kalcit töltött ki. Ezen érgenerációhoz köthetők a másodlagos genetikájú, szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványok. Ezt követően egy rostos érgeneráció jött létre. Feltehetően a völgy területén az egyik legfiatalabb deformációs mechanizmus egy balos eltolódás, amihez kötődően kis vastartalmú kalcit kristályok váltak ki.

Munkám folytatásaként az eddigi eredmények pontosítása céljából fluidumzárvány mikrotermometriai- és stabilizotóp-arány méréseket szeretnék elvégezni, amelyek segítségével a zárványokban megőrződött, szerkezetfejlődésre és paleofluidum-migrációra jellemző fizikai-kémiai paramétereket tárnám fel.

Köszönetnyilvánítás

Megköszönöm témavezetőimnek Dr. Schubert Félixnek és Dr. Hrabovszki Ervinnek, a dolgozat során nyújtott önzetlen, kimagasló szintű szakmai segítséget és hasznos tanácsaikat. Szeretném megköszönni Dr. Raucsik Bélának a témát érintő hasznos irodalmak megosztását. Köszönöm a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tanszékének a dolgozat létrejöttéhez szükséges feltételek biztosítását. Köszönöm Dr. Barta Károlynak a területet ábrázoló térkép biztosítását.

Felhasznált irodalom

BEREGART F. & CSONTOS L. 1988: Brittle tectonics and paleostressfields in the Mecsek and Villány Mountains (Hungary): correlations with the opening mechanisms of the Pannonian Basin. — *Acta Geologica Hungarica* 31/1–2, 81–100.

BERTRAND P., PITTON J.-L. & BERNAUD C. 1986: Fluorescence of sedimentary organic matter in relation to its chemical composition. — *Organic Geochemistry* 10, 641–647.

BLANCHET A., PAGEL M., WALGENWITZ F. & LOPEZ A. 2003: Microspectrofluorimetric and microthermometric evidence for variability in hydrocarbon fluid inclusions in quartz overgrowths: implications for inclusion trapping in the Alwyn North field, North Sea. — *Organic Geochemistry* 34, 1477–1490.

BOGGS S. JR. & KRINSLEY D. 2006: Application of Cathodoluminescence Imaging to the Study of Sedimentary Rocks — Cambridge University press, 165 p.

BONS, P.D., ELBURG, M.A., GOMEZ-RIVAS, E. 2012. A review of the formation of tectonic veins and their microstructures. — *Journal of Structural Geology* 43, 33–62.

BÖCKH J. 1880: Adatok a Mecsekhegység és dombvidéke jurakorabeli lerakódások ismeretéhez – I. Stratigraphiai rész. — Magyar Tudományos Akadémia könyvkiadóhivatal, 24–36.

BURKHARD, M. 1993: Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonics regime: a review. — *Journal of Structural Geology* 15, 351–368.

Chauvet A. 2019: Structural control of ore deposits: The role of pre-existing structures on the formation of mineralised vein systems — *Minerals* 2019, 9, 56

CSONTOS L., BENKOVICS L., BEREGART F., MANSÍ J.-L. & WÓRUM G. 2002: Tertiary deformation history from seismic section study and fault analysis in a former European Tethyan margin (the Mecsek–Villány area, SW Hungary) — *Tectonophysics* 357, 81–102.

FERILL, D. A., MORRIS, A. P., EVANS, M. A., BURKHARD, M., GROSHONG, R. H. & ONASCH, C. M. 2004: Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer. — *Journal of Structural Geology* 25, 1521–1529.

FODOR L., CSONTOS L., BADA G., GYÖRFI I. & BENKOVICS L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin System and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data. — In: DURAND B., JOLIVET L., HORVÁTH F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 156, 295–334

GALÁ CZ A., HABLY L., SZENTE I. 1992: Kirándulásvezető a Magyarhoni Földtani Társulat Őslénytani-Rétegtani Szakosztályának 1992. június 19–20-i mecseki terepbejárásához. — Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 17 p.

GEORGE S. C., RUBLE T. E., DUTKIEWICZ A. & EADINGTON P. E. 2001: Assessing the maturity of oil trapped in fluid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined fluorescence colours. — *Applied Geochemistry* 16, 451–473.

GÉ CZY B. 1973: Plate tectonics and paleogeography in the East-Mediterranean Mesozoic. — *Acta Geologica Hungarica*, 17, 421–428.

HAAS J., HÁ MOR G., JÁ MBOR Á., KOVÁ CS S., NAGYMAROSY A., SZEDERKÉ NYI T. 2012: Geology of Hungary. — Springer, 244 p.

HIGGINS, M. W. 1971. Cataclastic Rocks. Professional Paper, United States Geological Survey, no. 687, 97 pp.

JEBRAK M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits; A review of mechanisms, morphology and size distribution — *Ore Geology Reviews* 12, 111–34.

KIHLE J. 1995: Adaptation of fluorescence excitation-emission micro-spectroscopy for characterization of single hydrocarbon fluid inclusions. — *Organic Geochemistry* 23, 1029–1042.

KUBOVICS I., SZABÓ CS., HARANGI SZ., JÓ ZSA S. 1990: Petrology and petrochemistry of mesozoic magmatic suites in Hungary and adjacent areas – an overview. — *Acta Geodaet. Geophys. Montanist. Hung.*, 25/ 3–4, 345–371.

LADÁ NYI L. 2021: Szerkezetföldtani és petrográfiai megfigyelések az Óbányai-völgyben (Kelet-Mecsek) — Szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, 49 p.

LAZNICKA, P. 1988. Breccias and Coarse Fragmentites. Petrology, Environments, Associations, Ores — *Developments in Economic Geology Series Volume 25*. Amsterdam: Elsevier, 832 pp.

LOVÁ SZ GY. 1977: Baranya megye természetföldrajza – Baranya monográfiai sorozat (Pécs), 52 p.

LUKOCZKI G., SCHUBERT F., HÁ MORNÉ V. M. 2012: Szénhidrogén-migráció nyomai Pécsvárad környékén (Mecsek-hegység) — *Földtani Közlöny* 142/3, 229–242.

- MAROS GY., KOROKNAI B., PALOTÁS K., FODOR L., DUDKO A., FORIÁN-SZABÓ M., ZILAHISEBESS L., BÁNNÉ GYÖRY E. 2004: A Mórágység ÉK-i részének tektonikája és szerkezetalakulása — Tectonics and structural evolution of the NE part of the Mórág Hills — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése 2003-ról, 371–394.
- MCLIMANS R. K. 1987: The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs. — *Applied Geochemistry* 2, 585–603.
- NAGY E. 1969: A Mecsek hegység alsóliász kőszénösszlete. Földtan. – Ösföldrajz. – MÁFI Évk., 51, 2. füzet, 289–318.
- NÉMEDI-VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban. — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése 1981-ről, 467–484.
- PIRONON J. & BOURDET J. 2008: Petroleum and aqueous inclusions from deeply buried reservoirs. Experimental simulations and consequences for overpressure estimates. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 4916–4928.
- PÜSPÖKI Z., FORGÁCS Z., KOVÁCS ZS., KOVÁCS E., SOÓS-KABLÁR J., JAGER L., PUSZTAFALI J., KOVÁCS Z., DEMETER G., MCINTOSH R. W., BUDAY T., KOZÁK M., VERBÓCI J. 2012: Stratigraphy and deformation history of the Jurassic coal bearing series in the Eastern Mecsek (Hungary). — *International Journal of Coal Geology* 102, 35–51.
- RAMSAY, J.G. 1980. The crack–seal mechanism of rock deformation. — *Nature* 284, 135–139.
- SEBE K. 2009: A Nyugat-Mecsek és környezete tektonikus geomorfológiai elemzése. — PhD értekezés, Pécsi Tudományegyetem, 113 p.
- SPRY A. 1969. *Metamorphic Textures*. London: Pergamon, 350 pp.
- TWISS R. J., MOORES E. M. 1992: *Structural Geology*. — W.H. Freeman and Company, New York, 532 p.
- Van Der Pluijm B., Marshak S. 2004: *Earth Structure*. — WW Norton & Compan, 656 p.
- VARGA A., RAUCSIK B., HÁMORNÉ V. M., ROSTÁSI Á. 2007: Az Óbányai Aleurolit Formáció fekete palájának izotóp-geokémiai és szénhidrogén-genetikai jellemzése. — *Földtani Közlemény* 137/4, 449–472.
- VELLEDITS F., HÍVES T., BÁRSONY E. 1985: A Jurassic-lower cretaceous profil in Óbánya valley

VÖRÖS A. 1993: Redefinition of the Reitzi Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian. — *Acta Geologica Hungarica*, 36/1, 15–31.

WEIN GY. 1967: Délkelet-Dunántúl hegységszerkezeti egységeinek összefüggései az óalpi ciklusban. — *Földtani Közlöny* 97/3, 286–293.

WOODCOCK N. H. & MORT K. 2008: Classification of fault breccias and related fault rocks. — *Geol. Mag.* 145 (3), pp.435-440.