

Szénhidrogén-migráció nyomai Pécsvárad környékén (Mecsek hegység)

LUKOCZKI Georgina^{1,2}, SCHUBERT Félix², HÁMORNÉ VIDÓ Mária³

¹Pécsi Tudományegyetem, Földtani Tanszék, H-7624 Pécs, Ifjúság útja 6. e-mail: lukoczki@gamma.ttk.pte.hu

²Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, H-6722 Szeged, Egyetem utca 2–6.

³Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

Traces of hydrocarbon migration near Pécsvárad (Mecsek Mts)

Abstract

Research carried out over recent few years has revealed that a part of the Hosszúhetény Calcareous Marl Formation (HCMF) contains mature organic matter (total organic carbon content [TOC] = 0.4%) (RAUCSIK et al. 2002). During earlier fieldwork, numerous calcite veins were discovered in an outcrop of the HCMF near Pécsvárad (SW Hungary); this has an intense odour, like that of bitumen. Based on the myriad of petroleum inclusions of the fracture-filling calcite, it could be proved that in the past the fracture system acted as a migration pathway for petroleum-bearing fluids.

The aims of the present study were to determine the type of organic matter in the marl — and its stage of maturity — by vitrinite reflectance measurements. The purpose of this was to verify whether the HCMF could have been the source rock of the oil which was trapped in the fluid inclusions of the vein-filling calcite. It also served to study the fluids trapped in the inclusions by applying the methods of fluid inclusion petrography, microthermometry and UV-fluorescence microspectroscopy. The organic matter in the HCMF is mainly composed of liptinite of marine origin, but there are also traces of vitrinite and inerinite of terrestrial origin. Therefore it can be established that the accumulation environment of the rock was a marine environment relatively close to a coastal environment.

Based on the measured vitrinite reflectance values ($R_o\% = 0.73$), the organic matter in the marl reached the oil window and thus oil was generated. Therefore it can be assumed that the HCMF served as a source rock for the trapped oil; nevertheless, further analysis is needed to confirm an exact determination. The peak temperature of the studied part of the HCMF was evaluated using the Vitrinite Reflectance Geothermometry (VRG) method elaborated by BARKER & PAWLEWICZ (1994). The marl was heated to a temperature of 106–117 °C.

Six pure calcite veins with different textural habits could be distinguished in the studied outcrop of the HCMF. In the calcites, fluid inclusion assemblages (FIAs) of primary origin contained one-phase (liquid) inclusions. The vast majority of the secondary FIAs contained one-phase (liquid), two-phase (liquid+vapour), and three-phase (liquid+liquid+vapor) fluid inclusions. Under UV-excitation, most of the secondary fluid inclusions showed an intense fluorescence, indicating a hydrocarbon-bearing fluid infill. Visually, three different fluorescence colours could be determined (yellowish blue, light blue and vivid blue). Nevertheless, the UV-fluorescence microspectroscopy did not show any difference between FIAs of yellowish blue and light blue fluorescent colours. Thus the petroleum inclusions (characterised by different fluorescent colours) were probably trapped by the same fluid through the fractionation of the original petroleum fluid during the trapping process.

Microthermometry was performed on secondary, two-phase aqueous and petroleum inclusions, respectively. The determination of the low temperature phase changes could not be completed due to the small size of the inclusions (less than 3 µm). Based on the homogenization temperatures, the temperature of the hydrocarbon-bearing fluid migration was between 65 °C and 110 °C.

On the basis of the characteristics of the organic matter of the HCMF, it can be purported that the marl is the source rock of the petroleum which was trapped in the vein-filling calcites.

Keywords: Mecsek Mts, organic matter, vitrinite reflectance, fluid inclusion, microthermometry, UV-fluorescence

Összefoglalás

Az elmúlt néhány év kutatásai eredményeként ismertté vált, hogy az alsó-jura Hosszúhetényi Mészmárga Formáció (HMF) egy Pécsváradtól északra található kőfejtő által feltárt része jelentős mennyiségű szerves anyagot tartalmaz (teljes szerves szén tartalom, TOC = 0,4%) (RAUCSIK et al. 2002). A márga anyaga tektonikai események hatására meggyűrődött és repedésekkel szabdalódott fel. E repedéseket kalcit töltötte ki, mely ütés hatására erős

bitumenszagot áraszt. A jelenséget a repedéskitöltő kalcitokban csapdázódott szénhidrogén-tartalmú fluidumzárványok kiszabadulása okozza.

Munkánk során a HMF pécsváradai feltárásából vett minták szerves anyagának vizsgálatát végeztük el vizuális kerogénelemzéssel és vitrinitreflexió-méréssel annak érdekében, hogy megállapítsuk, a márga szolgálhatott-e a repedéskitöltő kalcitokban csapdázódott szénhidrogén anyaközeteként. Fluidumzárvány-mikrotermometriai és UV-fluoreszcens vizsgálatok alkalmazásával a szénhidrogén-migráció körülményeit vizsgáltuk.

Megfigyeléseink alapján a HMF feltárt szakaszának szerves anyaga legnagyobb részben tengeri eredetű liptinitből áll (II. típusú kerogén), de jelentős mennyiségű szárazföldi eredetű vitrinitet is tartalmaz, ami alátámasztja a márga felhalmozódási környezetének szárazföldhöz közelebbi kapcsolatát. A vitrinitreflexió-értékek alapján ($R_o\%=0,73$) a szerves anyag elért az olajképződés szakaszába (olajablak). A képződmény vizsgált szakaszának a vitrinitreflexió-értékekből számított maximális felfűtési hőmérséklete 106 °C és 117 °C között lehetett.

Mikroszkópos szöveti elemzés alapján hatféle kalcitértípust különítettünk el. UV-gerjesztés alatti vizsgálat során vizuálisan háromféle színű (élénkkék, világoskék, sárgáskék) szénhidrogén-tartalmú fluidumzárvány-együttest (FIA, Fluid Inclusion Assemblage) különböztettünk meg. Az UV-fluoreszcens mikrospektroszkópos mérésekből kapott spektrumok nem mutattak különbséget a világoskék és a sárgáskék fluoreszcens színű zárványok között. A fluidumzárványok mikrotermometriai vizsgálatával megállapítottuk, hogy a szénhidrogén-tartalmú fluidum migrációja 65 °C és 110 °C közötti hőmérsékleten zajlott. A HMF szerves anyagának tulajdonságai alapján feltételezzük, hogy a repedésrendszerben migrált szénhidrogén anyaközete a márga lehetett.

Tárgyszavak: Mecsek hegység, szerves anyag, vitrinitreflexió, fluidumzárvány, mikrotermometria, UV-fluoreszcencia

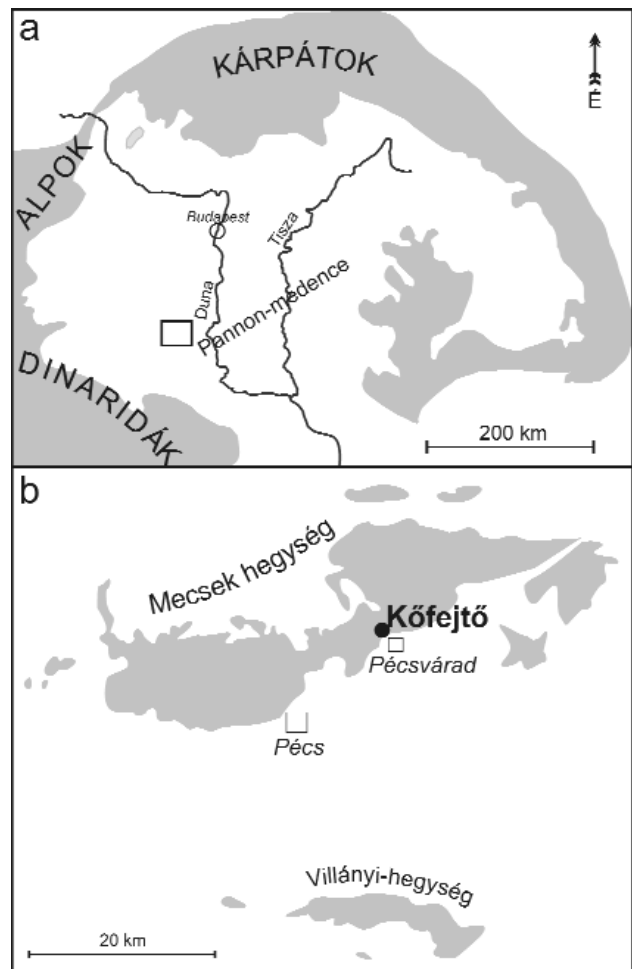
Bevezetés

A Hosszúhetényi Márga Formáció (HMF) szerves anyagára vonatkozó első vizsgálatokat RAUCSIK et al. (2002) végezték. Rock-Eval pirolízis alkalmazásával kimutatták, hogy a márga számottevő mennyiségű szerves anyagot tartalmaz (0,4% TOC), melyet II. és III. típusú kerogén alkot. RAUCSIK et al. (2002), valamint RAUCSIK & VARGA (2008) biológiai markervizsgálattal megállapították, hogy a szerves anyag az evolúciója során eljutott az olajképződés szakaszába (olajablak).

A márga képződési környezetének rekonstrukciója érdekében VARGA et al. (2002) paleontológiai, RAUCSIK & MERÉNYI (2000), valamint RAUCSIK & VARGA (2008) agyagásványtani vizsgálatokat végeztek. A márgában három agyagásványtípust találtak: illitet, kaolinitet és illit/szmektit kevert szerkezetű ásványokat. RAUCSIK & MERÉNYI (2000) szerint a kaolinit és az illit relatíve proximális, mély, külső self üledékképződési környezetet jelez.

Munkánk során a Pécsváradtól északra (Keleti-Mecsek) található, felhagyott kőfejtőből begyűjtött minták vizsgálatát végeztük (1. ábra). A kőfejtő a gyűrt, töredezett, alsó-jura Hosszúhetényi Mészmárga Formáció képződményeit tárja fel. A vizsgálatokat a HMF-be sorolt kőzet anyagából, valamint annak repedéseit cementáló kalcitokból begyűjtött mintákon végeztük.

A kalciterek ütés hatására erős bitumenszagot árasztanak. UV-gerjesztés alatt végzett mikroszkópos vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a bitumenszagot a kalciterekben zárványok formájában csapdázódott szénhidrogén-domináns fluidum kiszabadulása okozza. Munkánk célja a zárványfluidumok jellemzése, valamint a márga szerves anyag típusának és érettségének pontosabb becslése annak megállapításához, hogy a márga szolgálhatott-e a kalciterekben csapdázódott szénhidrogén forrásaként. Vizsgálataink célja továbbá a kalciterek tipizálása szöveti és morfológiai szempontok szerint, terepi és mikroszkópos vizsgálatok alapján.



1. ábra. A vizsgált terület elhelyezkedése. a) A terület helyzete a Pannon-medencén belül. b) A vizsgált képződményt feltáró kőfejtő helyzete a Mecsek hegységben (szürke árnyalattal a mezozoos és paleozoos képződmények felszíni kibukkanásai)

Figure 1. Location of the study area. a) Situation of the area in the Pannonian Basin. b) Situation of the quarry exposing the studied formation in the Mecsek Mts. (grey shade indicates outcrops of Mesozoic and Palaeozoic formations)

Földtani háttér

A jura időszakban a Mecsek hegység a Tiszai-egység részeként a Tethys északi selfjén, az európai lemez D-i peremén helyezkedett el. A sinemuri korszak kezdetén a területen felerősödött a transzgresszió, melynek egyik oka az általános vízszintemelkedés, de a terület felgyorsuló süllyedése is hozzájárult a tengerszint növekedéséhez (HAAS 2001). A tenger térnyerésével a terrigén anyag forrásterülete távolabb került, az üledékképződés egy nyílt, mélyebb medencében folytatódott, aminek következtében finom szárazföldi törmelékanyag és biogén karbonátos iszap halmozódott fel együtt, így létrehozva a foltos márgát (allgäui fácies). Képződése a self külső, mélyebb részén, a vihar hullámbázis alatt mehetett végbe (HAAS 2001, RAUCSIK & MERÉNYI 2000), s a Mecseki Kőszén Formációra települt márgarétegekből (Vasasi Márga Formáció, ún. fedőmárga) fokozatos átmenettel fejlődött ki. Az összletben felfelé haladva fokozatosan nő a mésztartalom és erősödik a foltosság (NÉMEDI VARGA 1998).

A foltos márga pontos korának meghatározása nehéz, mivel hiányoznak belőle a rétegtanilag értékelhető faunaelemek (HETÉNYI 1966). A kormeghatározást tovább nehezíti, hogy a meszes márgából álló legalsó rétegek fokozatos átmenettel fejlődtek ki a fedőmárgából. A Magyar Rétegtani Bizottság Jura Albizottsága a Hosszúhetényi Mészmárga Formációt a sinemuri felső és a plienschichi alsó részébe sorolta (CSÁSZÁR 1997).

A jurabeli riftesedés eredményeként a Tiszai-egység levált az európai selfről, majd a kréta–kora-paleogén idején az Alcapa-lemez tömbbel egyesülve jött létre a Pannon-medence egységes aljzata. A mecseki területekre a paleogén–neogén idején komplex, többfázisos tektonikai események hatottak (CSONTOS et al. 2002).

A minták származási helye

A begyűjtött minták származási helye a 2. ábrán látható. A terepbejárások során a mellékkőzetből (HMF) két mintát, a különböző értépusokból pedig összesen 14 darab mintát

vettünk. Az erekből vett minták felsorolása az 1. táblázatban látható.

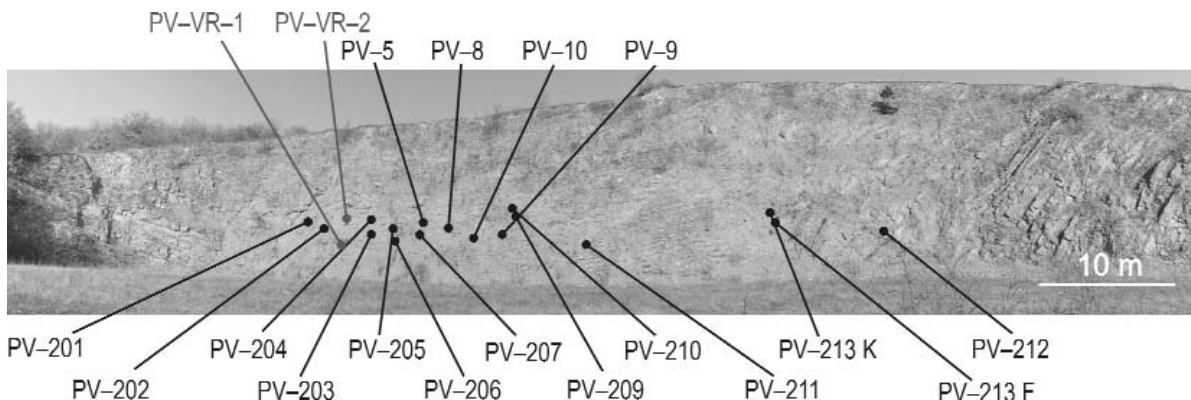
Vizsgálati módszerek

A karbonátok szöveti jellemzőinek vizsgálatát Olympus SZX9 binokuláris, ill. BX41 polarizációs mikroszkóppal végeztük az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén. A petrográfiai vizsgálatokat kis sebességű vágógéppel darabolt, polírozott vékonycsiszolatokon végeztük. A vékonycsiszolatokat EVAMY (1963) módszere alapján alizarin-red-S-t és K-ferricianidot tartalmazó festékekkel festettük meg a karbonátásvány meghatározásához.

A szénhidrogén-domináns fluidumokat tartalmazó zárványok (továbbiakban CH-zárványok) azonosításához és tipizálásához polarizációs mikroszkópra felszerelt Olympus U-RFL-T típusú UV-fluoreszcens feltétet és UMNU2 szűrőkockát (gerjesztő szűrő 420–480 nm, emisszió szűrő 520IF, dikromatikus tükör 500 nm) használtunk. A mikrotermometriai vizsgálatokat két értépusból készült, mindkét oldalán polírozott vastagsziszolatokon végeztük 100-szoros nagyítású objektívvel, Linkam THMSG 600 hűthető-fűthető tárgyasztallal felszerelt Olympus BX41 polarizációs mikroszkóppal az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén. A tárgyasztal hűtése folyékony nitrogén, fűtése elektromos fűtőszál segítségével történik. A műszer mérési tartománya -196 °C és $+600\text{ °C}$ között van. A műszer kalibrálása szintetikus fluidumzárványok segítségével történt 0 °C -on és 374 °C -on. A mérési pontosság 100 °C körüli hőmérsékleten $\pm 0,5\text{ °C}$.

Továbbiakban a SCHUBERT et al. (2007) által javasolt, fluidumzárványokra vonatkozó szakkifejezéseket és rövidítéseket használjuk.

A szénhidrogén-tartalmú fluidumzárvány-együttesek elkülönítésének céljából a fluidumzárványok UV-fluoreszcens mikrospektroszkópiai vizsgálatát Olympus IX71 mikroszkópra épített Parissh mikrofotométerrel végeztük polírozott vékonycsiszolatokon, melyet Loctite pillanatragasztóval rögzítettünk a tárgylemezhez az epoxy műgyanta UV-



2. ábra. A begyűjtött minták származási helye (Kompozit felvétel. Szürke vonal: mellékkőzetből vett minták, fekete vonal: kalciterekéből vett minták)
 Figure 2. Provenance of the collected samples. (Composite picture. Grey lines: samples of the host rock; black lines: samples of the vein-filling calcite)

I. táblázat. Az egyes mintákon végzett petrográfiai megfigyelések és mikrotermometriai mérések összefoglalása
 Table I. Summary of the petrographic investigations and thermometric measurements

Minta jelle	Értípus	Erek vastagsága	Ikerlemezesség	Crack-seal band	Inclusion trail	CH	FI típus	CH-zárvány fluoreszcens színe	Mikrotermometria	Megjegyzés
PV-5	sötétbarna tömeges	elvékonyodó, < mm - 0,5-1 cm	vékony, vastag, foltos	+	-	L; V; L+V	L; V; L-V	SK, VK, ÉK	SK: 30-84 °C, ÉK: 35-94 °C; n=SK: 10 ÉK: 35 ?; 45	egyes lefúvási szemeshatárok
PV-8	fehér aprószemcsés	0,5-1 cm	vékony, vastag, foltos	-	+	L; L-V	L	ÉK	-	mikrosztlolit, növekedési verseny, erősen ikres, összehaprózottnak tűnő szemcsék
PV-9	fehér tömeges és sötétbarna tömeges	1,5-2 cm	vékony, vastag, foltos	-	+	L; L-V	L; L-V	ÉK	-	
PV-10	fehér tömeges	10-15 cm	vékony, vastag, foltos	-	-	L; L-V	L	SK, VK, ÉK	SK: 32-69 °C, VK: 35-100 °C; vizes: 38-99 °C; n=SK: 10 VK: 14 vizes: 6 ?; 30	
PV-10 F	szürke, fém-nótt szkalenoideres	1-5 mm-es kristályok	-	-	-	-	L	nincs CH-zárvány	-	barna bevonat a szemcsére rakódva, amit a kristály néhol tituló
PV-203	fehér tömeges	1-2 cm	vékony, vastag, foltos	-	-	L; L-V	L; L-V	SK, VK, ÉK	SK: 35-84 °C, ÉK: 38-72 °C; vizes: 66-102 °C; n=SK: 12 ÉK: 6 vizes: 9 ?; 27	mikrosztlolit mellett mikropátos kalitát
PV-204	fehér tömeges	10-15 cm	vastag, íves	-	-	L-V	L; L-V	SK, VK, ÉK	-	
PV-205	sötétbarna tömeges	1-1,5 cm	vastag, vékony (alárendelt), íves, foltos	-	-	L; L-V	L	SK, VK, ÉK	-	középen fehér kitöltés, az ér szélén néhány elvonszolt mellékközet darab, undululós kioldású szemcsék
PV-206	fehér tömeges	2-3 cm	vastag, vékony (alárendelt), foltos	+	+	L; L-V	L; L-V	ÉK	-	a makroszkóposan barna színű rész sok inclusion trail-t tartalmaz
PV-207	fehér tömeges	4-5 cm	vékony, vastag, foltos	-	+	L-V	L	ÉK	-	
PV-209	szürke tömeges-szemcsés	1-2 cm	vékony, vastag, foltos	-	-	L-V	L	ÉK	-	mikrosztlolit, zónásan elhelyezkedő szilárd zárványok, mellékközet darabok
PV-211	sötétbarna tömeges	2-3 cm	többnyire vastag, erősen ikres, íves	-	fehér részen -	-	L	nincs CH-zárvány	-	két szélén kb. 1 mm szélesen makroszkóposan fehér az ér, itt mikroszkóposan sok inclusion trail látható
PV-213 F	fehér, fém-nótt romboéderes	1-5 mm-es kristályok	-	-	-	-	L	nincs CH-zárvány	-	
PV-213 K	fehér tömeges	2-3 cm	vékony, vastag, foltos	-	+	V; L+V	L; L-V	SK	-	a makroszkóposan barna színű a sok inclusion trail okozza

FI: Fluidumzárvány, vékony ikerlemez: 10-15 µm, vastag ikerlemez: 20-30 µm, L: folyadék, V: gőz/gáz, SK: sárgásék, VK: világosék, ÉK: élénkkék, n: a mérések száma

gerjesztés hatására jelentkező zavaró fluoreszcenciáját elkerülendő. A berendezés alkalmas egy tetszőleges szakasz mentén, azonos távolságban elhelyezkedő pontokból, az UV gerjesztés hatására jelentkező fluoreszcens emisszió spektrumainak felvételére. A vizsgálat során az észlelési vonalat úgy választottuk meg, hogy keresztülhaladjon az egész zárványon. A detektálási pontok közötti távolságot az adott zárvány méretének függvényében határoztuk meg. Az észlelés során Olympus UMNU2 szűrőkockát használtunk (gerjesztő szűrő 420–480 nm, emisszió szűrő 520IF, dikromatikus tükör 500 nm). Az adatok kiértékelését Microsoft Excel szoftver segítségével végeztük.

A mérés során minden zárványból egy, a zárványt teljes szélességében átmetsző egyenes mentén kb. 100 spektrumot vettünk fel. A jel-zaj arány optimalizálása érdekében a felvett spektrumok közül a legnagyobb intenzitásút választottuk ki, majd ezeket használtuk fel a különböző zárványtípusok fluoreszcens tulajdonságainak összehasonlítása során.

A mellékkőzet diszperz szerves anyagának tipizálása érdekében vizuális kerogén analízist, a szerves anyag érettségének megállapítására vitrintreflexió méréseket végeztünk az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben, mikrofotométerrel felszerelt Leica DMRX-MPV-SP optikai mikroszkóppal. A mérésekhez két darab polírozott felületi csiszolatot használtunk. A mérések 50-szeres nagyítású olajimmerziós objektív használatával történtek ráeső fehér fényben és kék gerjesztő mellett (420–490 nm; emisszió szűrő 515 nm). Az immerziós olaj törésmutatója szobahőmérsékleten 1,518. A standardnak használt üvegprizma olajban mért reflexiója $R_o\% = 0,683$. Az ISO 7404 szabvány szerint végzett vitrintreflexió mérésnél a $R_o\%$ a mérőlegezen ráeső, nem polarizált fény macerálról történő visszaverődésének mértékét fejezi ki (R = reflexió, o = olaj) a standardon mérhető képet. A vizsgálatok 546 nm-es (zöld), normál, nem poláros fényben és gerjesztő kék fényben történtek.

A teljes kőzetből készített, polírozott felületű mintákat epoxy gyantába (ARALDIT AY 103 és REN HY 956 5:1 arányú keveréke) ágyaztuk, amit csiszolás és polírozás követett.

A diszperz szerves anyag összetételének megadásához és ezen keresztül a szerves mikrofácies meghatározásához macerál elemzést végeztünk a polírozott felületen pásztázással, legalább 300 ponton TAYLOR et al. (1998) módszere alapján.

Eredmények

Petrográfiai és mikrotermometriai vizsgálatok

Szöveti-morfológiai vizsgálatok alapján hatféle kalcitertípust különítettünk el (II. táblázat), melyeket minden esetben vasmentes kalcit alkot. A legnagyobb tömegben a fehér tömeges megjelenésű kalcitér fordul elő (Cal_{wm}); felszínén esetenként, szürke színű, fenn-nőtt, 1–5 mm

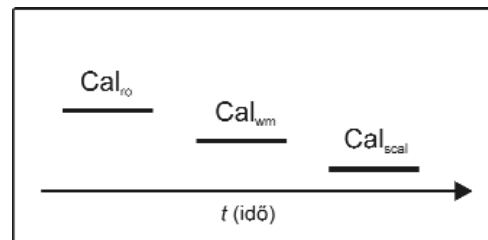
II. táblázat. A pécsváradai feltárásból leírt értípusok és az elnevezések rövidítései.

Table II. Vein types from the Pécsvárad quarry and their abbreviations

Értípus	Jelölés
Sötétbarna tömeges	Cal_{bm}
Fehér aprószemcsés	Cal_m
Fehér tömeges	Cal_{wm}
Szürke, fennőtt szkalenoédes	Cal_{scal}
Szürke tömeges-szemcsés	Cal_{gm}
Fehér, fennőtt romboédes	Cal_{ro}

méretű szkalenoédes kristályok (Cal_{scal}) tömegét lehet megfigyelni. A Cal_{wm} jellegű erek vastagsága 2–3 cm-től 15–20 cm-ig terjed. Szintén gyakoriak a sötétbarna, pár mm-től 1–2 cm szélességű, elvékonyodó, tömeges kalciterek (Cal_{bm}). Elvértve fordul elő a 2–3 cm szélességű, szürke színű, tömeges-szemcsés kalcitér (Cal_{gm}), mely mind makroszkóposan, mind mikroszkóposan kaotikus szöveti képet mutat. Csupán egy-egy helyen előbukkanó értípus a fehér, fenn-nőtt, romboédes (Cal_{ro}) és a fehér, aprószemcsés kalcitér (Cal_m), melyek vastagsága, ill. a fenn-nőtt értípus esetében a kristályok nagysága 4–5 mm. A Cal_{ro} és a Cal_{wm} metsződési viszonya alapján a Cal_{ro} ér a fiatalabb. Néhány esetben a repedésekben együtt jelenik meg több értípus is, ami a tipizálást és a korrelálást megnehezítette. Terepi vizsgálatokkal az erek keletkezési sorrendjéről csupán annyit lehetett megállapítani, hogy a legidősebb a Cal_{ro} , amit a Cal_{wm} , majd a Cal_{scal} típusú erek képződése követett (3. ábra).

A hat értípusból összesen 14 mintán végzett mikroszkópos vizsgálatok eredményét az I. táblázat foglalja össze. A kalciterekből készült vékonycsiszolatokat mikroszkóp alatt vizsgálva szembevető a kalcitszemcsék erős ikerlemezesége. Az ikerlemezeket három típusba lehet sorolni (vékony, vastag és foltos), hasonlóan a BURKHARD (1993) által kialakított típusokhoz, azonban az általunk vizsgált ikerlemezek szélességtartományai jelentősen eltérnek ettől. A vékony ikerlemezek szélessége 10–15 μm körüli (BURKHARD 1993: 1 μm körüli), míg a vastag iker-



3. ábra. Három értípus keletkezésének egymáshoz viszonyított sorrendje (rövidítések a II. táblázat szerint). A többi kalcit értípus esetén a keletkezés sorrendjét a kölcsönös metsződési viszonyok alapján nem lehetett rekonstruálni

Figure 3. Relative sequence of the formation of three calcite vein types (for the abbreviations see Table II). The relative sequence of the other vein types could not be determined based on the cross-cutting relationships

lemezek szélessége a 125 μm -t is elérheti (BURKHARD 1993: 1 μm felett). Ívesen hajló ikerlemezek is előfordulnak (I. tábla, a ábra).

Egyes mintákban (I. táblázat) a mellékkőzet mentén szilárd zárvány (crack-seal) mechanizmus nyomaként szilárdzárvány-szalagok (crack-seal band, KOEHN & PASSCHIER 2000) figyelhetők meg (I. tábla, b ábra). KOEHN & PASSCHIER (2000) szerint az ezzel a mechanizmussal képződött erek repedések ismétlődő felnyílásával alakulnak ki, amelyek — az érkitöltő ásvány kiválása révén — azonnal beforrnak. A szilárdzárvány-szalagok a mellékkőzet anyagát tartalmazzák és párhuzamosak egymással, valamint a repedés falával, egyúttal annak morfológiáját is követik.

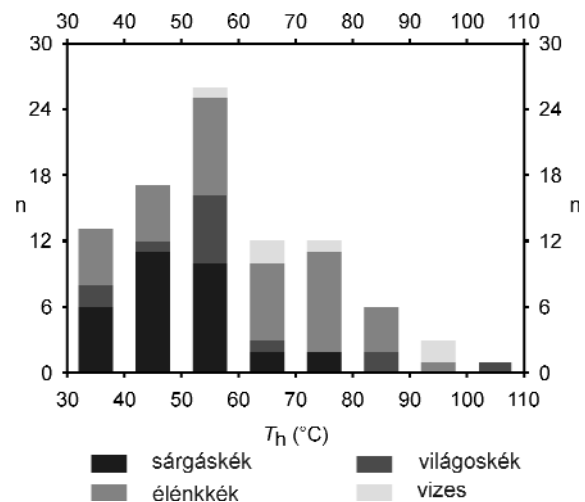
Az Cal_{wm} erekben egymással és a repedés falával párhuzamosan szilárdzárvány-sorok (inclusion trail, KOEHN & PASSCHIER 2000, I. tábla, c ábra) figyelhetők meg, melyek szintén a mellékkőzet anyagát tartalmazzák, a repedésfal morfológiáját azonban nem követik.

A PV-9 jelű, Cal_{wm} - Cal_{bm} típusú ér (I. táblázat) közep-vonalában sztilolitos felszínnel elválasztott fehér színű kalcitér (Cal_{wm}) húzódik. E felszín egyik oldalán mikropátos megjelenésű a kalcit, míg a sztilolitos felszín másik oldalán megnyúlt tömbös. A növekedés irányába a szemcsék kiszélesednek, ami növekedési versenyre utal (BONS 2000) (I. tábla, d ábra). Az ér szélén a barna színű kalcit (Cal_{bm}) tömbös habitusú.

Petrográfiai vizsgálatokkal a fluidumzárványoknak alapvetően két, víz-, ill. szénhidrogén-domináns típusát lehetett elkülöníteni. A leírt fluidumzárványtípusokat az I. táblázat tartalmazza. Számos esetben a zárványok kis mérete miatt nem lehet meghatározni a fázisokat. Mind a vizes-, mind a CH-zárványok lehetnek egyfázisúak (L, V), ill. kétfázisúak (L+V, L_1+L_2) [L (liquid) = folyadék, V (vapor) = gőz/gáz, L_1, L_2 = CH-domináns fluidum, ill. víz]. Az egyes mintákban (I. táblázat) talált nem fluoreszkáló, amorf, szilárd zárványok eredete kérdéses (I. tábla, e ábra).

A CH-zárványok esetében UV-gerjesztés alatt vizuálisan három fluoreszcens színt lehet megfigyelni: sárgás-kéket, világoskékét és élénkkékét (I. tábla, f ábra). A három színt nem lehet minden mintában együttesen megfigyelni. A legtöbb mintában a zárványok bősége, kis mérete és kaotikus elrendeződése miatt gyakran nehéz az eredetük meghatározása. A CH-zárványegyüttesek minden esetben másodlagosak, míg a szilárd zárványok elsődlegesnek tekinthetők. A zárványok legnagyobb részét az egyfázisú (L), elsődleges vizes zárványok adják. Az egyes minták fluidumzárvány-típusait az I. táblázat összegzi.

Mikrotermometriai vizsgálatokat két értípusból, három mintán (Cal_{wm} : PV-10, PV-203 és Cal_{bm} : PV-5) végeztünk. A végső jégolvadás hőmérsékletét a zárványok kis mérete, illetve a fluidum metastabil állapota miatt nem lehetett meghatározni. Mintánként egy FIA-ba tartozó CH-zárványok és a vizes zárványok homogenizációs hőmérsékletét (T_h) határoztuk meg a CH-zárványok csapdázódási hőmérsékletének becsléséhez. Az összes fluidumzárvány homogenizációja a folyadékfázisba történt (L+V→L). Vizes zárványok esetében előfordult, hogy a fluidumzárványokat



4. ábra. A vizes- és a CH-zárványok mikrotermometriával meghatározott homogenizációs hőmérsékleteinek (T_h) megoszlása a CH-zárványok fluoreszcens színe szerint

Figure 4. Distribution of the homogenisation temperature values obtained by microthermometric measurements of aqueous and hydrocarbon-bearing FIs of different fluorescence colours (sárgás-kék: yellowish blue, világoskék: light blue, élénkkék: vivid blue; vizes: aqueous)

jelentősen a T_h alá visszahűtve sem nukleálódott újra buborék. A mérési eredményeket mintánként az I. táblázat összegzi. Az élénkkék CH-zárványok T_h -ja 35–94 °C, a sárgás-kék 30–84 °C, valamint a világoskék CH-zárványok T_h -ja 35–100 °C közé esik. A CH-zárványegyüttesel egygenerációs vizes zárványok T_h értékei 58 °C és 102 °C közé esnek. A homogenizációs hőmérsékletek megoszlását az 4. ábra mutatja.

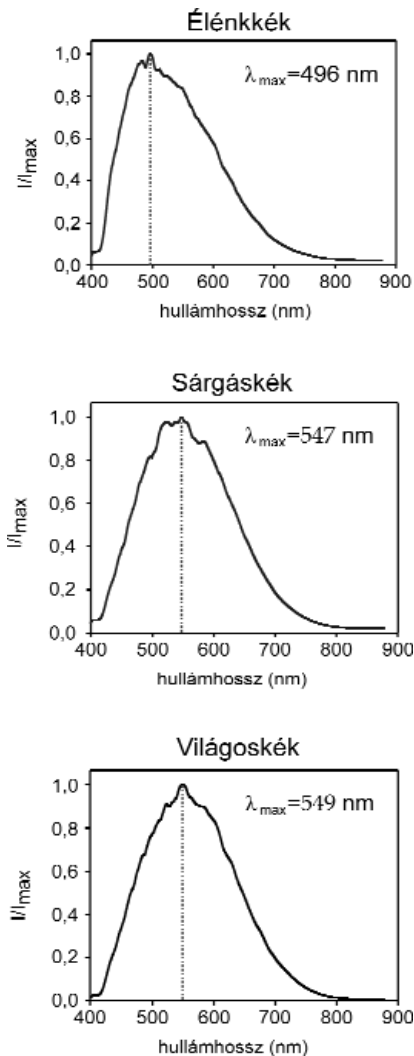
UV-fluoreszcens mikrospektroszkópia

A méréseket a PV-10 jelű, fehér, tömeges megjelenésű kalcitból (Cal_{wm}) végeztük, mivel ebben a mintában egymáshoz közel található a három különböző színű CH-zárványegyüttes (világoskék, élénkkék és sárgás-kék, I. tábla, f ábra), s az eltérő színű FIA-k jól elkülönülnek egymástól. A mérések eredményeként kapott spektrumokon nem fedezhető fel lényeges különbség a világoskék ($\lambda_{\text{max}}=549$ nm) és a sárgás-kék ($\lambda_{\text{max}}=547$ nm) zárványok között, de az élénkkék fluoreszcens színű zárványokból kapott spektrum ($\lambda_{\text{max}}=496$ nm) kékeltoledást mutat (5. ábra).

Vizuális kerogén analízis és vitrinitreflexió mérés

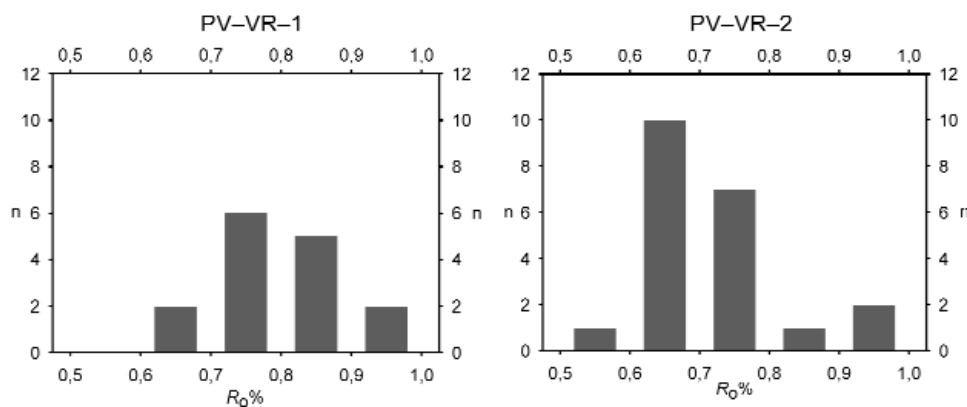
A vizsgált feltárásból két márgamintán végeztünk vizuális kerogén elemzést és vitrinitreflexió-méréseket.

A vizsgált mintákban a vitrinit típusú macerálok közül a telinitet lehetett megkülönböztetni megnyúlt formája, szürke színe és sima felülete révén, mely a szerves anyagnak kb. 5%-át teszi ki. A szemcsék mérete általában 10–50 μm között változik.



5. ábra. Három jellemző fluoreszcens színű fluidumzárvány spektruma a hullámhossz (λ , [nm]) és az intenzitás (I/I_{\max}) függvényében ábrázolva

Figure 5. The UV-fluorescence spectra of the FIs of the three characteristic fluorescence colours illustrated in the function of the wavelength (λ , [nm]) and the intensity (I/I_{\max})



6. ábra. A mellékzétből vett két minta (PV-VR-1, PV-VR-2) vitrinitreflexió méréseiből kapott értékek ($R_o\%$) megoszlása (PV-VR-1: $n=15$; átlag=0,79; szórás: $\sigma=0,08$; PV-VR-2: $n=19$, átlag=0,69; szórás: $\sigma=0,08$)

Figure 6. Frequency histograms of the vitrinite reflectance values ($R_o\%$) of the two measured samples (PV-VR-1 & PV-VR-2) (PV-VR-1: $n=15$; mean=0.79; standard deviation: $\sigma=0.08$; PV-VR-2: $n=19$, mean=0.69; standard deviation: $\sigma=0.08$)

A szerves anyag további 80–90%-át kitevő lipitinek a vitrinitekhez viszonyított alacsonyabb reflexiójuk és a gerjesztő kék fény hatására jelentkező okkersárga fluoreszcens színük alapján különíthetők el. Nagy mennyiségben fordul elő kis szemcseméretű lipitint, lipitodetrinit, mely döntően planktoni eredetű alginít. A lipitinek között erős fluoreszcenciájú telalginít, alacsony reflexiójú, gyenge barna fluoreszcenciájú és diffúz barnásszürke amorfinít, valamint enyhe vöröses színű belső reflexú rezinit is meghatározható.

A vizsgált mintákban az inertitinek csoportjába tartozó macerálok a szerves anyagnak kb. 5–10%-át teszik ki, méretük 20 μm körüli.

A két minta szerves anyagát II. típusúnak lehet tekinteni. A márga diszperz szerves anyagán végzett vitrinitreflexió mérések eredményként a PV-VR-1 jelű minta esetén 15 mérés alapján $R_o\%=0,79$ átlagértéket ($\sigma=0,08$), a PV-VR-2 esetén 19 mérés alapján $R_o\%=0,69$ kaptunk ($\sigma=0,08$). A két mérés hisztogramját a 6. ábra mutatja.

Diskusszió

A repedésrendszerben migrált fluidumok jellemzése

A kalciterekben csapdázódott szénhidrogén-domináns fluidum arra enged következtetni, hogy a repedésrendszer szénhidrogén-migrációs útvonalként szolgált (MUNZ 2001). A szürke, tömeges-szemcsés típusú éren kívül az összes vizsgált értípus esetén az olaj egyértelműen másodlagos zárványok formájában van jelen a kalcitkristályokban. Ennek migrációja az erek kialakulását követően, mikrorepedések mentén zajlott. Erre enged következtetni az is, hogy a CH-zárványsíkok a deformációs elemeket keresztezik (pl. alszemcséket, sztilolitos felszínt, szilárdzárvány-sorokat és -szalagokat).

A fluoreszcens szín elsősorban a szénhidrogén-fluidum kémiai összetételétől függ (BERTRAND et al. 1986), ezért feltehetőleg a két eltérő színű olaj összetétele különböző. Lehetséges, hogy különböző anyagokból származnak,

más az értettségük, vagy a csapdázódás során változott a kémiai összetételük (MCLIMANS 1987, KIHLE 1995, BLANCHET et al. 2003). A kémiai összetételt továbbá befolyásolhatja még a vízzel való átmosás és a biodegradáció is (GEORGE et al. 2001). Csapdázódás során fracionálódás hatására is változhat a fluidumok összetétele (GEORGE et al. 2001, BLANCHET et al. 2003). PIRONON & BOURDET (2008) szerint az ásványban létrejövő nanorepedések kapillárisként működve felelősek lehetnek a fluoreszcenciát okozó kromofor vegyületek elkülönüléséért, ezért egy FIA-ban megjelenhetnek egyszerre sárga és kék fluoreszcens színű CH-zárványok is, melyek azonban ugyanabból a fluidumból záródtak be. Mivel a homogenizációs hőmérsékletek alapján nem különülnek el az eltérő fluoreszcens színű CH-zárványok, arra lehet következtetni, hogy mikroszintű szételegyedés (fracionáció) okozhatta a különböző fluoreszcens szín létrejöttét. Tehát az eltérő fluoreszcens színű CH-zárványok feltételezhetően azonos fluidumból záródhattak be.

Az éretlen olajok UV-gerjesztés hatására rendszerint a vörös-sárga tartományban emittálnak, míg az érettebbek fluoreszcens színe a kék tartomány felé tolódik (KIHLE 1995). A vizuálisan is megfigyelt kék fluoreszcens szín, illetve az UV-fluoreszcens mikrospektroszkópiai mérések eredményeként kapott spektrumok viszonylag érett olajra utalnak. Azonban OXTOBY (2002) szerint kékes fluoreszcens szín tapasztalható a kromofor vegyületekben szegény anyagokból képződött olajokban, alacsony termikus érettség mellett is. A kérdés eldöntéséhez molekuláris geokémiai vizsgálatok elvégzése szükséges.

Mivel néhány zárvány esetén megfigyelhető, hogy egy zárványon belül víz és olaj is megjelenik, megállapítható, hogy a CH valószínűleg heterogén fluidumból záródott be.

A kétfázisú CH-zárványokban a gáz- és a folyadékfázisok aránya, valamint a fázisviselkedések alapján lehet az olaj típusára következtetni. Az összes mért CH-zárványban szobahőmérsékleten a folyadékfázis térfogataránya a magasabb, és alacsony hőmérsékleten (100 °C alatt) homogenizálódnak a folyadékfázisba (L+V→L), ami alapján — GRIMMER et al. (2003) megfigyeléseivel összevetve — a csapdázódott CH könnyű olaj lehet.

A CH-zárványokkal egyidős vizes zárványok T_h -ja magasabb (58–102 °C), mint a CH-zárványoké (30–100 °C), ami a folyékony szénhidrogének vízhez viszonyított nagyobb kompresszibilitásából fakad (BURRUSS 1981). TSENG & POTTORF (2002) szerint ez a különbség a T_h -ban a CH-zárványok bezáródáskori metán alulteltettséget jelzi. Ez a T_h -beli különbség arányos az alulteltettség fokával (TSENG & POTTORF 2002).

A CH-zárványokkal egyidejűleg bezáródott vizes zárványok MUNZ et al. (2004) vizsgálatai alapján mindig tartalmaznak bizonyos mennyiségű metánt. HANOR (1980) szerint ebben az esetben a vizes zárványok bezáródási hőmérséklete (T_{trap}) a T_h -jánál 5–10 °C-kal nagyobb. Ezek alapján a csapdázódás hőmérséklete 65–110 °C lehetett.

A HMF szerves anyagának jellemzése

A szerves anyag, illetve az azt felépítő macerálok vizsgálata hozzájárulhat az üledékképződési környezet jellegének meghatározásához (TISSOT & WELTE 1984, TAYLOR et al. 1998). A vizsgált minták diszperz szerves anyagában uralkodó liptinitet alginit, feltehetőleg planktoni eredetű liptodetrinit, valamint amorfinit alkotja. Az amorfinit valószínűleg algák és zooplanktonok bakteriális bomlásterméke (TAYLOR et al. 1998). Ezek alapján tengeri üledékképződési környezet feltételezhető, azonban alárendelt mennyiségben a mintákban vitrinit, inertinit és rezinit, azaz szárazföldi eredetű szerves anyag is található. A vitrinitek közül a telinitet azonosítottuk, mely a magasabb rendű szárazföldi növények sejtfalából őrződik meg (TAYLOR et al. 1998). A liptinitek közül a mintákban található rezinit is, melynek szintén szárazföldi eredetre utaló fő prekursorai valószínűleg a gyanták és a viaszok (TAYLOR et al. 1998). Mivel ezek mennyisége alárendelt a tengeri eredetű szerves anyaghoz képest, olyan tengeri üledékképződési környezet feltételezhető, amely viszonylag közel volt a szárazföldhöz. Ez alapján a kerogén típusa kevert, főleg II. típusú (tengeri eredetű), de III. típusú (szárazföldi eredetű) kerogén is hozzájárul a szerves anyag összetételéhez. Ez a megállapítás összhangban van RAUCSIK et al. (2002) által a márga szerves anyagából Rock-Eval pirolízis alkalmazásával, valamint biomarker elemzéssel meghatározott kerogéntípussal.

RAUCSIK et al. (2002) a Keleti-Mecsekben a felszínen is megjelenő alsó-jura kőzetekben a kén/teljes szerves szén arányát (S/TOC) vizsgálták, amely az alsó-pliensbachi kőzetekre 0,4-es értéket adott, ami normál tengeri környezetet jelöl.

A macerálok kémiai és fizikai tulajdonságai széles skálán változnak, amely változásokban jelentős szerepet játszik a növekvő érettség. Ez teszi lehetővé a vitrinit reflexióképességének meghatározásával az érettségi állapot megbecslését (TISSOT & WELTE 1984). A betemetődés, termikus érés során a vitrinit optikai tulajdonsága az elszennvedett hőimpulzussal arányosan egyenletesen változik, ami a reflexió lineáris növekedését eredményezi. A vitrinit reflexióképessége a gyengébb mállási folyamatok hatására nem változik jelentős mértékben (TAYLOR et al. 1998), ami kiemelkedő fontosságú, mivel a vizsgált minták a felszínről származnak. A csiszolatban észlelt pirit framboidok általában épnek mutatkoztak, ami a szerves anyag jó megőrzöttségét támasztja alá.

A reflexió értékek alapján a kőzet eljutott az olajképződés szakaszába (az olajablak a szerves anyag típusától függően TISSOT & WELTE (1984) alapján $0,5-0,7\% < R_o < 1,3\%$ közé esik).

A szerves anyag érettségére a liptinitek fluoreszcens színe alapján is lehet következtetni. A látható fluoreszcencia aromás szerkezetek, valamint nitrogén-, kén- és oxigéntartalmú (NSO-) vegyületek jelenlétét jelzik (BERTRAND et al. 1986, STASIUK & SNOWDON 1997). A kerogén evolúciója

során csökken a fluoreszcencia intenzitása, mivel az érés során a kerogénből elsősorban az alifás szerkezeti elemek távoznak el, ennek megfelelően az aromás szerkezeti elemek viszonylagosan feldúsulnak a kerogénben (BERTRAND et al. 1986). Ebből következik, hogy a szerves anyag fluoreszcenciája az éretlen kőzetekben a legintenzívebb és folyamatosan csökken a katagenezis során, s az olajablak aljára teljesen megszűnik. A katagenezis során az UV-gerjesztés hatására kibocsátott fény hullámhossza a vörös irányába tolódik el (TISSOT & WELTE 1984). Az általunk vizsgált liptinit okkersárga fluoreszcens színe szintén arra utal, hogy a szerves anyag elért az olajképződés szakaszába, ami összhangban van a RAUCSIK & VARGA (2008) által meghatározott T_{\max} értékekkel (~443 °C), ill. a RAUCSIK et al. (2002) által végzett biomarker vizsgálatok eredményeivel is.

A maximális felfűtés hőmérséklete

Az érettségi paraméterek (pl. a vitrinitreflexió) vizsgálatának célja a maximális felfűtés hőmérsékletének meghatározása, amely a kőzetet a betemetődés során érte. BARKER & PAWLEWICZ (1994) vitrinitreflexió értékek segítségével felállított egyenlete alapján megbecsülhető a kőzetet ért maximális hőmérséklet (T_{peak}). A módszert VRG-nek, azaz vitrinitreflexió geotermométernek nevezték el.

A T_{peak} -et a következő képlet segítségével határozták meg (1):

$$T_{\text{peak}} = \frac{(\ln R_0\% + 1,68)}{0,0124} \quad (1)$$

ahol $R_0\%$ a macerálra merőlegesen ráeső nem polarizált fény visszaverődésének mértéke egy standardhoz viszonyítva. Ezek alapján az átlagos reflexió értékekből a PV-VR-1 és PV-VR-2 mintákra a következő T_{peak} értékek adódtak:

$$\text{PV-VR-1: } R_0\% = 0,79 \quad T_{\text{peak}} = 117 \text{ °C} \quad (2)$$

$$\text{PV-VR-2: } R_0\% = 0,69 \quad T_{\text{peak}} = 106 \text{ °C} \quad (3)$$

A kapott hőmérsékleti értékeket azonban tájékoztató jellegűnek kell tekintenünk, mivel a felfűtés fokát a helyi viszonyok (pl. geotermikus provincia) befolyásolják, illetve a legmélyebb betemetődés hőmérsékletét későbbi magmás folyamatok felülírhatják.

A szemektit \rightarrow illit átalakulás hőmérsékletfüggése miatt az átalakultságból is következtetni lehet a vizsgált összletet ért maximális hőmérsékletre (T_{peak}) (VICZIÁN 1994). RAUCSIK & VARGA (2008) VICZIÁN (1994) módszerével a maximális hőmérsékletet (T_{peak}) a Hosszúhetényi Mész márga esetében — 15 minta vizsgálatára alapján — 130–150 °C-ra becsülték. Ez a hőmérsékleti intervallum 13–44 °C-kal magasabb a VRG-vel kapott hőmérsékletnél, ezért a két módszer szolgáltatotta T_{peak} -ek közötti különbség igazolása, illetve pontosítása további minták vitrinitreflexió méréseinek elvégzését teszi szükségessé.

A repedésrendszerben csapdázódott szénhidrogén forrása

A zárványokban csapdázódott olaj anyakőzeteként öt mezozoos képződmény merült fel: a Kantavári Formáció, a Mecseki Kőszén Formáció (MKF), a Vasasi Márga Formáció, az előzőleg tárgyalt HMF és az Óbányai Aleurolit Formáció, melyek a középső-jura-kora-kréta idején kerülhettek az olajgenerálódás fő fázisába (HORVÁTH et al. 1982). A középső-triász korú Kantavári Formáció szárazföldi eredetű, kiédesedett lagúnában felhalmozódott szerves anyagot tartalmaz (MONOSTORI 1996), amely ezért inkább gáz anyakőzetként valószínűsíthető (TISSOT & WELTE 1984). Lehetséges anyakőzetként felmerülhet az olajképződés fő fázisában álló alsó-jura Mecseki Kőszén Formáció liptinitben gazdagabb része is, azonban a kőszének olaj-szénhidrogén generáló potenciálja alacsony (TISSOT & WELTE 1984), főleg gáz képzésére alkalmas, valamint a Mecseki Kőszén Formációban a liptinitben gazdag (főleg sporinit tartalmú) rétegek aránya a teljes összletben alárendelt (PAÁLNÉ 1956, 1969). Az MKF fedőösszlete (Vasasi Márga Formáció) TOC tartalma 0,9%, szerves anyag típusa azonban III-as, tehát elsősorban gáz-anyakőzet (BADICS & VETŐ 2012). RAUCSIK et al. (2002) a Keleti-Mecseki, alsó-jura képződmények szervesanyag-típusát és mennyiségét vizsgálva megállapították, hogy a foltos márga egyes részei — mint például az általunk is vizsgált pécsváradi felhagyott kőfejtőben fellelhető HMF is — érett szerves anyagot tartalmaznak. Az alsó-toarci Óbányai Aleurolit Formáció részét képező Réka-völgyi feketepala nagy mennyiségű szerves anyagot tartalmaz, mely azonban a vizsgált mintákban éretlen, tehát nem képződhetett belőle olaj (RAUCSIK et al. 2002). BADICS (2001) és BADICS & VETŐ (2012) a Mecsek északi előterében mélyített fúrások alapján modellezték az említett kőzetek termikus érettségét. BADICS & VETŐ (2012) megállapították, hogy az általuk vizsgált mecseki területek többségében a kora-jura korú képződmények a kréta során eljutottak az olajablakba, tehát ekkor produkálhattak olajat.

Mivel kréta korú alkáli-bazalt szubvulkáni telérek nagy gyakorisággal fordulnak elő a Keleti-Mecsek területén, s azok szénülésre való hatását több helyen megfigyelték az alsó-liász kőszenes összletben, feltételezhető, hogy hőhatása előidézhette a CH-generációt nemcsak a kőszenes összletben, hanem esetleg a többi összletben is. Ugyanakkor a mecseki kőszénösszletet érintő vizsgálatok kimutatták, hogy az alkálibazalt-telérek szénülésfok növelő hatása inkább lokális (NÉMEDI VARGA 1995), ezért CH-generáló szerepét alárendeltnek tekintjük. NÉMEDI VARGA (1995) szerint a szénülésfok növekedésére a mecseki kőszén-területeken a legnagyobb hatással az alpi orogenezis kréta (ausztriai, ill. szubhercini) orogén fázisainak kompressziós hatása lehetett, amelyre a szerkezeti elemekhez köthető szénülésfok-növekedésből következtettek (a redőződést okozó irányított nyomás fokozza a szénülést). A fentiek alapján megállapították, hogy a mecseki kőszén szénülése főként színorogén folyamat lehetett (NÉMEDI VARGA 1995).

A tektonikai hatások eredményeként létrejött törésrendszer migrációs útvonalat biztosított a szénülés során keletkező szénhidrogéneknek. Ezek alapján tehát elképzelhető, hogy a HMF repedésrendszerében jelenlevő szénhidrogén a Mecseki Kőszénből származik. Ugyanakkor az imént tárgyalt folyamatok a többi összetételben is kiválthatták a CH-generációt hasonló módon.

Az öt felmerült lehetséges anyakőzet közül azonban olajmigráció szempontjából a MKF mellett szerintünk a HMF a leginkább valószínűsíthető anyakőzet a szerves anyag típusa (II–III. típus) és közelsége miatt. A HMF szerves anyag tartalma anyakőzet szempontból ugyan viszonylag alacsony (~0,4% TOC), de kedvező típusú, mely az olajablak kezdeti fázisáig ért csupán el ($R_o\%=0,73$), így a maximális felfűtés során csak korlátozott mennyiségű szénhidrogén képződhetett, ami csak rövidebb migrációra volt képes. Ezekből következően feltételezhető, hogy a CH-generáció és a migráció a maximális felfűtéssel nagyjából egy időben folyhatott. A mecseki kőszénösszetétel szénülési tendenciái alapján a maximális felfűtést és a CH-generációt a HMF esetében is szinorogénnek tekinthetjük, mely összhangban van mind NÉMEDI VARGA (1995), mind BADICS & VETŐ (2012) vizsgálati eredményeivel.

A zárványokban található olaj, illetve az említett kőzetek szerves anyagának molekuláris geokémiai módszerekkel történő vizsgálata deríthetne fényt arra, hogy valóban ezen képződmények valamelyike volt-e a kimutatott olajnyomok forrása, vagy máshonnan származik a HMF repedésrendszerében migrált olaj.

Következtetések

A pécsváradai kőfejtőben feltárt összetétel kalcittal cementált repedésrendszer járja át. Szöveti-morfológiai alapon hatféle kalcitértípust különítettünk el. A hat értípus közül

három esetben sikerült az egymáshoz viszonyított képződési sorrendet rekonstruálnunk (3. ábra). Az erekben másodlagos fluidumzárványokban csapdázódott CH-domináns fluidum alapján a repedésrendszer migrációs útvonalként szolgált a múltban. A CH-zárványok esetén vizuálisan három fluoreszcens szint figyeltünk meg, ami felvetette a lehetőségét, hogy több forrásból származik a zárványokban csapdázódott CH. UV-fluoreszcens mikrospektroszkópiai mérések alapján azonban megállapítottuk, hogy maximum két CH-típus lehet jelen a rendszerben és az eltérő fluoreszcens szint okozó kémiai összetételbeli különbség is valószínűleg inkább a mikroszintű frakcionációnak tudható be, mint az eltérő eredetnek. A vizuálisan megfigyelt kék fluoreszcens szín, illetve a spektrumok, valamint a mikrotermometriai megfigyelések alapján a zárványokban csapdázódott CH érett, könnyű olaj lehet, mely 65 és 110 °C közötti hőmérsékleten záródott a repedéskitöltő kalcitba.

A HMF szerves anyagának vizsgálatai alapján igazoltuk a szárazföldhöz közeli tengeri eredetet (II–III. típusú kerogén). A vitrinitreflexió-értékek és a lipitint okkersárga fluoreszcens színe alapján megerősítettük, hogy a szerves anyag eljutott az olajképződés szakaszába (olajablak).

Mivel a CH-migrációs pályaként szolgáló repedésrendszert magába foglaló kőzettest (HMF) az olajgenerációhoz elegendő mennyiségű érett, II–III. típusú szerves anyagot tartalmaz, feltételezzük, hogy a HMF lehet a zárványokban csapdázódott CH anyakőzete.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki GYURCSÁNYI Róbertnek az UV-fluoreszcens mikrospektroszkópiai mérések során nyújtott segítségért. Köszönjük továbbá KONCZ Istvánnak és VETŐ Istvánnak a kézirat gondos áttekintését, hasznos észrevételeiket és tanácsaikat.

Irodalom — References

- BADICS, B. 2001: Subsidence, thermal and maturity modelling of the Northern Foreland of the Mecsek Mountains (Oil and gas potential of the Mesozoic formations) — *European Union of Geosciences, EUG XI, Journal of Conference Abstracts* **6**, 246.
- BADICS, B. & VETŐ, I. 2012: Source rocks and petroleum systems in the Hungarian part of the Pannonian Basin: The potential for shale gas and shale oil plays. — *Marine and Petroleum Geology* **31**, 53–69.
- BARKER, C. E. & PAWLEWICZ, M. J. 1994: Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures. In: MUKHOPADHYAY, P. K. & DOW, W. G. (eds): Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter. Applications and Limitations. — *ACS Symposium Series* **570** Chap. 14, 216–229.
- 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.
- BONS, P. D. 2000: The formation of veins and their microstructures. — In: JESSEL, M. W. & URAI, J. L. (eds): Stress, Strain and Structure, A volume in honour of W. D. Means. — *Journal of the Virtual Explorer* **2**.
- BURKHARD, M. 1993: Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. — *Journal of Structural Geology* **15**, 351–368.

- BURRUS, R. C. 1981: Hydrocarbon fluid inclusions in studies of sedimentary diagenesis. — In: HOLLISTER, L. S. & CRAWFORD, M. L. (Eds.) Short Course in Fluid Inclusions: Application to Petrology — *Mineralog. Assoc. of Canada Short Course Handbook* **6**, 138–156.
- CSÁSZÁR G. 1997: *Magyarország litosztratiográfiai alapegységei*. — MÁFI, Budapest, 114 p.
- CSONTOS, L., BENKOVICS, L., BERGERAT, F., MANSY, 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* **375**, 81–102.
- EVAMY, B. D. 1963: The application of a chemical staining technique to a study of dedolomitization. — *Sedimentology* **2**, 164–170.
- 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.
- GRIMMER, J. O. W., PIRONON, J., TEINTURIER, S. & MUTTERER, J. 2003: Recognition and differentiation of gas condensates and other oil types using microthermometry of petroleum inclusions. — *Journal of Geochemical Exploration* **78–79**, 367–371.
- HAAS, J. 2001: *Geology of Hungary*. — Eötvös University Press, Budapest, 317 p.
- HANOR, J. S. 1980: Dissolved methane in sedimentary brines: potential effect on the PVT properties of fluid inclusions. — *Economic Geology* **75**, 603–617.
- HETÉNYI R. 1966: A mecseki középsőliász tagolása. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1964. évről*, 23–27.
- HORVÁTH I., ÓDOR L., DUDKO A., DARIDÁNÉ TICHY M. & BIHARI D. 1982: A Mecsek–Villányi-hegység és környéke szénhidrogén-földtani értékelése. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1980. évről*, 229–242.
- KIHLE, J. 1995: Adaptation of fluorescence excitation-emission micro-spectroscopy for characterization of single hydrocarbon fluid inclusions. — *Organic Geochemistry* **23**, 1029–1042.
- KOEHN, D. & PASSCHIER, C. W. 2000: Shear sense indicators in striped bedding-veins. — *Journal of Structural Geology* **22**, 1141–1151.
- MCLIMANS, R. K. 1987: The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs. — *Applied Geochemistry* **2**, 585–603.
- MONOSTORI, M. 1996: Ostracods and charophytes from the Triassic Kantavár Formation, Mecsek Mts., Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **39/3**, 311–317
- MUNZ, I. A. 2001: Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications. — *Lithos* **55**, 195–212.
- MUNZ, I. A., WANGEN M., GIRARD, J.-P., LACHARPAGNE, J.-C. & JOHANSEN, H. 2004: Pressure-temperature-time-composition (P-T-t-X) constraints of multiple petroleum charges in the Hild field, Norwegian North Sea. — *Marine and Petroleum Geology* **21**, 1043–1060.
- NÉMEDI VARGA Z. 1995: A mecseki feketekőszén-telepek szénülési viszonyai. — *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből*. **VII**. A mecseki feketekőszén kutatása és bányaföldtana, 283–302.
- NÉMEDI VARGA Z. 1998: A Mecsek- és a Villányi Egység Jura képződményeinek rétegtana. — In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. — Mol Rt. és MÁFI kiadvány, Budapest, 326–327.
- OXTOBY, N. H. 2002: Comments on: Assessing the maturity of oil trapped in fluid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined fluorescence colours. — *Applied Geochemistry* **17/10**, 1371–1374.
- PAÁLNÉ Á. 1956: A komlóli liász kőszéntelepek átlagmintáinak kőszénközvetlen vizsgálata. — *MÁFI Évkönyv* **45/1**, 213–226.
- PAÁLNÉ Á. 1969: Szénközvetlen. In: NAGY, E.: A Mecsek hegység, Jura időszak. — *MÁFI Évkönyv* **51/2**, 407–515.
- 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.
- RAUCSIK, B. & MERÉNYI, L. 2000: Origin and environmental significance of clay minerals in the Lower Jurassic formations of the Mecsek Mts, Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **43/4**, 405–429.
- RAUCSIK, B. & VARGA, A. 2008: Climato-environmental controls on clay mineralogy of the Hettngian-Bajocian successions of the Mecsek Mountains, Hungary: An evidence for extreme continental weathering during the early Toarcian oceanic anoxic event. — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **265**, 1–13.
- RAUCSIK, B., VARGA, A., HARTYÁNYI, Z. & SZILÁGYI, V. 2002: Changes in facies, geochemistry and clay mineralogy of a hemipelagic sequence (Pliensbachian–Toarcian, Mecsek Mts., S Hungary) — A possible palaeoenvironmental interpretation. — *Geologica Carpathica Special Issues* **53**, (CD-Rom)
- SCHUBERT F., KÓTHAY K., DÉGI J., M. TÓTH T., BALI E., SZABÓ Cs., BENKÓ Zs. & ZAJACZ Z. 2007: A szakirodalomban használt fluidum- és olvadékszárnyokkal kapcsolatos kifejezések és szimbólumok szótára. — *Földtani Közlemények* **137/1**, 83–102.
- STASIUK, L. D. & SNOWDON, L. R. 1997: Fluorescence micro-spectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: crude oil chemistry, density and application to petroleum migration. — *Applied Geochemistry* **12/3**, 229–241.
- TAYLOR, G. H., TEICHMULLER, M., DAVIS, A., DIESSEL, C. F. K., LITKE, R. & ROBERT, P. 1998: *Organic petrology*. — Gebrüder Borntraeger, Berlin & Stuttgart 704 p.
- TISSOT, B. & WELTE, D. H. 1984: *Petroleum formation and occurrence*. — Springer-Verlag, New York, 699 p.
- TSENG, H.-Y. & POTTORF, R. J. 2002: Fluid inclusion constraints on petroleum PVT and compositional history of the Greater Alwyn—South Brent petroleum system, northern North sea. — *Marine and Petroleum Geology* **19/7**, 797–809.
- VARGA A., SZAKMÁNY Gy., RAUCSIK B., KEDVES M. & JÓZSA S. 2002: Eocén calcrete kavicsok a nyugat-mecseki miocén konglomerátumból. — *Földtani Közlemények* **132/1**, 57–82.
- VICZIÁN I. 1994. A szmektit-illit átalakulás függése a hőmérséklettől. — *Földtani Közlemények* **124/3**, 367–379.

Kézirat beérkezett: 2011. 09. 27.

I. tábla – Plate I.

a) Ívesen hajló ikerlemezek egy Cal_{bm} típusú kalcitérben. Normál áteső fény, keresztezett nikolok. — *Curved twin lamellae in a Cal_{bm} type calcite vein. Normal transmitted light, crossed polars.*

b) Aszilárdzárvány mechanizmus által létrehozott szilárdzárvány-szalagok (CBS: crack-seal band) és élénkkék fluoreszcens színű CH-zárványok egy Cal_{bm} típusú kalcitérben. Normál áteső és UV-fény, párhuzamos nikolok. — *Crack-seal bands (CBS) and vivid blue petroleum inclusions in a Cal_{bm} type calcite vein. Normal transmitted light with UV illumination, parallel polars.*

c) Egymással és a repedés falával is párhuzamosan megjelenő szilárdzárvány-sorok (it: inclusion trail) egy Cal_{bm} típusú kalcitérben. Normál áteső fény, keresztezett nikolok. — *Inclusion trails (it) in a Cal_{bm} type calcite vein parallel to each other and to the host rock wall. Normal transmitted light, crossed polars.*

d) Növekedési versenyt mutató, megnyúlt tömbös habitusú kalcitzemcsék (bc: blocky calcite) a Cal_{wm-bm} kompozit kalcitérben. A fekete nyíl a sztílolitos felszín (st), a fehér nyilak a szilárdzárvány-sorokat (it: inclusion trail) mutatják. Normál áteső fény, keresztezett nikolok. — *Growth competition between elongate blocky calcite grains (bc) in a Cal_{wm-bm} type composite calcite vein. The black arrow shows a stylolite (st), while the white arrows indicate the inclusion trails (it). Normal transmitted light, crossed polars.*

e) Kérdéses eredetű, nem fluoreszcens, amorf, szilárd zárványok (si: solid inclusion) egy Cal_{bm} típusú kalcitérben. Normál áteső fény, párhuzamos nikolok. — *Non-fluorescent, amorphous, solid inclusions (si) of unknown origin in a Cal_{bm} type calcite vein. Normal transmitted light, parallel polars.*

f) Világoskék (lb: light blue), sárgáskék (yb: yellowish blue) és élénkkék (vb: vivid blue) fluoreszcens színű CH-zárványok egy Cal_{wm} típusú kalcitérben. UV-fény. — *Petroleum inclusions of light blue (lb), yellowish blue (yb) and vivid blue (vb) fluorescence colours in a Cal_{wm} type calcite vein. UV illumination.*

