

## Toarci (alsójura) szervesanyagdús fekete pala a mecseki Réka-völgyben

Toarcian (Lower Jurassic) organic-rich black shale  
in the Réka Valley (Mecsek Hills, Hungary)

DULAI Alfréd, SUBA Zsuzsa és SZARKA András

(8 ábrával és 2 táblázzal)

### Összefoglalás

A mecseki Réka-völgyben kibukkanó alsótoarci fekete pala ammoniteszek (*Hildaites*) alapján a Falcifer Zónában rakódott le. A Jenkyns-modell alapján a képződményt az alsójura anoxikus esemény jól ismert nyugat-európai üledékeivel párhuzamosítjuk. A fekete palában lévő homokkőturbiditek nehézsásványai metamorf lehordási területre utalnak. A Rock–Eval pirolízis jelentős (4,1%-os) szerves széntartalmat mutatott ki a fekete palában. A szervesanyag éretlen, de kedvező minőségű, II. típusú (tengeri eredetű, redukzív környezetben képződött) kerogént tartalmaz. A magas szerves széntartalom és a kerogén minősége alapján feltételezhető, hogy kedvező környezetben a fekete pala jó szénhidrogén-anyaközzetté válhat.

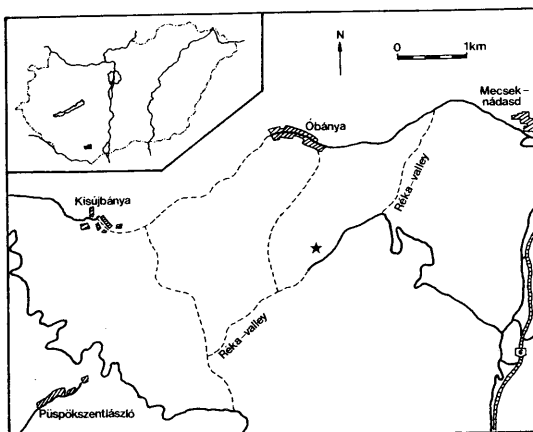
### Abstract

Based on macrofossils (*Hildaites*, Ammonoidea) the laminated black, organic rich shale proved to be of Early Toarcian age (Falcifer Zone). It is compared to the well-known Western European Lower Jurassic black shales. Having used the Jenkyns model we concluded that the formation is an equivalent of the deposits of the Toarcian Anoxic Event. Sedimentation of the shale was interrupted by the deposition of sandstone turbidites. Heavy mineral studies show that the source area was built up by metamorphic and/or acid igneous rocks. Rock–Eval pyrolysis was done to identify the organic matter content of the shale. A sample originating from the fossiliferous black shale is rich in organic matter (4.1%). The organic matter is immature, but it contains top quality type II kerogen (oil prone). Probably the black shale served as a source rock of hydrocarbons.

Key words: stratigraphy, sedimentology, organic geochemistry, Lower Jurassic, Toarcian, black shale, Mecsek Hills, Hungary

### Bevezetés

Az ELTE Közettan-Geokémiai Tanszéke által szervezett 1989-es terepgyakorlaton geológiai térképezést végeztünk a Keleti-Mecsekben található Réka-völgyben. A völgyben több ponton kibukkanó alsójura fekete palát (Óbányai Aleurolit Formáció) tanulmányoztuk részletesen. Megvizsgáltuk a képződmény kőzettani, üledékföldtani, őslénytani és szerves geokémiai jellegeit. Munkánk jelentőségét az adja, hogy a fekete pala potenciális szénhidrogén-anyaközet, és hasonló alsójura fekete pala került elő a Duna–Tisza-közi fúrásokból. A Réka-völgy Kisújbanya, Óbánya, Mecseknádasd és



1. ábra. A vizsgált szelvény földrajzi elhelyezkedése a Mecsekben.

*Fig. 1. Location of the studied Lower Toarcian section in the Mecsek Hills.*

Püspökszentlászló között helyezkedik el, csapása ÉK–DNY irányú (1. ábra). A Mecsek-hegység triász és alsójura képződményei tipikusan stabil-európai kifejlődésűek (2. ábra). A műrevaló hettangi—alsószinemuri feketeköszén fedőjében a középső szinemuri alemelettől a bajóci emelet végéig szürke foltsmárga található, karbonátos közbetelepülésekkel. A vizsgált alsótoarci Óbányai Aleurolit Formáció vékony közbetelepülésként jelentkezik a több ezer méter vastag márgasorozatban. A bath emeletben fordulnak elő az első olyan képződmények (vörös, gumós márga), amelyek hasonlítanak a Tethys azonos korú üledékeihez. Ezzel összhangban VÖRÖS (1988) brachiopodák paleobiogeográfiai vizsgálata alapján kimutatta, hogy a callovi—titon emeletekben a Tiszai nagyszerkezeti egység már eltávolodott a stabil-európai selftől. (A Tiszai egység definícióját lásd FÜLÖP (1989).) A felsőjura tűzköves mészkövek a Mecsekben kívül a Mediterrán régió számos területén megfigyelhetők. Mivel a vizsgált fekete pala fekjűjt és fedőjét egyaránt a szürke foltos márga alkotja, röviden ezzel a képződménnyel is foglalkozunk.

### A szürke foltsmárga

A szürke márga vastag, meglehetősen monoton kőzetsorozatot alkot. Uralkodóan szürke színű. Erősen bioturbált, amit a makroszkóposan is jól látható foltosság jelez. Ez arra utal, hogy a márga képződése idején gazdag inbentosz fauna élt az aljzatban. Néhány feltárásban sikerült ammoniteszeket, belemnitesz rostrumokat és szenesedett

T	MÁRÉVÁR LIMESTONE F.
K	VÁRKONY LIMESTONE F.
O	
C	DOROGÓ CALCAREOUS MARL F.
Bat	ÓBÁNYA LIMESTONE F.
Baj	KOMLÓ CALCAREOUS MARL F.
A	PUSZTAKISFALU LIMESTONE F.
T	ÓBÁNYA ALEUROLITE F. ★
P	KECSKÉHÁT LIMESTONE F. MECSEKNÁDASD SANDSTONE F.
S	HOSSZUHETÉNY CALCAREOUS MARL VASAS MARL F.
H	MECSEK COAL F.

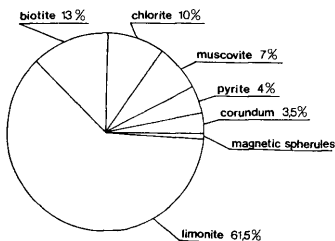
2. ábra. Jura litosztratigráfiai egységek a Mecsek hegységben (CSÁSZÁR & HAAS, 1983 alapján). Az alsójura kőzetek stabil-európai típusúak, a bath korú vörös gumós márgák az első mediterrán jellegű képződmények. H: hettangi, S: szinemuri, P: plienschichi, T: toarci, A: aaleni, Baj: bajoci, Bat: bath, C: callovi, O: oxfordi, K: kimmeridgei, T: titon.

Fig. 2. Jurassic formations of the Mecsek Hills (after CSÁSZÁR & HAAS, 1983). The Lower Jurassic rocks are of NW European type. In the Bathonian there are those red marls which can be considered as the first deposits similar to those of the Tethys. H: Hettangian, S: Sinemurian, P: Pliensbachian, T: Toarcian, A: Aalenian, Baj: Bajocian, Bat: Bathonian, C: Callovian, O: Oxfordian, K: Kimmeridgian, T: Tithonian.

növénymaradványokat gyűjtenünk. A rossz megtartású fauna GÉCZY BARNABÁS határozása alapján a következő:

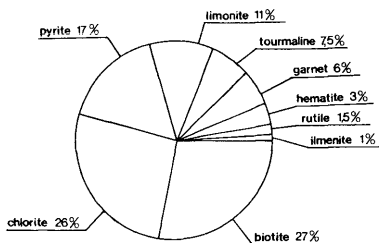
- Calliphylloceras* sp.
- Lytoceras* sp.
- Amaltheus* sp.
- Dactylioceras* sp.
- Protogrammoceras* sp.
- Hildaites* sp.

Ennek alapján a márga kora doméri—toarci. A szürke márga időbeli elterjedése jóval nagyobb, a mi gyűjtési pontjaink azonban a fekete pala közvetlen fekéjére és fedőjére korlátozódtak. Jellemző a laminált és a vastagon rétegzett márga váltakozása. Vékonycsiszolatban a márga két változata különböztethető meg: wackestone, bioklaszttal a mikrites karbonát mátrixban, ill. grainstone, bioklaszt szemcsékkel. A márgából a következő nehézasványok kerültek elő: limonit, biotit, klorit, muszkovit, pirit, korund és mikrometeorit (3a ábra). A biotit, muszkovit és korund metamorf vagy savanyú magmás lehordási területre utal.



3a. ábra. A szürke márga nehézasvány-összetétele.

Fig. 3a. Percentage of heavy minerals in the grey marl.

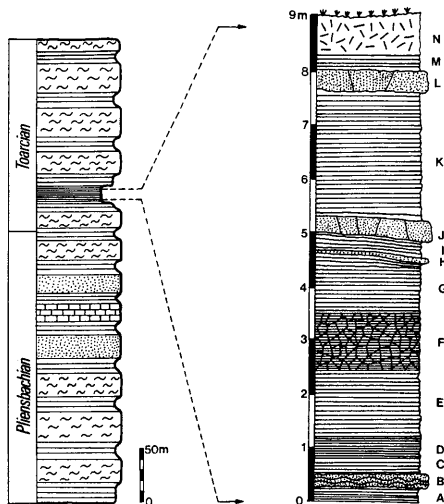


3b. ábra. A fekete pala nehézasvány-összetétele.

Fig. 3b. Percentage of heavy minerals in the Toarcian black shale.

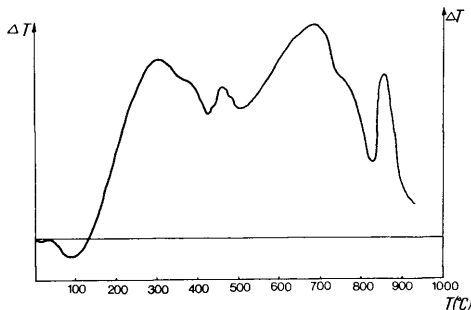
### A toarci fekete pala

A vastag foltosmárga sorozatba települő fekete pala jól tanulmányozható a rékavölgyi feltárásokban. Eddig csak néhány adatot publikáltak erről a kis vastagságú képződményről. VADÁSZ (1935) megemlíti, hogy a toarci márga felső része laminált fekete palából áll, gazdag *Posidonomya* tartalommal. Ezen kívül összesített faunalistát ad a toarci emeletről. FORGÓ et al. (1966) a felsőtoarci emeletbe helyezi a fekete palát és változtatás nélkül átveszi VADÁSZ (1935) faunalistáját. WEIN (1968) térképén a fekete pala szintén a felsőtoarciban van. FÜLÖP (1971) csak megemlíti a képződményt. FÖLDI et al. (1967) rövid makroszkópos leírást ad a kőzetről, és megemlíti, hogy a fekete pala fölött toarci márga található. Sajnos, szintén csak egy összesített faunalistát ad a toarci emeletre. A mecseki fekete palát említi még JENKYN (1988). A vizsgált rétegsor a 4. ábrán látható. A fekete pala körülbelül 9 m vastag és a következő egységekre bontható:



4. ábra. A fekete pala feltárásának rétegoszlopa. Az egyes egységek leírása a szövegben olvasható.  
 Fig. 4. Stratigraphic column of the Toarcian black shale. For description see text.

- A: 25 cm vastag, fekete, 0,5 cm vastag lemezek.  
 B: 15 cm vastag, laminált homokkő betelepülés. A rétegfelszín helyenként hullámos. Színe barna-fekete. A homokos betelepülések keményebbek, mint a finoman laminált pala.  
 C: 40 cm vastag, 0,5 cm-es lemezekből álló réteg.  
 D: 40 cm vastag, finoman laminált réteg.  
 E: 1 m vastag, kiékelődő lemezes réteg, mm-es laminákkal. A laminák felszíne sík, ritkán hullámos. A törési felületeken homokos, csillámos.  
 F: 1 m vastag, barna-fekete, 0,5 cm-es lemezekből álló réteg, amely erősen töredezett.  
 G: 1 m vastag réteg, amely 0,5–1 cm-es lemezekből áll. Kissé töredezett.  
 H: 3 cm vastag, kemény homokkő betelepülés. Mállott felszínén sárgásbarna, friss törési felületén sötétszürke.  
 I: 25 cm vastag, töredezett, laminált pala.



5. ábra. A fekete pala termikus vizsgálatának görbéje. Jellemző a szerves anyag égésétől származó exoterm csúcs.

Fig. 5. Diagram of the thermoanalysis of the Toarcian black shale. All reactions show an exothermic reaction arising from the burning of organic matter.

J: 30 cm vastag homokkő betelepülés, melynek nagyon változékony a vastagsága.

Alsó lapján hullámfodrok, keresztmetszetén néhol kereszttrétegzés látható.

K: 2,5 m vastag, laminált, fekete, aleuritos pala, limonitos foltokkal.

L: 30 cm vastag, átkovárodott krinoideás mészkő közbetelepülés, melyben helyenként bitumenes foltok észlelhetők.

M: 20 cm vastag pala, 0,5 cm-es lemezekkel.

N: talaj és törmelék.

### Kőzetleírás

a) A sötétbarna-fekete színű pala erősen laminált. Helyenként egészen vékony (2 mm-es) lemezekre esik szét, de a lemezek átlagvastagsága 3–4 mm. A rétegfelszín általában sík, ritkán hullámos. Ezen felületek mentén a pala könnyen hasítható. A hasítási felületeken sok csillám található és itt dúsulnak az ősmaradványok is (ammoniteszek, kagylók, halak). Helyenként a mállás hatására a kőzet színe rozsdabarnára változott. A vékonycsiszolatban jól látható, hogy a pala irányított szövetű: a szemcsék a laminákkal párhuzamosan rendeződnek el. Két szemcsetípust lehet elkülöníteni: a kisebb méretű agyagásványokat és limonitot, valamint a nagyobb méretű kvarcsemmeket és muszkovitlapokat. A kvarcsemmek szögletesek és határozott rétegek mentén fordulnak elő a muszkovittal együtt, agyagos-limonitos kötőanyagban. A kvarctartalmú és kvarcmentes rétegek éles felülettel különülnek el egymástól.

b) A homokos valamint az átkovárodott mészkő betelepülések rendkívül változatos morfológiájúak. Vastagságuk 1–40 cm között változik. Mállott felszínük barna, a friss törési felületük szürke. A kőzet erősen töredezett és kemény. A szemcsék 0,2–0,5 mm

nagyságúak. A legfelső, krinoideás mészkő betelepülésben bitumenfoltokat találtunk. Két rétegből a rétegzésre merőleges vékonycsiszolatot készítettünk. A „H” jelű homokkőpad vékonyabb 5 cm-nél. A csiszolatban jól láthatóan gradált rétegződés tapasztalható. A szemcsék szögletesek, kvarc anyagúak, finomszemcsés agyagos-limonitos alapanyagba ágyazódnak. A „J” jelű homokkőpad szövete jóval bonyolultabb. Ez a réteg vastagabb (30 cm) és több ciklust tartalmaz. Már makroszkóposan is elkülöníthető négy jól definiált barna réteg. Ezek agyagosabbak környezetüknél, két ilyen szint között pedig a „H” jelű betelepüléshez hasonló szövetet mutat a kőzet. A terepi megfigyelések és a mikroszkópos vizsgálat alapján állíthatjuk, hogy a homokos betelepülések zagyáramokkal kerültek leülepedési helyükre.

#### *Lehordási terület*

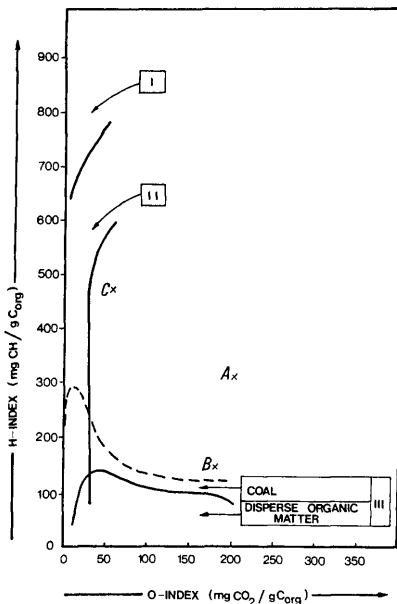
A fekete palából sósavas oldás után nem tudunk nehézasványokat leválasztani. A homokos betelepülésekből a következő ásványok kerültek elő (átlagminta, szemcseméret 0,125–0,250 mm): biotit, klorit, pirit, limonit, turmalin, gránát, hematit, rutil és ilmenit (3b ábra). A homokos betelepülésből kevesebb nehézasványt sikerült leválasztanunk, mint a foltos márgából. A cirkon hiánya, valamint a biotit és klorit túlsúlya figyelemre méltó. Ennek alapján metamorf vagy savanyú magmás lehordási terület valószínűsíthető.

#### *Szervesanyag*

Az agyagasványokat és a szervesanyagot FÖLDVÁRI MÁRIA vizsgálta meg a Magyar Állami Földtani Intézet Termikus Laboratóriumában. A felvétel jellegzetessége a szervesanyag égéséből származó, exoterm reakciót jelző csúcs, mely az összes egyéb reakcióra rányomja bélyegét (5. ábra). A mérés eredménye a következő:

szervesanyag	min.	10,5	%
karbonát (kalcit)	max.	34,3	%
montmorillonit		17,08	%

Az anyag nyomelemtartalmának vizsgálatára félmennyiségi optikai színképelemzés készült az ELTE Közvetlen-Geokémiai Tanszéken (a mérést NAGY BÉLÁNÉ végezte). A mérési eredményeket összehasonlítottuk az irodalomban talált adatokkal (WEDEPOHL, 1972, RÖSLER & LANGE, 1972) (1. táblázat). A Co, Cu, Pb, Mn, V és Ba az átlagos értékeknél magasabb koncentrációban jelentkeznek. A Mn redukív feltételek között a selfüledékekből diagenetikusan mobilizálódik, de ez a folyamat a szerves széntartalom növekedésével erősen visszatorzul. Így a Mn, valamint a Co, Cu, Pb, V elem-társulás magas koncentrációja az agyagasványok, de főleg a nagy mennyiségben jelen lévő szervesanyag akkumulációs hatásának az eredménye. A nagymennyiségű szervesanyag jelenléte miatt szükséges volt a kőzet szénhidrogéngenetikai vizsgálata. A mérést (Rock-Eval pirolízis) HETÉNYI MAGDOLNA végezte a JATE Ásványtan, Közvetlen és Geokémiai Tanszékének Rock-Eval II készülékével. A vizsgált minták a következők voltak:



6. ábra. A kerogén szervesanyagának típusa (O-index/H-index diagram).

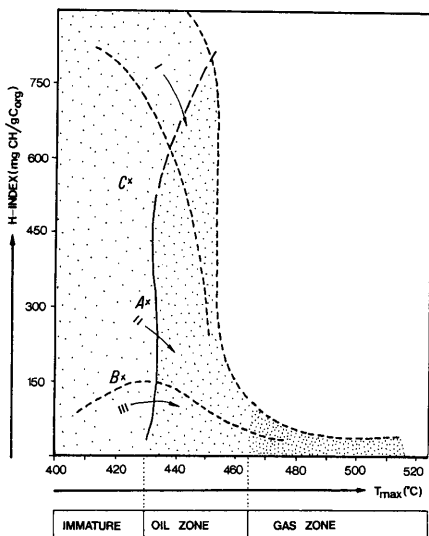
Fig. 6. O-index vs. H-index plot of the Lower Toarcian samples.

- A: foltos márga kőzettörmelék a patakmederből, amelynek törési felületén egy 5 cm átmérőjű fekete bitumenfoltot találtunk.  
 B: közbetelepült krinoideás mészkőpad a fekete palából, törési felületén 2-5 mm átmérőjű bitumenfoltok (L réteg).  
 C: laminált fekete pala a fossziliadus rétegekből (E, F és G rétegek).

Értékelhető bitumentartalom csak az „A” mintából oldódott ki az extrakció során, a „B” és „C” minták csak elenyésző mennyiségű bitument tartalmaztak, ezért itt nincs mért adat.

A mérési eredmények a 2. táblázatban olvashatók. A vizsgált kerogének típusa a 6. ábrán, érettségi állapotuk a 7. ábrán látható. A minták karbonáttartalma a szerves





7. ábra. A kerogén szervesanyagának fejlődési állapota.  
Fig. 7. Maturity diagram for the Lower Toarcian samples.

széntartalomtól elkülönítve mérhető. A pirolízis eredményeképpen az alábbi következtetések adódnak:

B: Ennek a mintának jelentéktelen a szerves szén tartalma. Anyaga éretlen (a diagenézis zónájába esik), a II. és III. típusú kerogén határterületén található. Gyakorlati jelentősége nincs.

A: Szerves széntartalma nagyobb, mint a „B” mintáé, és ez az érték meghaladja az anyakőzetekre jellemző minimális szervesanyagtartalmat (0,5 %). Valószínű, hogy sok bevándorolt bitument tartalmaz. Az éretlen zóna végét jelzi (diagenézis), II típusú kerogént tartalmaz. Minősítése gyenge-közepes, szénhidrogén-potenciálja nem jelentős.

C: Szerves széntartalma jelentős (4,1 %), minősége kedvező, szénhidrogén-potenciálja magas. A szervesanyag még az éretlen zónát jelzi (diagenézis), de ha kedvező evolúciós feltételek közé kerülne, jó anyakőzet válna belőle. A II. típusú kerogén tengeri eredetű, redukzív környezetben leülepedett fitoplankton, zooplankton és mikroorganizmus maradványokból képződik. Benne a H/C atomarány magas (1–1,5), az O/C atomarány alacsony (0,1–0,2). Ez a szénhidrogének klasszikus anyakőzetének szervesanyaga.

	1	2	3
Co	160	20	10
Ni	100	68—95	—
Cu	160	45—57	70—95
Pb	60	20	28
Ga	40	—	—
Mn	2500	70—850	150—450
Ti	6000	4600	—
V	250	125	—
Cr	100	100	—
B	100	100	—
Ba	1600	500—800	250—800
Sr	1000	—	—
Mo	16	20	70

1. táblázat. A fekete pala nyomelemtartalma g/t-ban, összehasonlítva az agyagpalák átlagos értékeivel. 1: a fekete palában mért értékek (Réka-völgy; szinképelemzés) 2: agyagpalák átlagos koncentrációértékei (RÖSLER & LANGE, 1972) 3: agyagpalák átlagos koncentrációértékei (WEDEPOHL, 1972)

Table 1. Concentration of trace elements of the black shale in ppm, compared to the average shale composition. 1: Measured concentrations in the black shale (Réka Valley) 2: Average concentration in shales (RÖSLER & LANGE, 1972) 3: Average concentration in shales (WEDEPOHL, 1972).

### Ősmaradványok

A térképezés során igen sok, de meglehetősen rossz megtartású fossziliát tudunk begyűjteni. Meghatározásukban GÉCZY BARNABÁS és SZENTE ISTVÁN volt segítségünkre. Több, mint 30 halmaradvány is előkerült, melyek preparálását és meghatározását ANDREA TINTORI (Milánó) volt szíves elvégezni. Az előkerült fauna a következő:

#### Ammonoidea:

*Calliphylloceras* sp.

*Lytoceras* sp.

*Dactyloceras* sp.

*Protogrammoceras* sp.

*Hildaites* sp.

#### Bivalvia:

*Solemya bollensis* QUENSTEDT, 1858

*Pseudomytiloides dubius* (SOWERBY, 1818)

#### Pisces:

*Leptolepis normandica* NYBELIN, 1962

A *Hildaites* nemzetség jelenléte alapján a fekete pala koraként a Falcifer Zóna (és esetleg a Bifrons Zóna) valószínűsíthető. Ezt azért fontos megjegyezni, mert — mint a bevezetésben említettük — eddig a fekete pala faunáját a többi toarci kőzet faunájától elkülönítve nem vizsgálták. Ennek tudható be, hogy sok szerző a toarci emelet felső részébe helyezte a képződményt, holott a Falcifer Zóna ennél jóval idősebb. Csekély számú bentosz faunaelem (néhány *Solemya bollensis*) található a fekete palában. Ez jól

	A	B	C
T <sub>max</sub>	430	424	426
S <sub>1</sub>	0,18	0,04	1,24
S <sub>2</sub>	2,41	0,33	19,23
S <sub>3</sub>	1,51	0,40	2,58
PI	0,08	0,11	0,06
S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	1,41	0,82	7,45
PC	0,19	0,03	1,70
TOC%	0,68	0,22	4,10
HI	314	150	469
OI	222	181	62
CHP	2,59	0,37	20,47

2. táblázat. A Rock—Eval pirolízis során mért paraméterek.

T<sub>max</sub>: S<sub>2</sub>-höz tartozó hőmérséklet (°C)

S<sub>1</sub>: a minta természetes szénhidrogén-tartalma (illók, 300 °C-ig szabadulnak föl) (mgCH/g minta)

S<sub>2</sub>: a mérés során, krakkolódással felszabaduló szénhidrogének (300 °C-tól 550 °C-ig) (mgCH/g minta)

S<sub>3</sub>: oxigéntartalmú szerves vegyületekből felszabaduló széndioxid (mgCH/g minta)

PI: produktív index

PC: pirolizált széntartalom (%)

TOC%: teljes szerves széntartalom (%)

HI: S<sub>2</sub>/TOC, a H/C atomarányal arányos (mgCH/g TOC)

OI: S<sub>3</sub>/TOC, az O/C atomarányal arányos (mgCO<sub>2</sub>/g TOC)

CHP: szénhidrogén-potenciál, S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> (kgCH/t kőzet)

Table 2. Parameters measured by Rock—Eval pyrolysis.

T<sub>max</sub>: temperature belonging to S<sub>2</sub> (°C)

S<sub>1</sub>: natural hydrocarbon content of the sample (volatiles, these can be released until 300 °C) (mgCH/g of sample)

S<sub>2</sub>: hydrocarbon released during the measurement by cracking (at 300 °C to 550 °C) (mgCH/g of sample)

S<sub>3</sub>: carbon-dioxide formed from oxygen containing organic compounds (mgCH/g of sample)

PI: index of productivity

PC: pyrolysed carbon (%)

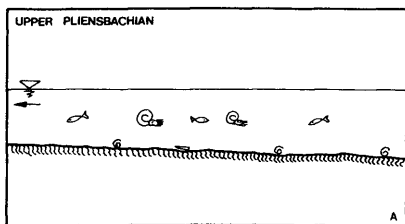
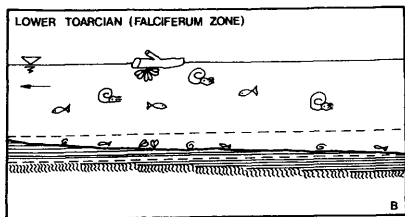
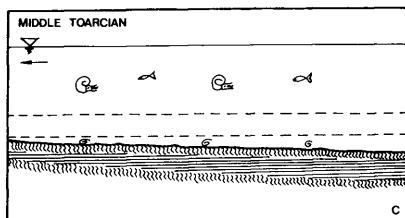
TOC%: total organic carbon (%)

HI: S<sub>2</sub>/TOC, it is proportionate to H/C atomic ratio (mgCH/g TOC)

OI: S<sub>3</sub>/TOC, it is proportionate to O/C atomic ratio (mgCO<sub>2</sub>/g TOC)

CHP: hydrocarbon-potential, S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> (kgCH/ton of rock)

egyezik más szerzők eredményeivel. HALLAM (1975) szerint csak négy kagylófaj élte túl a — később tárgyalandó — alsójura eseményt. JENKYN (1988) szintén megemlíti, hogy a Falcifer Zóna tekinthető a legfontosabb faunahatárnak az európai jurában. Nagyszámú *Pseudomytiloides* került elő a palából. Külföldi analógiák alapján (HAUFF, 1953; TANABE, 1983) ezek bizzusszal uszadékfára rögzülve sodródtak ki a nyílt tengerre. Újabban különböző nézeteket publikáltak a bentosz szervezetek hasonló körülmények közötti megjelenésének feltételeiről (KAUFFMAN, 1978; BRENNER & SEILACHER, 1978; SEILACHER, 1982).



- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| TRANSGRESSION     | DRIFT-WOOD            |
| SEA LEVEL         | BIVALVES              |
| FISHES            | GREY MARL             |
| AMMONITES         | BLACK LAMINATED SHALE |
| BELEMNITES ROSTRA | ANOXIC LAYER OF WATER |

### Lerakódási környezet

A szedimentológiai, geokémiai és őslénytani jellegek alapján (laminált rétegződés, sötét szín, magas szervesanyagtartalom, redukált bentosz fauna) anoxikus lerakódási környezetet valószínűsítünk. Régebben a szerzők az anoxikus környezetet zárt medencékhez kötötték. Mára azonban ismertté vált, hogy anoxikus környezetek alakulhatnak ki a parti feláramlási területeken (*upwelling*), sőt a nyílt óceánon is. Ezek a stagnációs modellekkel nyilván nem magyarázhatók. Ezért SOUTHAM és munkatársai (1982) kidolgoztak egy dinamikus modellt a recens óceánok tanulmányozása alapján. JENKYN (1985) hasonló modellt használt a toarci anoxikus esemény magyarázatára. Szerinte a tengervíz szervesanyag-tartalma megemelkedett az alsójurában a magas planktonproduktivitás miatt. A szervesanyag lebomlása oxigént fogyaszt, miközben a részecskék keresztlullanak a vízoszlopon. Anoxikus zóna akkor alakul ki, ha az oxigénfelhasználás nagyobb az adott rétegben, mint az oxigénutánpótlás. Anoxikus üledékek ott képződnek, ahol az anoxikus vízréteg elmetszi az aljzatot. E zóna alatt és fölött normális tengeri üledékek képződnek. Őslénytani bizonyítékok alapján tudjuk, hogy a Mecsek az alsójurában a Tethys északi szegélyénél helyezkedett el (GÉCZY, 1973). Itt sekély epikontinentális tenger volt (KÜSPERT, 1983), amely nyitott volt a Tethys felé. Így előfordulhatott, hogy a Tethysben kialakult anoxikus vízréteg a transzgresszió idején előtörtte a sekély selfet (HALLAM, 1978; JENKYN, 1985). A kiegyenlített aljzatmorfológia miatt az anoxikus fekete palák egyidejűleg nagy területen jelentek meg. Ekkor képződtek a jól ismert nyugat-európai palák (*Posidonienschiefer*, *Jet Rock*, *Schistes Cartons*) csakúgy, mint ez az alig ismert fekete pala a Réka-völgyben (JENKYN, 1988). A fentiekből következik, hogy a Jenkyns-modell alkalmazható a mecseki szelvény esetében is. A pliensbachi emeletben és valószínűleg a toarci elején sekélytengeri üledékképződés folyt a területen. Az erős bioturbáció bizonyítja a gazdag bentosz életet a foltosmárga képződések (8a ábra). Az alsótoarci Falcifer Zónában a Tethysben kialakult anoxikus vízréteg rövid idő alatt előtörtte a sekély selfet, ekkor rakódott le a vizsgált anoxikus üledék (8b ábra). A transzgresszió folytatódott a Falcifer Zóna után is; az anoxikus szint a tenger aljzata fölé emelkedett (8c ábra), és az anoxikus üledékképződést normál tengeri szedimentáció váltotta fel. Más vélemények szerint ekkorra már megszűnt az anoxikus vízréteg.

8. ábra. JENKYN modelljének alkalmazása a mecseki rétegsorra. A: A pliensbachi emeletben és a toarci emelet kezdetén sekélytengeri üledékképződés folyt a térségben. A gazdag inbentosz élővilágot a bioturbáció jelzi. B: Az alsótoarci Falcifer Zónában az anoxikus vízréteg a transzgresszió következtében hirtelen szétterült a sekély selfen, így az általunk vizsgált anyag le tudott rakódni. C: A Falcifer Zóna után folytatódott a transzgresszió, az oxigénszegény vízréteg az aljzat fölé emelkedett, így ismét normál tengeri üledékképződés folyt. Mások szerint ekkorra megszűnt az anoxia.

Fig. 8. Application of the Jenkyns model to the sequence of Mecsek. A: First there was a shallow marine sedimentation in the Pliensbachian and at the beginning of the Toarcian. The rich benthonic life is proved by bioturbation. B: In the Lower Toarcian Falcifer Zone, the anoxic layer suddenly spread over the shallow shelf, thus the examined sediment could develop. C: The transgression continued after the Falcifer Zone, thus the anoxic level lifted up from above the sea bottom, thus anoxic sedimentation gave way to normal marine sedimentation. According to other opinions anoxia ceased completely by this time.

### Következtetések

A dolgozat a mecseki Réka-völgyben kibukkanó alsótoarci fekete palát vizsgálja részletesen. A benne talált ammoniteszek (*Hildaites*) alapján a fekete pala a Falcifer Zónában rakódott le. JENKYNYS (1985) modelljét felhasználva a képződményt az alsójura anoxikus esemény jól ismert NY-európai üledékeivel párhuzamosítjuk, megerősítve ezzel JENKYNYS (1988) véleményét. A pala képződését epizodikus homokköturbiditek és krinoideás mészkő közbetelepülések szakítják meg. A nehézasvány-vizsgálatok alapján metamorf vagy savanyú magmás lehordási terület feltételezhető. Rock—Eval pirolízis alapján a fekete pala fossziliadús rétegeiből vett minta szerves széntartalma jelentős (4,1%). A szervesanyag még az éretlen zónába tartozik, de kedvező minőségű, II. típusú kerogént tartalmaz (tengeri eredetű, redukzív környezetben képződött). A fekete pala magas szerves szén tartalma, a kerogén minősége és nagy szénhidrogén-potenciálja alapján feltételezhető, hogy kedvező környezetben jó szénhidrogén-anyaközet válhat belőle.

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk kifejezni köszönetünket mindazoknak, akik segítették munkánkat: Géczy Barnabásnak, Szenté Istvánnak és Andrea Tintorinak az ősmaradványok meghatározásáért; Hetényi Magdolnának, Nagy Bélánének és Földvári Máriának a műszeres vizsgálatok elvégzéséért; Józsa Sándornak, Szakmány Györgynek, Kázmér Miklósnak, Szenté Istvánnak. Mindszenty Andreának, Galács Andrásnak és Vető Istvánnak hasznos tanácsaikért.

## Toarcian (Lower Jurassic) organic-rich shale in the Réka Valley (Mecsek Hills, Hungary)

A. DULAI, Zs. SUBA, A. SZARKA

### Introduction

Geological mapping was undertaken in the East Mecsek in the Réka valley in 1989. We have examined the Lower Jurassic black shale in detail (Óbánya Siltstone Formation) cropping out at several points in the valley. We have studied the petrological, sedimentological, paleontological and geochemical features of the shale. The importance of our investigations is given by the fact that the black shale may serve as a potential hydrocarbon source rock. The Réka Valley is situated between Kisútbánya, Óbánya, Mecseknádasd and Püspökszentlászló villages, running from NE to SW (Fig. 1). The Triassic and Lower Jurassic rocks of the Mecsek Mountains are of Northwest European type developments (Fig. 2). At the beginning of the Jurassic,

workable coal deposits (Gresten facies) were formed in a limnic, fluvial, and later coastal detrital depositional environment. From the middle Sinemurian to the end of the Bajocian, predominantly grey marls (*Fleckenmergel*) were deposited, with interbedded carbonates. The Lower Toarcian Óbánya Siltstone Formation is an intercalation in this sequence. In the Bathonian there occur those nodular red marls which can be considered as the first deposits similar to those of Tethys. This is in accordance with the results of VÖRÖS (1988) who, on the basis of palaeobiogeographic evaluation of brachiopods, showed that in Callovian—Tithonian times the Tisza Unit already moved away from the European shelf (see the definition of Tisza Unit in Fülöp, 1989). The Upper Jurassic cherty limestones are the same as elsewhere in the Mediterranean region. Since both the bedrock and the cover of the shale are grey spotted marl, we examined this formation, too.

### The spotted marl

The spotted marl is a thick, rather monotonous rock sequence. It is mainly grey and heavily bioturbated. This is shown by the stains, and indicates that there was a significant inbenthonic fauna in the basement. From some of the outcrops we collected macrofossils: ammonite, belemnite rostra and carbonized plant fossils. The ammonite fauna has been identified by B. GÉCZY as:

- Calliphylloceras* sp.
- Lytoceras* sp.
- Amaltheus* sp.
- Dactylioceras* sp.
- Protogrammoceras* sp.
- Hildaites* sp.

Thus the age of the deposit is Domerian-Toarcian. The stratigraphical distribution of the spotted marl is much larger, but our collecting places were only limited to the underlying and overlying beds of the black shale. Generally, the alternation of laminated and thick-bedded marls is typical. We made thin sections from the bedded marl. There are two varieties: wackestones with bioclasts and a micritic carbonate matrix; and grainstones with bioclasts in micritic matrix. Heavy minerals are: limonite, biotite, chlorite, muscovite, pyrite, corundum and magnetic spherule (micrometeorite) (Fig. 3a). Biotite, muscovite and corundum show that the source area was probably made of metamorphic or acid igneous rocks.

### The Toarcian black shale

The thick spotted marl sequence is interrupted by the laminated black shale. Up to now a few data have been published about this thin formation. VADÁSZ (1935) mentioned that the upper part of the Toarcian marl is a laminated black shale with abundant *Posidonomya*. Besides he provided a summarized list of Toarcian fauna. FORGÓ et al. (1966) places the black shale in the Upper Toarcian, and takes over the faunal list from VADÁSZ (1935) without modification. This black laminated rock occurs in the uppermost Toarcian on the geological map of WEIN (1968). FÜLÖP (1971) mentioned the formation briefly. FÖLDI et al. (1967) gave a brief macroscopic

description, stating that there is Toarcian marl over the black shale. Unfortunately, he also gives only a summarized list of the Toarcian fauna. The black shale of Mecsek is mentioned by JENKYN (1988) (see later). The stratigraphic column is shown in Fig. 4. The profile of the black shale is 9 m thick, and could be divided into the following units:

- A: 25 cm thick, black with 0.5 cm laminae.
- B: 15 cm thick sandstone intercalation. Laminated. At places the bedding planes are wavy. The colour is mainly blackish brown. It is harder than the finely laminated shale.
- C: 40 cm thick layer with 0.5 cm thin laminae.
- D: 40 cm thick layer with fine laminae.
- E: 1 m thick, with pinching-out laminae. The surfaces of the laminae are plane, sometimes wavy. It is sandy, micaceous on the bedding planes.
- F: 1 m thick, blackish brown with 0.5 cm laminae. Heavily crumbled.
- G: 1 m thick, with 0.5–1 cm pinching-out laminae, rarely crumbled.
- H: 3 cm thick, hard sandstone intercalation. Its weathered surface is yellow-brown, the fresh fracture surfaces are dark grey.
- I: 25 cm thick, crumbled, laminated shale.
- J: 30 cm thick sandstone intercalation. Its morphology is very varied, sole marks and ripple marks can be seen on the bottom of the deposit. In some places cross-bedding can be observed.
- K: 2.5 m thick, laminated black aleuritic shale with limonitic nodules.
- L: 30 cm thick silicified crinoid limestone intercalation, rarely bituminous stains.
- M: 20 cm thick shale with 0.5 cm thin laminae.
- N: soil and scree.

### *Lithology*

a) The colour of the shale is black, dark brown, it is laminated. At places it disintegrates into fine (0.2 mm thin) laminae, but the average thickness of the laminae is 3 to 4 mm. Their surface is usually plane or rarely wavy. The fracture of the shale at right angles to the layers is uneven. On the fracture surfaces, many mica flakes can be observed, alongwith the enrichment of fossils (ammonites, bivalves, fishes). At places also the signs of weathering can be observed: giving a brownish to rusty colour to the rock. In thin section, the texture of the shale shows preferred orientation: it is parallel to the laminae. There are two types of grains: the smaller ones are clay minerals and limonite, the larger ones are quartz grains and muscovite flakes. The quartz grains are angular, and occur in layers. The muscovite fragments are oriented parallel to the laminae. The contact between the argillaceous (clay minerals and limonite) and sandy laminae is always sharp.

b) The morphology of the sandstone intercalations is very varied. Their thickness changes between 1 and 40 cm. Their weathered surface is brown, the fresh fracture surfaces are grey. The rock is compact, brittle, hard. The size of the grains is between 0.2 and 0.5 mm. Bitumen stains were found in the uppermost sandstone bed. We made oriented thin sections, at right angles to the layers, from two sandstone beds. The sandstone intercalation — designated as 'H' — is thinner than 5 cm. The graded bedding



is apparent in the section. The grains are made of quartz, they are angular. The matrix consists of fine clay minerals and limonite. The texture of sandstone bed 'J' is more complex. This layer is thicker (about 20 cm) and consist of several cycles. Four well-defined brownish layers could be distinguished even by macroscopic observation. These brown levels are clayey, and the texture of the rock is similar to sandstone bed 'H' between two clayey levels. The field observations and thin section examinations show that the sandstone intercalations were deposited by turbidity currents.

#### *Provenance*

No heavy minerals could be separated from the hydrochloric acid solution residue of the black shale. From the sandstone intercalations, however, the following heavy minerals could be identified (size fraction: 0.125–0.250 mm): biotite, chlorite, pyrite, limonite, tourmaline, garnet, hematite, rutile, ilmenite (Fig. 3b). Their total quantity was less than in the spotted marl. The absence of zircon and the predominance of biotite and chlorite is remarkable. Thus the source area is supposed to have been some metamorphic or acid igneous rocks.

#### *Organic matter*

Thermoanalysis was used to identify the organic content and the clay minerals. The measurements were made by M. FÖLDVÁRI (Thermic Laboratories, Hungarian Geological Institute). All the reactions showed an exotherm reaction arising from the burning of the organic matter (Fig. 5). The result of the measurements is the following:

organic material	min.	10.5 %
carbonate (calcite)	max.	34.3 %
montmorillonite		17.08 %

J. NAGY (Institute of Petrology and Geochemistry, Eötvös University) has made optical spectrographic analysis. The results of measurements are shown in Table 1. We compared our results to published data (WEDEPOHL, 1972; RÖSLER & LANGE, 1972). Co, Cu, Pb, Mn, V and Ba show higher than the average concentration. Under reducing conditions Mn is getting mobilized diagenetically from the shelf sediment, but this process decreases with increasing organic carbon content. The high concentrations of Mn, as well as the Co, Cu, Pb, V associations of elements are due to the enrichment capacity of the clay minerals, but especially of the organic matter being present in high quantity. Rock-Eval pyrolysis was done to identify the organic matter content of the shale. The analyst was M. HETÉNYI (Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged). The pyrolyser used was a Rock—Eval II instrument. Three samples have been examined:

- A: detrital matter, found in the bed-load of the creek. A bitumen stain was found — 5 cm in diameter (black, with a strong bitumen smell) — on its surface.
- B: interbedded crinoidal limestone from the shale, with bituminous stains of 0.2–0.5 cm diameter on its fracture surface (L layer).
- C: laminated black shale (E, F and G layers).

A considerable bitumen content was dissolved by extraction during sample preparation only from sample 'A' (0.22 %). Samples 'B' and 'C' contain bitumen of low quantity, that's why there are no measured data. Pyrolysis of the samples at 300 °C for 4 min. was followed by programmed pyrolysis at 25 °C/min to 550 °C, in a helium atmosphere (HETÉNYI & SAJGÓ, 1990). The measured parameters are shown in Table 2. The type of examined kerogens can be seen in Fig. 6, their maturity is shown in Fig. 7. The organic carbon content has been measured separately after having dissolved the carbonate content of the samples. As a result of the pyrolysis, the following conclusions are drawn:

*Sample B:* its organic carbon content is insignificant. It is immature (zone of diagenesis), on the border of the fields of kerogen of type II (oil prone) and type III (gas prone). It is of low grade.

*Sample A:* Its organic carbon content is higher than that of sample 'B', but it exceeds the minimum organic matter content (0.5 %), which is typical to the parent rocks. It is possible that it contains much immigrated bitumen. It indicates the end of immature zone (diagenesis), type II (oil prone). It is of low to medium quality, its hydrocarbon potential is not very significant.

*Sample C:* It has a high organic carbon content (4.1 %), of top quality. Its hydrocarbon potential is high. The organic matter indicates the immature zone (diagenesis), type II kerogen (oil prone). It may easily be a potential hydrocarbon source rock under favourable conditions. The type II kerogen is of marine origin and it is formed from remains of phytoplankton, zooplankton and microorganisms in a reducing environment. H/C atomic ratio is high (1 to 1.5), O/C atomic ratio is low (0.1 to 0.2). It is a classical source rock of hydrocarbons. On the basis of the rich organic carbon content of the black shale, the quality and high CH potential of kerogen, it is probable that it may become a good CH parent rock under favourable conditions.

### Fossils

We have found many fossils, however their preservation was rather poor. B. GÉCZY and I. SZENTE identified the fossils. More than 30 fishes were found, the identification of which was kindly undertaken by Prof. ANDREA TINTORI (Milan). The list of fossils found is as follows:

#### Ammonoidea

- Calliphylloceras* sp.
- Lytoceras* sp.
- Dactylioceras* sp.
- Protogrammoceras* sp.
- Hildaites* sp.

#### Bivalvia

- Solemya bollensis* QUENSTEDT, 1858
- Pseudomytiloides dubius* (SOWERBY, 1818)

#### Pisces:

- Leptolepis normandica* NYBELIN, 1962

On the basis of presence of the genus *Hildaites*, the black shale belongs to the Falcifer Zone (and maybe to Bifrons Zone). This is important to note because — as already mentioned in the introduction — up to now the fossils of the black shale were

examined together with the fauna of other Toarcian rocks. This way, many authors have placed the shale into the Upper Toarcian, while the Falcifer Zone is older. The small number of benthonic fossils (some *Solemya bollensis*) was expectable. It is in accordance with the results of other authors. According to HALLAM (1975) only four bivalve species survived the Lower Jurassic Anoxic Event. JENKYNs (1988) also mentioned that the Falcifer Zone can be considered as a main boundary from the point of view of the European Jurassic fauna showing the effect of the anoxic event. A large number of *Pseudomytiloides* were found. These byssally attached bivalves could fix themselves to driftwood in the open sea (HAUFF, 1953; TANABE, 1983). Recently different views were also published on the presence of benthonic elements in environments like this (KAUFFMAN, 1978; BRENNER & SEILACHER, 1978; SEILACHER, 1982).

### *Depositional environment*

Palaeontological evidence indicate that the Mecsek, in the Early Jurassic, was situated in the northern margin of Tethys (GÉCZY, 1973). There was a shallow epicontinental sea here (KÜSPERT, 1983), which had an open gate to the Tethys. Thus it can be supposed that the anoxic water mass could have spread over the shallow shelf at the time of transgression (HALLAM, 1978; JENKYNs, 1985), and as a consequence of flat bottom morphology, black shales appeared everywhere at the same time. There are famous Lower Jurassic black shales: *Posidonienschiefer*, *Jet Rock*, *Schistes Cartons*, and less famous shales, like that in the Réka Valley, in the Mecsek (JENKYNs, 1988). As it follows from the above, the Jenkyns model can be used to the sequence of Mecsek as well (Fig. 8). First there was a shallow-marine sedimentation in the Pliensbachian and probably at the beginning of the Toarcian. The rich benthonic life is proved by bioturbation (Fig. 8a). In the Early Toarcian Falcifer Zone, the anoxic level suddenly spread over the shallow shelf, and the examined shale was deposited (Fig. 8b). The transgression continued after the Falcifer Zone, thus the anoxic level lifted up from above sea bottom (Fig. 8c), thus anoxic sedimentation gave way to normal marine sedimentation. According to other opinions anoxia ceased completely by this time.

### **Conclusion**

Based on macrofossils (*Hildaites*, Ammonoidea) found in it, the laminated black, organic rich shale proved to be of Early Toarcian age (Falcifer Zone). This way it can be compared with the well-known West European Lower Jurassic black shales. Applying the Jenkyns model (JENKYNs, 1985) we suggest that the formation has been deposited during the Toarcian Anoxic Event. Sedimentation of the shale was interrupted by sandstone turbidites. Heavy minerals indicate that the source area was dominated by metamorphic and/or acid igneous rocks. Organic matter was identified by Rock-Eval pyrolysis. The fossiliferous black shale is rich in organic matter (4.1%). The organic matter is immature, but it contains top quality type II kerogene (of marine origin formed in reducing environment). CH potential of the black shale is high; possibly it was one of the source rocks of the hydrocarbons in the basement of Great Plain.

## Acknowledgements

We are grateful to Prof. Barnabás GÉCZY, István SZENTE and Prof. Andrea TINTORI for their kind help in identifying the fossils; Magdolna HETÉNYI, Judit NAGY and Mária FÖLDVÁRI for the chemical analyses; Sándor JÓZSA, György SZAKMÁNY, Miklós KÁZMÉR, István SZENTE, Andrea MINDSZENTY, András GALÁCZ and István VETŐ for their kind support and useful advices.

## Irodalom — References

- BRENNER, K. & SEILACHER, A. (1978): New aspects about the origin of the Toarcian Posidonia Shales. — *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 157, 11–18, Stuttgart.
- CSÁSZÁR G. & HAAS J. (eds.) (1983): Magyarország litosztratigráfiai formációi. Litostratigraphical formations of Hungary. — Magyar Állami Földtani Intézet — Hungarian Geological Institute, Budapest. (Hungarian and English versions)
- FORGÓ L., MOLDVAY L., STEFANOVITS P. & WEIN GY. (1966): Magyarázó Magyarország 200.000-es földtani térképsorozatához. L—34—XIII. Pécs. [Explanations to the Geological Map of Hungary., Scale 1:200,000. L—34—XIII. Pécs. ]. — Magyar Állami Földtani Intézet [Hungarian Geological Institute] Budapest, 196 p. (In Hungarian)
- FÖLDI M., HETÉNYI R., NAGY I., BILIK I. & HÁMOR G. (1967): Magyarázó a Mecsek hegység földtani térképéhez, 10.000-es sorozat. Hosszúhetény—É. [Explanations to the Geological Map of the Mecsek Hills, Scale 1:10,000, Hosszúhetény-North] — Magyar Állami Földtani Intézet [Hungarian Geological Institute] Budapest, 71 p. (In Hungarian)
- FÜLÖP J. (1971): Les formations jurassiques de la Hongrie. — *Annales Instituti Geologici Publici Hungarici*, 54/2, 31–46, Budapest.
- FÜLÖP J. (1989): Bevezetés Magyarország geológiájába. [Introduction to the Geology of Hungary.] — Akadémiai Kiadó, Budapest, 246 p. (In Hungarian)
- GÉCZY B. (1973): The origin of the Jurassic faunal provinces and the Mediterranean plate tectonics. — *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis, Sectio Geologica* 16, 99–114, Budapest.
- HALLAM, A. (1975): Stratigraphic distribution and ecology of European Jurassic bivalves. — *Lethaia*, 9, 245–259, Oslo.
- HALLAM, A. (1978): Eustatic cycles in the Jurassic. — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 23, 1–32, Amsterdam.
- HAUFF, B. (1953): *Das Holzmadenbuch*. — Rau, Öhringen, 54 p.
- HETÉNYI M. & SAJGÓ Cs. (1990): Hydrocarbon generation potential of some Hungarian low-rank coals. — *Organic Geochemistry* 16/4–6, 907–916.
- JENKYN, H. C. (1985): The Early Toarcian and Cenomanian—Turonian anoxic events in Europe: comparisons and contrasts. — *Geologische Rundschau*, 74, 505–518, Stuttgart.
- JENKYN, H. C. (1988): The Early Toarcian (Jurassic) anoxic event: stratigraphic, sedimentary and geochemical evidence. — *American Journal of Science* 288, 18–36, New Haven.
- KAUFFMAN, E.G. (1978): Benthic environments and palaeoecology of the Posidonienschiefer (Toarcian). — *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 157, 18–36, Stuttgart.
- KÜSPERT, W. (1983): Faziestypen des Posidonienschiefers (Toarcium, Süd-Deutschland). Eine isotopengeologische, organisch-chemische und petrographische Studie. — Dissertation, Universität Tübingen, 244 p.
- RÖSLER, H. J. & LANGE, H. (1972): *Geochemical Tables*. — Edition Leipzig, Leipzig.
- SEILACHER, A. (1982): Ammonite shells as habitat in the Posidonia Shales of Holzmaden — floats or benthic islands? — *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* 1982/2, 98–114, Stuttgart.
- SOUTHAM, J. R., PETERSON, W. H. & BRASS, G. W. (1982): Dynamics of anoxia. — *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 40, 183–198, Amsterdam.

- TANABE, K. (1983): Mode of life of an inoceramid bivalve from the Lower Jurassic of West Japan. — *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* 1983/7, 419—428, Stuttgart.
- VADÁSZ E. (1935): A Mecsekhegység. (Das Mecsek-Gebirge.) — *Magyar tájak földtani leírása (Geologische Beschreibung ungarischer Landschaften) I*, 180 p., Budapest.
- VÖRÖS A. (1988): Conclusions on Brachiopoda. In RAKÚS, M., DERCOURT, J. & NAIRN, A. E. M. (eds): *Evolution of the Northern Margin of Tethys.* — *Mémoires de la Société Géologique de France, Nouvelle Série* 154, 79—83, Paris.
- WEDEPOHL, K. H. (1972): *Handbook of Geochemistry.* — Springer-Verlag, Berlin.
- WEIN GY. (1968): A Kisújbányai-medence (Mecsek hegység) földtani viszonyai. [Geology of Kisújbánya Basin, Mecsek Hills.] — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 101, 575—579, Budapest.

- DULAI Alfréd, ELTE Óslénytani Tanszék, 1083 Budapest, Ludovika tér 2. Jelenlegi cím: Magyar Természettudományi Múzeum, Föld- és Óslénytár, 1088 Budapest, Múzeum körút 14—16.
- SUBA Zsuzsa, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Közzetan-Geokémiai Tanszék, 1088 Budapest, Múzeum körút 4/A.
- SZARKA András, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Ásványtani Tanszék, 1088 Budapest, Múzeum körút 4/A. Jelenlegi cím: Eötvös Loránd Tudományegyetem, Alkalmazott és Műszaki Földtani Tanszék, 1088 Budapest, Múzeum körút 4/A.

A kézirat beérkezett: 1991. június 24.

Átdolgozva: 1991. október 15.