

# A belső-somogyi gypvasérc telepek archeometallurgiai jelentősége és genetikája

THIELE Ádám<sup>1</sup>, KERCSMÁR Zsolt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oklevés gépészmérnök, PhD hallgató, Budapesti Műszaki Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, H-1111, Budapest Bertalan L. u. 7. e-mail: adam.thiele@hotmail.com

<sup>2</sup>PhD, Geológus, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, H-1143, Budapest Stefánia út 14. e-mail: kercsmar.zsolt@mfgi.hu

## Összefoglalás

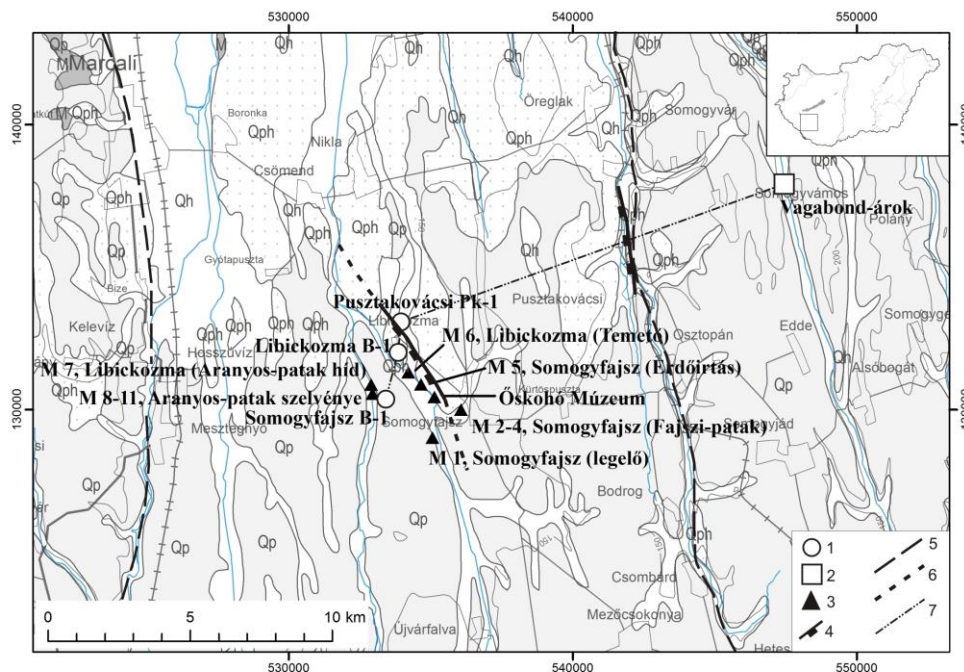
Belső-Somogyban késő-pleisztocén-holocén ártéri mocsarakban és lápokban, a magas oldott Fe(II) tartalmú felszíni és felszín alatti vizekből, kémiai és biogén oxidációval keletkezett, vashidroxid ásványokból álló gypvasérc telepek találhatók. A ma fellelhető gypvasérc telepek genetikailag három csoportba osztottuk.

A somogyi gypvasérc telepek az avar és a honfoglalás korban a területen folyó vaskohászat ércbázisául szolgáltak. Bár a gyakran mészkiválásos szinttel kísért belső-somogyi gypvasérccek foszfortartalma magas volt, így kohósításukkal általában rossz mechanikai tulajdonságokkal rendelkező, nagy foszfortartalmú vasanyagot lehetett előállítani, a területen gyakran előforduló kalcium-karbonát kiválásnak köszönhetően a vasbucák foszfortartalma csökkenthető volt.

*Tárgyszavak: gypvasérc, pleisztocén, Belső-Somogy, archaeometallurgia, geokémia, genetika, foszfor*

## 1. Bevezetés

A Somogyfajsz, Libickozma, Somogyszob környékén felszínre bukkanó gypvasérc telepek, a Nagyberekebe torkolló, késő-negyvedidőszaki tektonika által létrehozott ÉÉNy-DDK irányú recens patakmedrekben [1, 2] és folyóvölgyekben (ún. harántvölgyekben) tárulnak fel, Külső-Somogy Ny-i határa mentén (1. ábra).

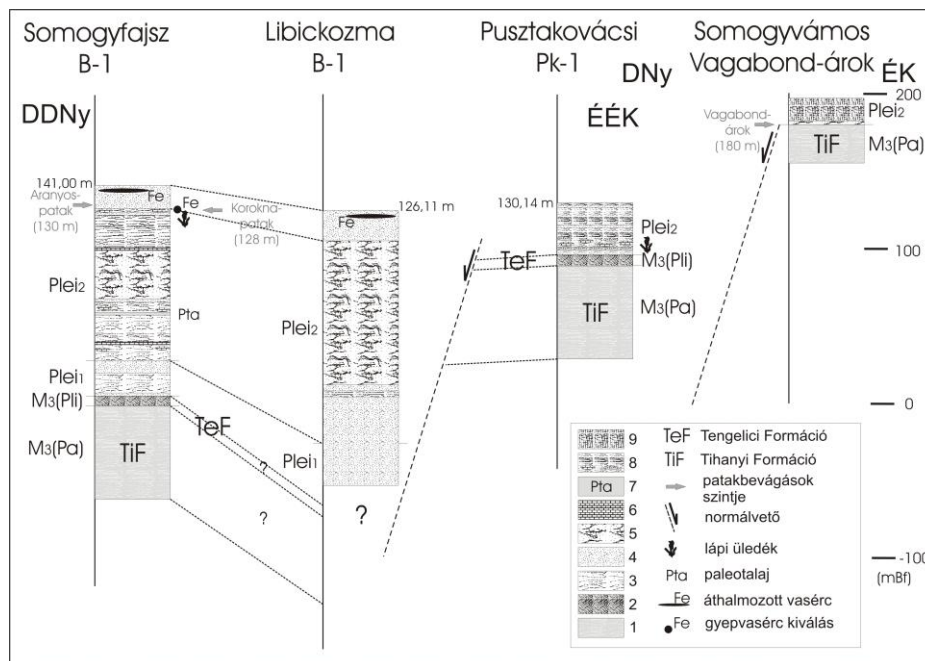


**1. ábra.** Somogyfajsz és Libickozma környékének földtani térképe ([3] alapján, módosítva), a feltárások és az értékelt fúrások pontos helyével.

1 – Vizsgált fúrás helye, neve és száma, 2 – A földtani szelvénybe (vö. 2. ábra) bevont felszíni feltárás helye, 3 – Mintavételi helyek a minta számával, 4 – fúrások alapján észlelt, pleisztocén normálvetők, 5 – Geomorfológiai kiemelkedéshatár, 6 – Feltételezett vető, 7 – Fúrások és felszíni feltárás alapján rajzolt szelvény (vö. 2. ábra)

A somogyi gyevasérc telepek az avar és a honfoglalás korban a területen folyó vaskohászat ércbázisául szolgáltak [4]. Régészetiileg feltárt somogyi vaskohászati műhelyekből származó salakmintákon elvégzett archeometriai vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy azok nagy mennyiségben tartalmaznak foszfort. Ebből arra lehet következtetni, hogy a korabeli, kohósított gyevasérccek szintén nagy foszfortartalmúak voltak [5]. Az ilyen gyevasérccek kohósításával előállítható nagy foszfortartalmú vasanyag felhasználhatósága azonban erősen korlátozott volt a rossz mechanikai tulajdonságai (melegtörekenység, ridegség) miatt [6]. A vasbucsa foszfortartalma csökkenthető a bucakemencébe beadott mésszel [7]. Szándékos mész vagy nagyobb mésztartalmú vasércdarabok beadagolása utal az, hogy a régészeti salakminták szokatlanul nagy mennyiségben tartalmaztak Ca-ot [6].

A terület folyóvízi üledékekből és löszös képződményekből álló, a gyevasérc telepeket magába foglaló negyedidőszaki rétegsora, eróziós diszkordanciával késő-miocén (pannóniai) delta fáciesű homokos, agyagos üledékekre, vagy késő-miocén (pliocén) magas Fe és Mn tartalmú agyagos rétegekre (Tengelici Vörösgyag Formáció) települ [8-11] (2. ábra). A korábban ismert egyetlen gyevasérc telep keménypados és lág, morzsalékos kifejlődése a középső-pleisztocén rétegsor fedőjében található, mégis azzal egy, óholocén korú genetikai egységet alkot [12].



**2. ábra.** Külső-, és Belső-Somogy határterületének késő-miocén és pleisztocén-holocén földtani felépítése fúrások alapján (vö. 1. ábra).

1 – agyag, aleuritos agyag, homokos agyag késő-miocén (pannóniai) faunával 2 – vas és mangán dús vörösgyag (Tengelici Formáció), 3 – agyag, 4 – homok, 5 – agyagos homok, kőzetlisztes agyag, 6 – mésszkiválás, 7 – paleotalaj, 8 – aleurit, finom homokos aleurit mésszkiválásokkal és áthalmazott meszes gumókkal, 9 – lösz, finomhomokos lösz, M<sub>3</sub>(Pa) – késő-miocén (pannóniai) képződmények, M<sub>3</sub>(Pli) – késő-miocén (pliocén) képződmények, Plei<sub>1</sub> – kora-pleisztocén folyóvízi képződmények, Plei<sub>2</sub> – késő-pleisztocén-holocén folyóvízi, ártéri és szárazföldi képződmények, (mBf) – Balti-tenger feletti magasság méterben

MAGYARI et al. (2004, 2005) [1, 2] mikrotektonikai elemzése szerint, a Somogyi dombság mai morfológiája késő-pleisztocén-holocén neotektonikai fázisban, ÉNy-DK-i kompressziós feszültségtérben jött létre, a legfiatalabb folyóvízi üledékeket is deformáló oldaleltolódásokhoz kapcsolódva. CSONTOS et al. (2005) [13] szerint a mai morfológiát a prekvarter aljzatot deformáló posztpannon tektonikai események hozták létre, ami ma is a felszín differenciált emelkedésében jelentkezik.

A vizsgált területen mélyült fúrások késő-miocén rétegsorát két jelentősebb, NyDNy-felé dőlő normálvető veti el (1, 2. ábra). A Külső-, és Belső-Somogy határának megfelelő Somogyvár-Ostropán-Kaposújlak vonaltól (Pogány-völgyi víz) Ny-ra a késő-pleisztocén lösz és áthalmazott lösz, valamint folyóvízi homok és aleuritos homok rétegek a kiemelt helyzetben lévő, késő-miocén, pannóniai Tihanyi Formáció lepusztult felszínére települnek. A másik jelentős normálvető helye, a korábbival közel párhuzamos csapású Korokna-patak völgyének felel meg. A két szerkezeti elem közti késő-pleisztocén morfológiai lépcsőn áthalmazott lösz, és időszakos állóvizek finomabb szemcséjű üledékei találhatóak. Bár a rétegsor mélyebb szakasza kisebb vastagságú mocsári üledéket tartalmaz, ezen a területen jelentősebb gypvasérc telep nem található a felszínen.

A Korokna-pataktól Ny-ra elhelyezkedő területen a késő-miocén, pannóniai és pliocén képződmények, a morfológiai lépcsőhöz képest 80-100 m-el mélyebben találhatóak. A vető mentén, a Balaton medencéjébe D-ről É-felé tartó vízfolyások folyóvízi-ártéri, homokos mederüledékei, a vetőtől ÉNy-felé pedig elláposodott ártéri részeken, lápi-mocsári képződmények rakódtak le a felső-pleisztocén során.

A pleisztocén legvégén felhalmozódott fiatal lösz részben lefedi a neotektonikai folyamatok által létrehozott morfológiai különbségeket [8, 9], részben további deformációkat szenved [1, 2], miközben a völgyekben aleuritos homok, homokos aleurolit, áthalmazott löszös iszap, helyenként tőzeg, a dombháton homokos lösz rakódott le [8-10].

A Belső-Somogy területén a holocén patakok bevágnak az idősebb lápi képződményekbe és a kevert löszös és alluviális üledékekbe, áthalmazva azok üledékét. A kiemeltebb területeken vörösbarna erdőtalaj képződött a késő-holocénben. Ez a képződmény K-felé, a Külső-Somogy területén részben erodálódott, jelezve a terület jelenkorban is aktív emelkedését [8, 9].

Jelen tanulmányban összegzett kutatásunknak két célkitűzése volt. Egyrészt a felszíni feltárások földtani vizsgálatával és a területen mélyült fúrások adatainak felhasználásával a somogyi gypvasérc telepek genetikájának felvázolása. Másrészt a somogyi gypvasércek archaeometallurgiai szempontból fontos foszfor és CaO tartalmának meghatározása geokémiai vizsgálati módszerek segítségével, illetve a szándékos mészbeadagolás lehetőségére vonatkozó hipotézis alátámasztása földtani adatokkal.

## 2. Geokémiai és mikroszerkezeti vizsgálatok

Feltérképeztük a régészetileg feltárt vaskohászati műhelyek topográfiai helyzetét, és a gypvasérc telepeket azok közelében, elsősorban a jelenkori patakok, vízfolyások medreiben, természetes feltárásokban próbáltuk megtalálni. A gypvasérc telepekről begyűjtött mintákon a kémiai összetétel meghatározása céljából röntgen fluoreszcens vegyelemzést (XRF) végeztünk. Néhány mintán az ásványos fázisok meghatározását röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálattal végeztük el (I., II. táblázat).

**I. táblázat:** XRF vizsgálati eredmények a főbb oxidokra

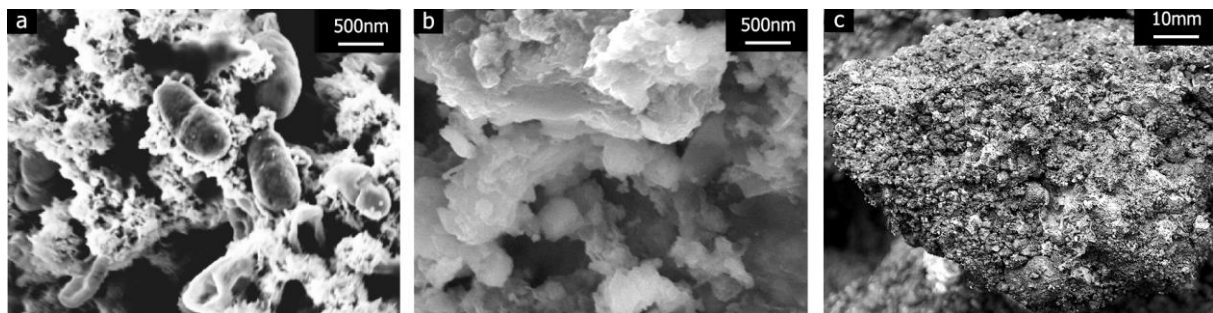
#	Terület	Minta származási helye	Kémiai összetétel a fontosabb oxidokra (wt%)							Összes
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1	Külső- és Belső-Somogy határa Somogyfajsztól D-re	Somogyfajsz, legelő, EOV(535.065; 129.021)	63.10	27.90	3.08	0.80	0.59	1.58	0.03	97.08
2		Somogyfajsz, Fajsz-patak, EOV(536.065; 130.005)	4.90	68.90	0.88	13.40	0.94	4.24	0.13	93.39
3			3.50	71.60	0.35	14.40	2.15	3.60	0.39	95.99
4			11.40	52.30	1.28	22.90	0.64	4.33	0.05	92.90
5		Somogyfajsz, Erdőirtás, EOV(534.660; 130.896)	14.40	64.10	1.54	11.00	2.01	3.06	0.16	96.27
6	BV határa	Libickozma, Korokna-patak, EOV(534.218; 131.321)	26.90	46.30	2.39	12.90	3.33	2.70	0.15	94.67

7		Libickozma, Aranyos-patak, EOV(532.902; 130.885)	22.80	50.80	0.92	14.40	2.70	2.76	0.09	94.47
8		Libickozma, Aranyos-patak, lencséből fentről lefelé, EOV(532.949; 130.562)	25.30	42.30	1.80	18.40	3.77	1.24	0.03	92.84
9	9.30		73.50	0.48	9.10	1.30	3.32	0.32	97.32	
10	13.30		62.20	0.50	8.90	8.80	2.60	0.21	96.51	
11	20.40		60.10	0.75	3.17	10.70	2.83	0.24	98.19	
12	Belső somogy	Somogyszob, Kócsmóna-patak, EOV(515.132;106.650)	14.00	61.40	3.32	10.00	3.57	3.29	0.33	95.91
13			26.00	54.20	4.46	2.51	5.30	3.02	0.28	95.77
14		Somogyszob Kócsmóna-patak lencséből fentről lefelé, EOV(515.132; 106.650)	19.20	67.30	3.62	2.41	0.96	3.62	0.35	97.46
15			5.20	14.40	1.18	63.90	2.95	0.70	0.08	88.41
16			Petesmalom, EOV(530.807; 099.280)	3.82	81.00	0.46	3.44	1.61	6.60	0.12

**II. táblázat:** XRD vizsgálati eredmények és a számított kémiai összetétel

#	Terület	Minta származási helye	Fázis összetétel (wt%)						Összes	
			Quar	Calc	Goet	Musc	Illi	ChmA		
14	Belső somogy	Somogyszob Kócsmóna-patak lencséből fentről lefelé, EOV(515.132; 106.650)	20	10	45	10	-	15	100.00	
15			10	70	10	-	5	5	100.00	
16		Petesmalom, EOV(530.807; 099.280)	3	-	90	-	-	-	93.00	
			Számított kémiai összetétel (wt%)						Összes	
			SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
14	Belső somogy	Somogyszob Kócsmóna-patak lencséből fentről lefelé, EOV(515.132; 106.650)	13.38	39.22	0.12	11.08	3.18	30.78	1.91	99.67
15			27.85	5.60	0.37	46.71	7.60	4.40	6.57	99.10
16		Petesmalom, EOV(530.807; 099.280)	3.00	-	-	80.88	-	-	9.12	93.00

A vizsgálatra begyűjtött somogyi gyevasérc mintákra néhány mm átmérőjű, limonittal összecementált gumókból álló makroszerkezet volt jellemző (3c. ábra). A minták pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) anyagvizsgálatával nagy fajlagos felületű, legfeljebb 100 nm átmérőjű, főként goethitből álló (II. táblázat) szemcsés mikroszerkezetet figyeltünk meg (3b. ábra).



**3. ábra.** A Somogyi gyevasérc bakterialis genetikára utaló mikro- és makroszerkezete. a) Vasbaktériumok sejtfalán kívül kialakuló vashidroxid szemcsék (KAPPLER & STAUB 2005) SEM alatt; b) Somogyi gyevasérc gumó szemcsés mikroszerkezete SEM alatt (a vizsgált vasérc a 16-os mintából származik, ld. I. és II. táblázat); c) Somogyi gyevasérc gumós makroszerkezete.

Geokémiai és mikroszerkezeti vizsgálati eredményeink alapján úgy gondoljuk, hogy a vizsgált területen feltáródó gyevasérc telepek biogén eredetűek, a vízben oldott Fe(II) kiválása vasbaktériumok közreműködésével történik. A vasbaktériumok olyan prokarióták, amelyek az élettevékenységükhöz szükséges energiát a Fe(II) oxidációjából nyerik. A Fe(II)

biogén oxidációjának eredménye képen vízben nem oldódó, nagy fajlagos felületű (akár 100-200m<sup>2</sup>/gramm [14]), rosszul kristályosodó ferrihidrit (Fe(OH)<sub>3</sub>) keletkezik, amelyben a szemcsék mérete a nanométeres nagyságrendbe esik (vö. 3a és 3b ábra) [15]. A Fe(II) biogén oxidációja a sejten kívül történik, majd a ferrihidrit vízvesztéssel goethitté (α-FeOOH) vagy lepidokrokittá (γ-FeOOH) alakul, amely ásványok a vasbaktériumok sejtfalán kívül kristályosodnak [16].

A vizsgált gyevasérc minták nagy foszfortartalma alapján a somogyi gyevasérc kialakulása mocsári környezethez köthető, a foszfor a lápos, mocsaras terület vegetációjából származó szerves anyag bomlásából került a vízbe. A ferrihidrit nagy fajlagos felülete miatt a mocsári környezetben könnyen adszorbeálhat foszfát- (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) és arzénát- (AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) ionokat [15]. A somogyi gyevasérc nagy arzéntartalma egyrészt a késő-miocén bázikus vulkanizmusból, másrészről a felszín alatti vizek természetes arzéntartalmából ered.

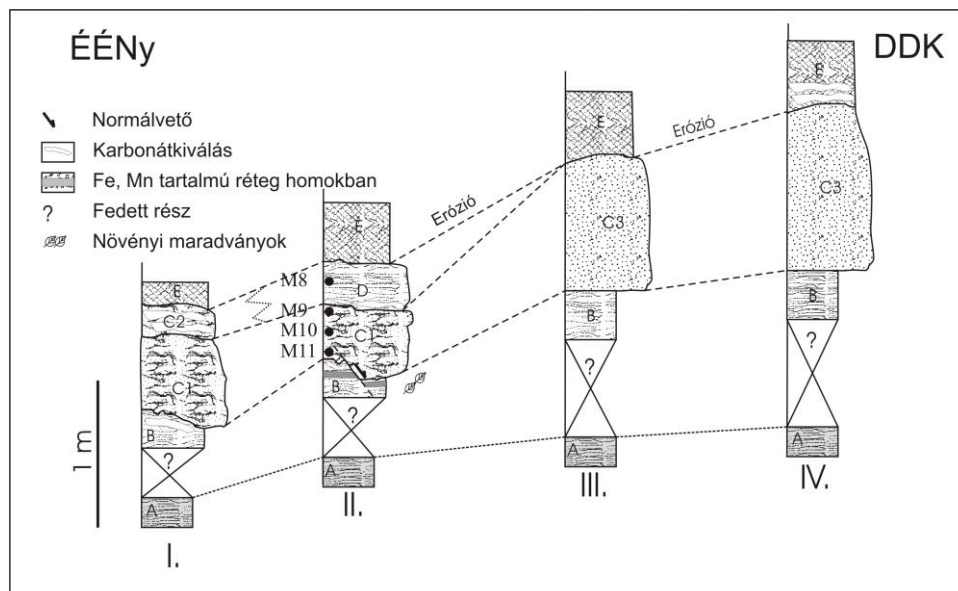
A vizsgált gyevasércekre jellemző a nagy mangántartalom is, amely több minta esetén jellegzetes kék színt okozott. A mangánnak a vasásványokba való szubsztitúciós beépülését a Fe<sup>2+</sup> és a Mn<sup>2+</sup> ionok méretének hasonlósága teszi lehetővé [17].

A vizsgált gyevasércekre jellemző a nagy kalcium tartalom, ezzel ellentétben az ország más részein, régészeti feltárt vaskohászati műhelyekből előkerült gyevasérc jellemzően savanyú karakterisztikájúak voltak, nagyon kevés meszet tartalmaztak [18-20].

A somogyi gyevasérc elegendően nagy vastartalmúak, ez tette lehetővé kohósításukat [21].

### 3. Földtani megfigyelések értelmezése

10-15 cm vastag, 10 m átmérőjű biogén gyevasérc lencse természetes feltáródása figyelhető meg az Aranyos-patak bevágásában (4. ábra II. szelvény, I. táblázat 8-11 minta), ahol az ártéri mocsári kifejlődés és annak feltöltődése, majd a rétegsor felső részének áthalmazódása és talajosodása is nyomon követhető, a gyevasérc telepek különböző megjelenési formáival (4. ábra, I-IV szelvény).



**4. ábra.** Az Aranyos-patak (vö. 1. ábra) bevágása által feltárt, gyevasércet tartalmazó rétegsor szelvénye és korrelációja Libickozmánánál.

A – Sötétszürke aleuritos agyag, B – Finomhomokos agyag, agyagos finomhomok, C1 – Limonitos gumókat tartalmazó vörösbarna, barnásfekete homokos gyevasérc lencsét tartalmazó réteg, a tetején szürke agyagban feldúsuló 2-4 mm-es limonitgumókkal, C2 – Homokos agyag, agyagos homok karbonátkiválással, C3 – Sárga, limonit indikációs homok, D – Szürke, vörös barna, barnás fekete, vörös és fekete foltos, alul limonitgumós agyagos aleurit, E – Humuszos homok, homokos, humuszos agyag, M 8-11 – Mintavételi helyek

A rétegsor legalsó képződménye egy ártéri-mocsári csillámos szürke agyag (4. ábra, A réteg), amelyre növénymaradványos agyagos finomhomok települ (4. ábra, B réteg). Ennek erodált felszínén 0,6-1,0 m vastag, limonitos kötőanyagú, középszemcsés homok következik. A homokrétégben összefüggő, sötétbarna, fekete, limonittal cementált, 2-4 mm-es gumós makroszerkezettel jellemezhető biogén gyevasérc lencse található. A biogén gyevasérc lencsét tartalmazó durvább szemű törmelék fölött ismét finomabb, mocsári körülmények közt keletkezett, vörös és fekete foltos agyagos aleurit települ. A D-felé kiékelődő réteg alsó részén (4. ábra, C1 és D réteg határa) mocsári agyagba áthalmozott Fe és Mn granulátumból álló szint található. Ez a réteg É-felé több homokot tartalmaz, ami a lápi környezet foltos, kis kiterjedését jelzi. A rétegsort fekete, morzsalékos szerkezetű láptalaj [22] és jelenkori humusz fedő (4. ábra, E réteg).

Az ártéri-mocsári üledékképződés a völgyek aktív süllyedésekor, részben a fiatal lösz felhalmozódása előtt, részben azzal egyidőben zajlott [8-10]. A hullóporból és a kiemeltebb területek lepusztuló löszös képződményeiből származó Ca, a feltöltődött, egykori lápos területek és környezetük talajképződési folyamataihoz kötődve [22] mészkiválási szintekben jelenik meg (4. ábra D, E rétegek), utólagos meszesedéssel a biogén gyevasérc lencsét is érintve. Az ismertett rétegsort a jelenkori vízfolyások átvágják, jelezve a terület késő-pleisztocén követő megemelkedését. A terület emelkedésével összefüggésbe hozható a D-ről érkező durvább, homokos törmelék behordódása, amelynek nagy pórusterfogata kedvező környezetet teremtett a vasbaktériumok számára. Az ismertett rétegsorral azonos felépítésű szelvény található Somogyiszobon a Kócsmóna-patak jelenkori bevágásának partfalában (I. táblázat 12-15 minta).

A megemelkedő térszín és a talajvízszint relatív csökkenése, valamint a láp-, és öntéstalajosodási folyamat, a lápos területet D-ről határoló homokos rétegsorban is mészkiválásokat és erős limonitos indikációkat hozott létre (Somogyfajszól D-re levő feltárások és a Fajszí-patak bevágása). A késő-pleisztocén lapterületek mai geomorfológiai helyzetének és a fiatal tektonikai mozgásoknak a kapcsolatát elsőként LÁSZLÓ (1913) [23] és ERDÉLYI (1962) [9] vetette fel. A fiatal szerkezeti emelkedés miatt bevágódó patakok, a biogén gyevasérc lencsék granulátumait és gumóit áthalmozva, áthalmozott gyevasérc rétegeket hoztak létre, természetes úton dúsítva a kemény Fe és Mn gumókat. A folyamat a jelenkorban is tart, amit a mai patakok medrében található áthalmozott, a biogén gyevasérc lencséből származó, Fe és Mn gumókat tartalmazó rögök igazolnak. Ilyen áthalmozott gyevasérc réteg jelenik meg a somogyfajszói erdőirtáson (5 minta), libickozmai Korokna- (6. minta) és Aranyos-patakban (7 minta), petesalmi tófenéken (16 minta) (ld. I. Táblázat).

Mivel a mészkiválások szintjére leginkább a pH változásra érzékeny, eredetileg savas kémhatású, de a magas Ca tartalomnak és a mocsár megszűnésének köszönhetően egyre bázikusabb láptalajokra jellemző folyamat, ezért a karbonátkiválások a jó minőségű biogén gyevasérc lencsék, és a talajosodáshoz kötődő limonit indikációk állandó kísérői ezen a területen, pl. somogyfajszói legelő és Fajszí-patak (I. Táblázat, 1-4 minta). A magas Ca tartalom a késő-pleisztocén hullóporból és a kiemelt területek lepusztuló löszös rétegeiből származhat.

#### 4. Következtetések

Terepi megfigyeléseink, valamint a geokémiai és mikroszerkezeti vizsgálati eredményeink alapján a III. táblázatban összefoglalt terminológiát vezetjük be a Somogyi gyevasércekkel kapcsolatosan.

**III. táblázat:** A somogyi gyevasérccek genetikájával kapcsolatos terminológia

Fogalom	Értelmezés
Biogén gyevasérc lencse	Elsődleges, főként vasbaktériumok életműködése következtében, mocsári környezetben kialakult, lencse alakú gyevasérc telep.
Áthalmazott gyevasérc réteg	A feltáródó biogén gyevasérc lencse áthalmazódásával létrejött másodlagos, torlatos gyevasérc telep.
Limonit indikáció	Első sorban kémiai oxidációval létrejövő, mocsári környezethez nem köthető, sávós illetve konkréciós megjelenésű gyevasérc telepek.
Gyevasérc telep	A gyevasérc előfordulások (biogén gyevasérc lencse, áthalmazott gyevasérc réteg és limonit indikáció) összefoglaló elnevezése.

A somogyi gyevasérc telepeket genetikailag három csoportba sorolhatjuk:

1) Elsődlegesen, késő-pleisztocén ártéri mocsári, lápi környezetben, vasbaktériumok életműködése következtében kialakult *biogén gyevasérc lencsék*. A biogén gyevasérc lencsék kialakulásához szükséges folyóvízi-ártéri környezet igazolhatóan aktív késő-pleisztocén tektonikai szerkezetek segítségével alakult ki. A biogén gyevasérc lencsék képződéséhez szintén szükséges, felszínközeli vizekben található magas oldott vastartalom a Külső-Somogy területén felszín közelbe került és részben lepusztult, illetve a levett oldalon a vastagabb késő-pleisztocén rétegsor alatt szintén megtalálható Tengelici Vörösagyag Formációból származik. A vas oldékonyságát, a felszín alatti vizek magas széndioxid tartalma fokozhatta.

2) Elsődlegesen, főként kémiai úton, láptalajok és öntéstalajok képződéséhez kötődő, a talajvíz határán és fölötté, a kapilláris zónában megjelenő *limonit indikációk*. A talajosodást kísérő limonit indikációk részben a mészkiválásos szinthez kötődnek, részben a rétegsor felsőbb rétegeiben is megjelennek. Ez a kiválás részben egyidős a mocsaras területek biogén gyevasérc lencséivel, részben azoknál fiatalabb. A talajvíz állandóan magas vastartalma miatt, szinte minden területen előfordulhat, jellemzően a lápos területek szegélyén, és a kiemeltebb területeken, ahol a magas vastartalmú talajvíz jelen volt a homokos képződmények pórusaiban.

3) Másodlagos, *áthalmazott gyevasérc rétegek*. A késő-pleisztocén, széles folyóvízi-ártéri környezet és az egészen vagy részben feltöltődött lápok területe, a késő-pleisztocén után, a kora-holocénben kezdődve megemelkedett, amely a korábbi üledékképződési térszín É-ről D-re növekvő mértékű lepusztulását, a patakok bevágódását és a biogén gyevasérc lencsék felszín közelbe, vagy a felszínre kerülését, a jelenkori patakok általi feltáródását eredményezte.

Elsősorban a feltáruló gyevasérc lencsékben és az áthalmazott gyevasérc rétegekben található gyevasérc szolgált a területen folyó intenzív avar és honfoglalás kori vaskohászat ércbázisául, a limonit indikációknak arcaeometallurgiai szerepe nem volt. Bár a gyakran mészkiválásos szinttel kísért somogyi gyevasérc telepekben a gyevasérc foszfortartalma nagy volt, így kohósításukkal rossz mechanikai tulajdonságokkal rendelkező, nagy foszfortartalmú vasanyagot lehetett általában előállítani, a területen és a gyevasércekben természetes módon jelenlévő kalcium-karbonátnak köszönhetően a vasbucák foszfortartalma csökkenthető volt.

**Irodalom**

- [1] MAGYARI Á., MUSITZ B., CSONTOS L. & BRIGITTE VAN VLIET-LANOE 2005: Quaternary neotectonics of the Somogy Hills, Hungary (part I): Evidence from field observations. — *Tectonophysics* **410**, 43–62.
- [2] MAGYARI Á., MUSITZ B., CSONTOS L., BRIGITTE VAN VLIET-LANOE & UNGER Z. 2004: Késő-negyedidőszaki szerkezetfejlődés vizsgálata Külső-Somogyban terepi mikro-, és morfortektonikai módszerekkel. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2002(2004)*, 111–128.
- [3] BUDAI T., GYALOG L. (SZERK.), ALBERT G., CHIKÁN G., CSILLAG G., HORVÁTH A., KERCSMÁR ZS., KOLOSZÁR L., KONRÁD GY., KORBÉLY B., KORDOS L., KOROKNAI B., KUTI L., PELIKÁN P., PRAKALVI P., SELMECZI I. & ZELENKA T. 2010: Magyarország földtani atlasza országháróknak, M=1:200.000. — *Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, második javított és bővített kiadás*, 276 p.

- [4] GÖMÖRI J. 2000: Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában, Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség. — *Soproni Múzeum –MTA VEAB*, Sopron, 373 p.
- [5] THIELE Á., TÖRÖK B. & KÖLTŐ L. 2013: Energy dispersive X-ray analysis (SEM-EDS) on slag samples from medieval bloomery workshops – the role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron in Somogy County, Hungary. — *Proceedings of the 39<sup>th</sup> International Symposium for Archaeometry, Leuven. (in press)*
- [6] STEWART J. W., CHARLES J. A., & WALLACH, E. R. 2000a: Iron-Phosphorus-Carbon system, Mechanical properties of low carbon iron-phosphorus alloys. — *Material Science Technology* **16**, 275–282.
- [7] TÖRÖK B. & THIELE Á. 2013: Smelting bog iron ores under laboratorial conditions - the role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron in Somogy county. — *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (in press)*
- [8] ERDÉLYI M. 1961: Külső-Somogy vízföldtana. — *Hidrológiai Közöny* **41/6**, 445–528.
- [9] ERDÉLYI M. 1962: Külső-Somogy vízföldtana. — *Hidrológiai Közöny* **42/1**, 56–65.
- [10] MAROSI S. 1970: Belső-Somogy kialakulása és felszínalakítása. — *Földrajzi tanulmányok* **11**, A Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézetének kiadványai, 162 p.
- [11] KOLOSZÁR L. 2004: A Tengelici Formáció kifejlődései a DK-Dunántúlon. — *Földtani Közöny* **143/3**, 345–369.
- [12] KOCH S. & SZTRÓKAY K. 1989: Ásványtan I-II. — Tankönyvkiadó, Budapest, 936 p.
- [13] CSONTOS L., MAGYARI Á., BRIGITTE VAN VLIET-LANOE & MUSITZ B. 2005: Neotectonics of the Somogy Hills (Part II): Evidence from seismic sections. — *Tectonophysics* **410**, 63–80.
- [14] RZEPA BAJDA T. & RATAJCZAK T. 2009: Utilization of bog iron ores as sorbents of heavy metals, *Journal of Hazardous Materials* **162**, 1007–1013.
- [15] KAPPLER A. & STRAUB K. L. 2005: Geomicrobiological Cycling of Iron. — *Reviews in Mineralogy & Geochemistry* **59**, 85–108.
- [16] BLAKE R. I.I. & JOHNSON D.B. 2000: Phylogenetic and biochemical diversity among acidophilic bacteria that respire iron. In: LOVELY D.R. (Ed.): *Environmental microbe-mineral interactions*. ASM Press, Washington, 53–78.
- [17] PÁPAY L. 2003: *Kristályok, ásványok, kőzetek* — JATE Press, Szeged, 182–183.
- [18] TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. 2010: Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early Medieval Avar Metallurgists. — *Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress, Istanbul*, 386–397.
- [19] TÖRÖK B. 1995: Chemical and Metallographic Analysis of Iron Ores and Slags Found in Medieval Bloomery Sites and Obtained by Smelting Experiments. — *Archaeometallurgy of Iron in the Carpathians Region, Seminar Herlany, Studijné Zvesti Archeologického Ústavu Slovenskej Akadémie Vied, Nitra, 1995*, 279–295.
- [20] TÖRÖK B. 1997: About the Technical Investigations of Ore, Slag and Wall-fragment Samples Found Next to the Sites of Nemeskér-type Furnaces. — In: GÖMÖRI J. (Ed.): *Traditions and innovations in the early medieval iron production*. — MTA VEAB Iparrégészeti és Archeometriai Munkabizottság kiadványa, Sopron-Somogyfajsz, 160-069.
- [21] THIELE Á. & TÖRÖK B. 2012a: Vastermelés, vaskihozatal és a kohósított gypvasércek minimálisan szükséges vastartalma az avar és Árpád-kori vasbuca-kohászatban. — *Archeometriai Műhely* **8/4** pp. 345–350.
- [22] STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY. 1999: Talajtan. — *Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 470 p
- [23] LÁSZLÓ G. 1913: A Balaton lápjai. — *A Magyar Orvosok és Természetvizsgálók Vándorgyűlésének Munkálatai* **36**, 176–179.