

**AERIAL ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION AND DOCUMENTATION  
THE AERIAL ARCHAEOLOGICAL ARCHIVE OF THE INSTITUTE OF  
ARCHAEOLOGICAL SCIENCES OF THE EÖTVÖS LORÁND  
UNIVERSITY OF BUDAPEST**

(SUMMARY OF THE ACTIVITY IN 1993-2005)

ZOLTÁN CZAJLIK

Eötvös Loránd University, Budapest

E-mail: [zczejlik@freemail.hu](mailto:zczejlik@freemail.hu)

**Abstract**

*The Aerial Archaeological Archive of the Institute for Archaeological Sciences of the Eötvös Loránd University of Budapest has been created in 1993. It's activity is characterised by four important programs:*

- *13 years of aerial archaeological research (until 2000 in the cadre of the Hungarian-French archaeological co-operation).*
- *Exploration and mapping of aerial archaeological sites, which has been done parallel to the other activities.*
- *Processing of the data obtained from the 768 aerial archaeological sites discovered until 2006. The processing of the systematised archive has begun in two directions: we make the interpretations for the important sites and we prepare the geographical transformations of the aerial photos (if possible) and – principally in the case of settlements - we conduct intensive field surveys to control them.*
- *Cataloguing of earthwork fortifications, tell settlements and tumuli, which has been greatly supported by photographic surveys. This surveys can reveal new sites as well as new information about already known sites.*

*The research activity of 13 years makes it possible to draw some general conclusions concerning the best choice of geographical areas (Northern and Eastern Transdanubia) and periods (the 2nd and 3rd weeks of June) for the most fruitful research.*

KULCSSZAVAK: LÉGI RÉGÉSZET, TÉRKÉPEZÉS, ÉRTELMEZÉS, TEREPIJÁRÁS

KEYWORDS: AERIAL ARCHAEOLOGY, MAPPING, INTERPRETATION, FIELD SURVEY

**Introduction**

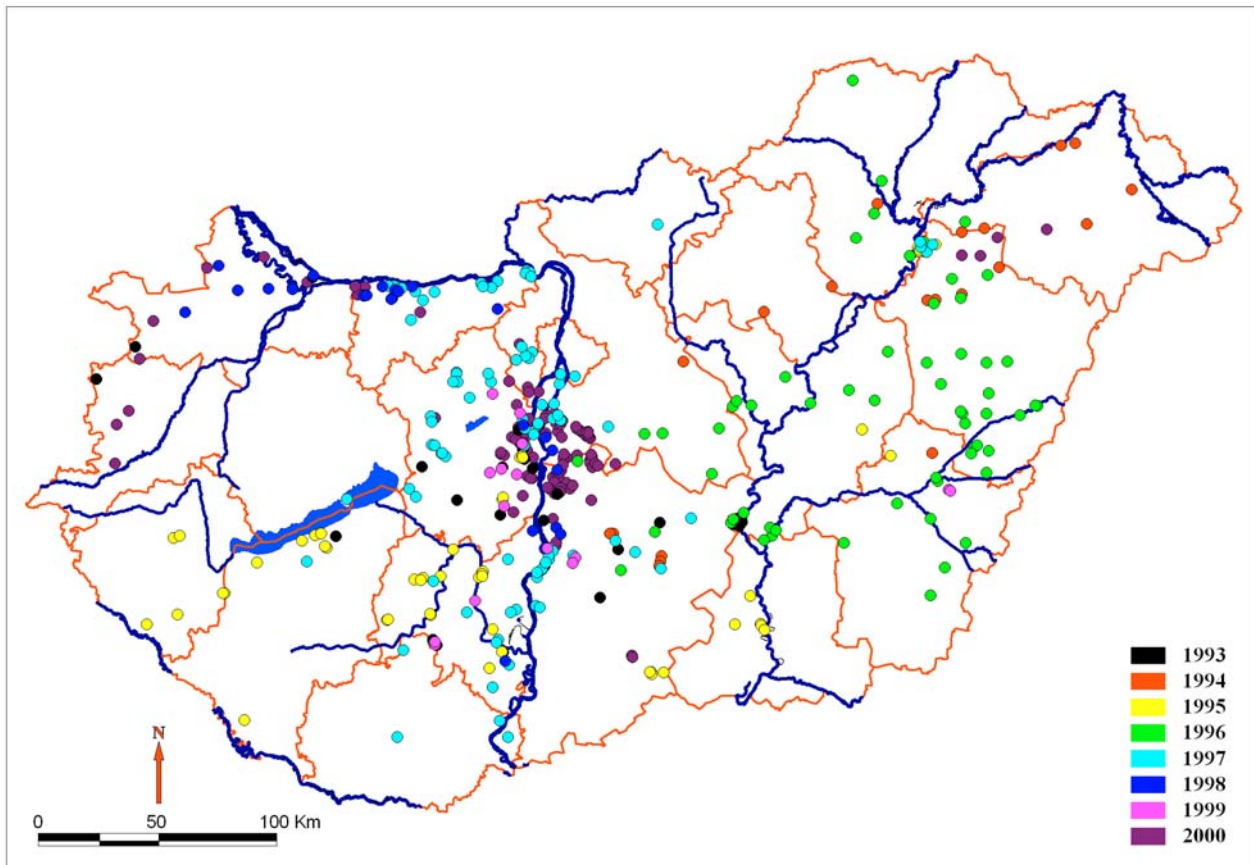
It's a historical fact, that the common use of the aeroplane – developed at the turn of the 19th and 20th centuries – and the photography has been initiated in the First World War. The analysis of the archaeological sites observed during war-time reconnaissance flights has led to a new method in the 1920's: to the development of the aerial archaeology (for the history of the international research see: Leidorf 1996, 33-37).

The situation was similar in Hungary, where the initiator of the research, Sándor Neogrády has served in the former Austro-Hungarian army. He took his first aerial photos in 1917 at the Italian front and from 1920 onwards he had a role in the establishing of the topographical aerial photography in Hungary. He has also found archaeological sites during his work and he managed to attract the attention of the Hungarian

researchers. Unfortunately he did not received any support, and the period of the 2<sup>nd</sup> World War as well as Cold War period were not suitable for any kind of substantive research (for the short summary of the Hungarian research see: Goguey, Szabó 1995, 18-19).

The political changes in 1989/90 brought a definitive turn. It became to be possible to conduct aerial archaeological research – although under the control of the military censorship until 2000. From that time the National Office of Cultural Heritage issues the permissions.

The research has begun at three institutions with the participation of home and foreign researchers: the Archaeological Institute of the Hungarian Academy of Sciences, the University of Pécs and at the Institute of Archaeological Sciences of the Eötvös Loránd University of Budapest from the beginning of the 1990's.



**Fig. 1.**

Aerial archaeological sites, prospected by R. Goguey (1993-2000), mapping by A. Bődöcs in 2006

The main task of the GIS Laboratory – created in 1993 as a part of the Archaeological Institute of the Eötvös Loránd University – was to process the GIS background of the rescue excavations on the M3 motorway in Hajdú-Bihar county (see: Czajlik & Holl 1996, Czajlik et al. 1997, 1999, Raczky et al. 1998, 2002). The creation of the laboratory has made possible the starting of linked scientific projects. We could manage the background research in the case of the aerial archaeological project between 1993 and 2000 in the cadre of a Hungarian-French co-operation. The initiation of that research comes from Prof. Miklós Szabó (on the Hungarian side) and from René Goguey (on the French side) and the main sponsors were the Ministry for Foreign Affairs of the French Republic, the Regional Council of Burgundy (France), the Institute of Archaeological Sciences of the Eötvös Loránd University of Budapest and the Balaton Program. Anne Violot-Richeton documentarian and Zoltán Czajlik archaeologist have been participating in the project from its very beginning.

### ***Hungarian-French aerial archaeological research (fig. 1)***

The main task of the aerial archaeological project starting in 1993, were the support of the Hungarian-French Iron Age research as well as the support of the regional research on the Northern part of the Great Hungarian Plain by the Institute of Archaeological Sciences of the Eötvös Loránd University, Budapest. According to the personal devotion of the French pilot René Goguey, the other main objective was the research of the Roman Danube frontier and Pannonia.

The practical experience – based on the very good weather and soil conditions during the aerial archaeological research - has made it clear, that the most important objective of the aerial research (of 30-40 hours a year) is the preliminary exploration of the whole surface of Hungary. That's why we have decided in the first five years to explore separate regions in order to avoid long aerial trips. This method has been proven very efficient as we have always changed the base airports.

The county museums offered us their aid and we co-operated during the airport use with the Jósa András Museum of Nyíregyháza in 1994, the Rippl-Rónai Museum of Kaposvár in 1995 and the Déri Museum of Debrecen in 1996. We had to get used to the circumstance, that the one-week-long aerial archaeological actions had to be scheduled, because of technical reasons. This means, we have done our research in regions, where the growth of the cereals on the fields has been appropriate.

Between 1993 and 1997, we could use the aeroplane of the Regional Council of Burgundy, a special plane of the type Robin 3000 (registry sign F-GKRB) adapted to the needs of aerial archaeology (board-GPS by Garmin, camera windows built into the door and into the rear fuselage). From 1998, we have used the Cessna 172 aeroplane (registry sign HA-SLG) of the Őcsény Aviation Club, piloted by Péter Cziráki. That plane had a more precise Garmin board-GPS and a camera window in the door. The photos have been taken almost exclusively by René Goguey on conventional films (mainly Kodak Ektachrome) using professional Nikon and Leica cameras. In 1997-1998 and in 2000 Zoltán Czajlik has made photos too, he has taken principally panoramic views to help the identification of the sites.

The processing of the photos has been managed to keep pace with the exploratory research. The basic processing was the preliminary identification (with interpretation sketches in many cases) of the sites, based on the slide copies and digitalised photos handed over by the French partner and on the GPS co-ordinates. The main task of the Hungarian participants was to get the appropriate topographical maps and to identify the sites on the photos. The most of this task has been done in the cadre of the Hungarian Scientific Research Fund Program (nr. T043762) using the benefits of the Balaton program (French-Hungarian bilateral governmental co-operation), too. The identification process has been finished early in 2006.

Year	Time period	Base airport	Number of identified aerial archaeological sites
1993	9-14th June	Sármellék	39
1994	3-7th July	Nyíregyháza	18
1995	26th June - 1st July	Kaposújlak	52
1996	11-18th June	Debrecen	70
1997	17-22nd June	Balatonkiliti	96
1998	5-8th June	Budaörs	38
1999	19-25th June	Budakeszi	38
2000	17-22nd June	Budakeszi	81
1993 - 2000		Total	432
1993 - 2000		Average (yearly)	54

**Fig. 2.**

Aerial archaeological prospections (R. Goguey, 1993-2000)

During the primary identification, we have found 432 aerial archaeological sites (**Fig. 2**). The term „aerial archaeological site” means we have identified 432 places on the 1:10,000 maps altogether using the GPS co-ordinates (rather inaccurate before 2001 because of political and technical reasons) where René Goguey has taken his photos. This number of 432 does not equal with the number of the new sites discovered since the structures seen on the photos could also reveal the following phenomena:

- non-archaeological phenomena (like traces of modern and 19th century farms esp. on the Great Hungarian Plain)
- drains filled in, trenches from the war periods, traces of soil amelioration
- archaeological sites already known (tumuli, earthwork fortifications, etc.)

Despite of the inaccuracies mentioned above the majority of the photos taken show new archaeological sites, thanks to the working method of René Goguey who has filtered the information before he has taken any photos and he has drawn sketches in the aeroplane just over the site after he has completed an action. This method has proven very efficient during the research.

The brief evaluation of the more than 4000 photos taken at 432 aerial archaeological sites during 8 years leads to the following experience:

- the best time interval for aerial archaeological operations in Hungary is linked to the seeding of the cereals planted at autumn, which means usually the 2nd and 3rd week of June. A slight discolouration of the cereals planted in autumn can be observed under circumstances in the 1st week of June and the discolouration is still visible in the 1st week of July – just before harvest. This discolouration is visible even in the spring growth just after plantation.
- Most of the aerial archaeological sites are located in the eastern part of Transdanubia (**Figs. 3-4**) as well as between the Danube and the Tisza and in the Kisalföld (the latest applies for certain years only). Despite of the base airports at Nyíregyháza and Debrecen we have identified only a relative small number of new sites on the Great Hungarian Plain and the same happened when the base airport has been set to Sármellék and Kaposújlak: the number of the sites in Zala and Somogy county is relatively small.
- We believe that the scheduling of the operations has significantly influenced the effectivity of the research, but the results show that the years 1997 and 2000 were very efficient, in contrast to the year 1994 of no avail. In certain years the greenery appeared on the whole surface of Hungary (1993) but sometimes we could observe a mosaic-like pattern (1998, 2000).





**Fig. 3 a-b.**

Beloianisz – Nagy Vadas: Traces of a medieval farm(?) and the field usage (photo: R. Goguey, 12 June, 1993; interpretation: A. Violot-Richeton in 1995; field survey: Z Czajlik and K. Tankó, 11 April, 2006)

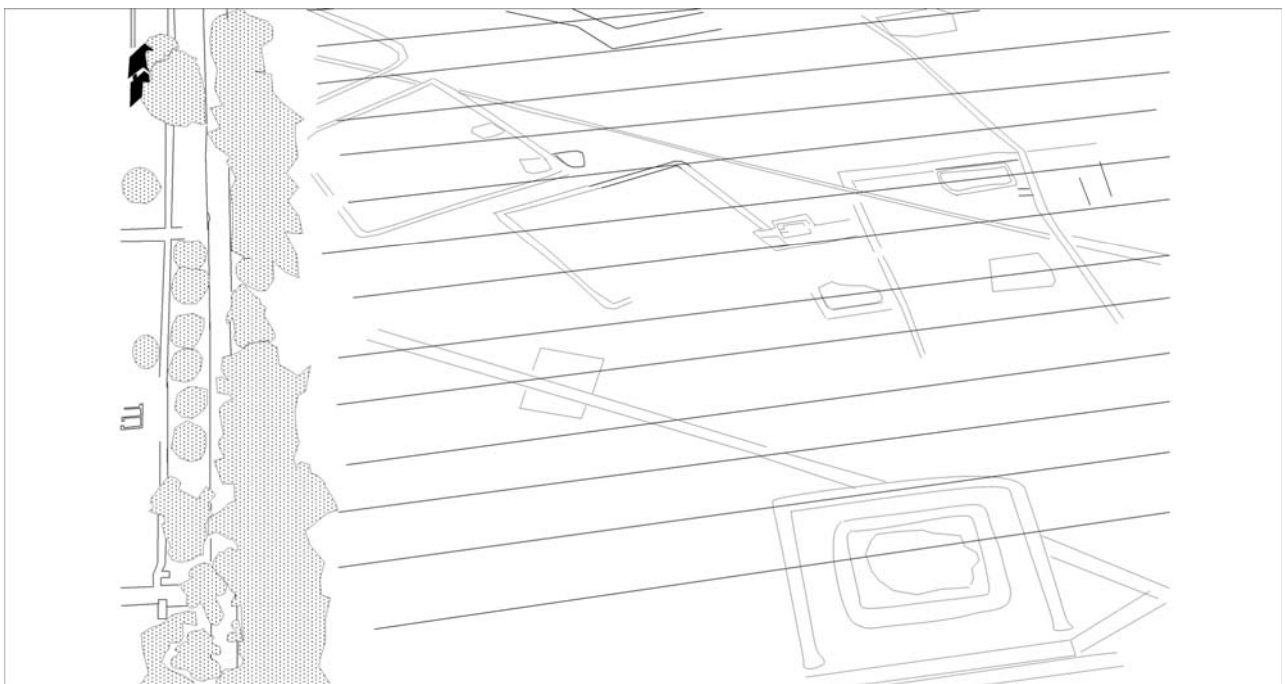
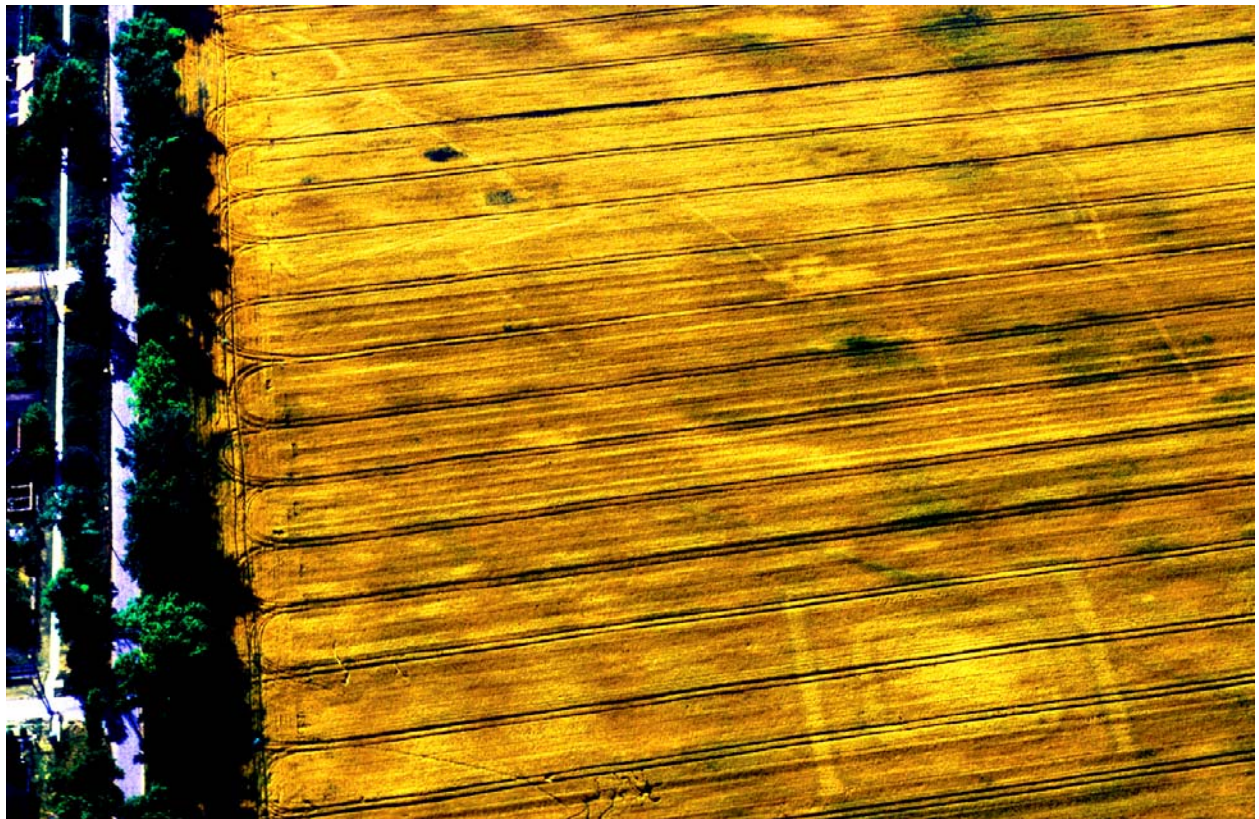


BELOIANISZ (HONGRIE)  
Recherches d'Archéologie A. Violot-Richeton - R. Goguey / Plan - A. Richeton

When we would like to have an overview of the results of the Hungarian-French co-operative research activity we can not leave the publications and exhibitions of this 8 years period unmentioned.

The first introduction of the research program was at the RCHMS conference in Oxford in September of 1995 (published only later: Goguey & Czajlik 2003) and, at the end of the same month at the conference of the Brandenburgisches Landesmuseum (Goguey 1995). In October of the same year the results were displayed for the professionals and the public at the international conference organised by the French Institute in Hungary and the Eötvös Loránd University of Budapest as well as at the joint exhibition „L'histoire vue du ciel” - The history from bird's eye view (Goguey & Szabó 1995). The novelty of the exhibition has been confirmed at a series of representations at Debrecen, Székesfehérvár, Dijon, Bibracte and Châtillon-sur-Seine. In December of 1996 he held a presentation at an international aerial archaeological conference in Prague (Goguey 1997) and the results we have displayed at a series of international exhibitions in 1997, participating 6 Central-European nations. The conference in honour of the 10<sup>th</sup> anniversary of the French-Hungarian co-operation was held just before the flight actions in 1998 with the first comparison of the prehistoric sites in Eastern France and Hungary by René Goguey (Goguey 2000a) and at the same time was published a short report on the technical background of the researches (Goguey 2000b).



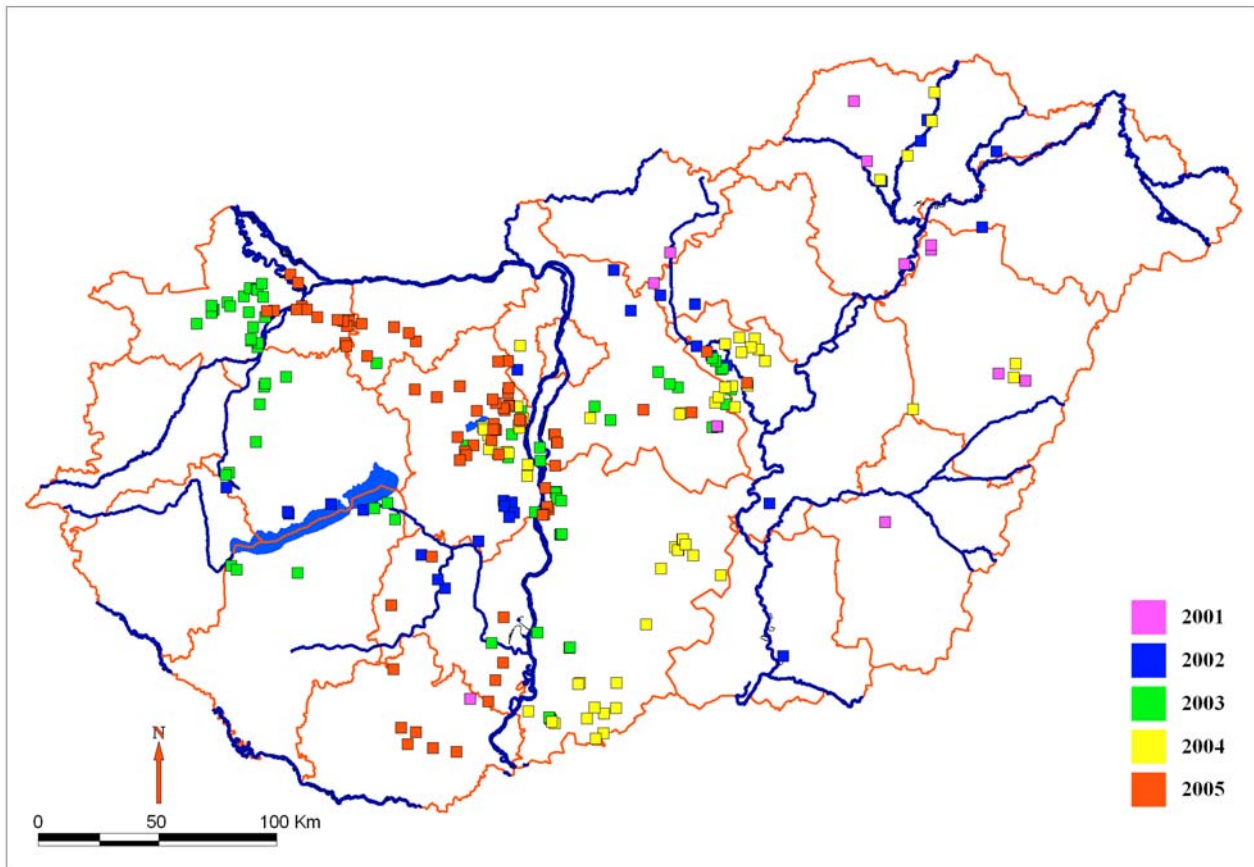


**Fig. 4 a-b.**

Ercsi – Sinatelep: Traces of a Late Roman military tower, the limes-road and a fortification? (photo: R. Goguey, 28 June, 2000; interpretation and field survey: A. Bődöcs, 2003)

Since we had outstanding results in the year 2000 there has been published a preliminary evaluation incorporating the analysis of the possibilities of the GIS processing, too (Goguey et al. 2003). The exhibition in 2002 displayed in Lyon - Saint-Romain-

en-Gal – Vienne has shown the summarisation of the results of the 8-years-long research period (Goguey 2002a). There has been also released an article for the public (Goguey 2002b).



**Fig. 5.**

Aerial archaeological sites, prospected by Z. Czajlik (2001-2005), mapping by A. Bődöcs in 2006

### *Aerial archaeological prospection since 2001 (fig. 5)*

In 2000 and 2001 the financial background is supported by different projects, from 2003 by the Hungarian Scientific Research Fund Program (as mentioned above) and from 2004 onwards we can benefit the increasing support of the private sector, too. An important support is the assignment from the territorial museum organisations as order as well as a co-operation (Somogy, Bács-Kiskun and Borsod-Abaúj-Zemplén counties).

An important change since the period between 1993 and 2000, that we manage to select the best days for aerial actions considering the weather of the spring/early summer period. It means a significant difference that we have got the flight data from the previous actions (they are processed in an increasing number) which allows us to plan and schedule the aerial photography actions. The technical development – the evolution of the digital photography and the use of video cameras – can be considered as an advantage compared to the past (faster processing), despite of the fact that the digital technology does not allow the same

image quality as the conventional photography technology at the same price level.

Compared to the period between 1993 and 2000 we could explore a bit less number of sites during less or equal time spent with flight between 2001 and 2005 (**Fig. 6**). The region between the Danube and the Tisza rivers as well as the Eastern-Transdanubia proved to be fruitful for the research and in certain years we had outstanding results.

Year	Time period	Summer period	Number of identified aerial archaeological sites	Bibliography
2001	6 days, 28th April - 17th November	2 days, 6-12th June	12	Czajlik 2003
	6 days, 9th March - 17th June	4 days, 1-17th June	26	Czajlik 2004a
2003	7 days, 12th January - 25th September	5 days, 24th May - 22nd June	71	Czajlik 2004b
	7 days, 31st March - 21st June	5 days, 8-21th June	59	Czajlik 2005
2005	6 days, 1st April - 28th June	5 days, 13-28th June	68	Czajlik - Bődöcs 2006
	Total		236	
2001-2005		Average (yearly)	47,2	

**Fig. 6.**

Aerial archaeological prospections (Z. Czajlik, 2001-2005)



We have found a great number of new sites in the Kisalföld region in 2003 and in the Jászság region (where the research has been not very effective before) in 2003 and 2004.

In many cases we could observe very light discolouration in the vegetation, which was seen only once before (in 2000) thanks to the precise schedule of the flight actions and the dry springtime weather in those years. In 2003 and 2004 we could identify even cemeteries of serial type and ditch-framed burials as well as the traces of long houses and houses with foundation trenches.

The results of the archaeological exploration are published in the periodical *'Archaeological Investigations in Hungary'* from 2001 onwards. We are also displaying our results on exhibitions: the most remarkable ones were at the Hungarian University of Fine Arts (January 2005), Denkmalexpo Leipzig (October 2006) and the overview of our research has been displayed at the 'Örökség Galéria' (Heritage Gallery, September, 2007).

### ***Inventory programs***

The infrastructural background built up in the GIS Laboratory of the Archaeological Institute of the Eötvös Loránd University of Budapest and the experience in archaeological GIS have made it possible to start the different inventory programs. The inventory program for tumuli, earthwork fortifications and tell settlements has been initiated by the Ministry of Environment in 1996 according to the law 1996/LIII. The database has been finished (with the exception of the Roman Age tumuli and the Medieval earthworks), but in the case of the prehistoric earthwork fortifications and the tell settlement on the Great Hungarian Plain we have also finished the topographical identification. The database of kurgans and the tumuli has been developed by Zoltán Czajlik and Balázs Holl, based mainly on the data collection of István Ecsedy and Dénes Virágh (Ecsedy 1979) and the Archaeological Topography of Hungary (MRT 1966 - 1998). The inventory of the prehistoric earthwork fortifications has been made by Gyula Nováki, Zoltán Czajlik and Balázs Holl using the data collection of József Dénes and Zsuzsa Miklós (presented in Linz, at the ÖGUF-conference in 1999, Nováki et al. 2006) and the inventory of the tell settlements has been created by a workgroup led by Pál Raczky and Nándor Kalicz (participants: Alexandra Anders, Marietta Csányi, Judit Tárnoki, Emese Gyöngyvér Nagy, Zoltán Czajlik). The most important result of the inventory work is not the publishing of the sites – known since the 19th century in many cases - but their precise coordinate definitions. Without that, there would have never been any chance to do the aerial archaeological status control, which is the base of our aerial photo research program.

### ***Aerial archaeological status control of earthwork fortifications (fig. 7)***

After the previous work, we have started the aerial archaeological status control of the earthwork fortifications. The program was funded by the Ministry of Education (program Nr. 0198/2000) between 2000 and 2002, from 2003 it is supported by the Hungarian Research Found Program (Nr. T043762).

The inventory finished in 1999 includes the status of 200 earthwork fortifications. During the survey it was a very important factor to take pictures from as many fortifications as possible at one flight action. This resulted in exploration of 5-10 fortifications per flight.

An important factor in the taking of photos, was to make the flight possibly, when the plants were defoliated. In the vegetation period we managed to take photos from the earthworks covered by trees and bushes. It became evident that the spring reveals more opportunity for the flight actions since the trees of the oak genus do not drop their leaves in the late autumn and the early sunset is very unpractical for taking pictures. The snow-covered surface is very good for both types of the fortified settlements: the ones in openings and the ones covered with vegetation.

Regarding our experience detailed above we could finish the documentation of 160 earthwork fortifications, which means 80% of the total. In addition, we have taken photos of 32 Medieval earthwork fortifications and 20 new other ones have been identified (**Fig. 5**). In many cases we could obtain more information about already know fortifications. We have to point out that the photos taken by René Goguey between 1993 and 2000 helped us to identify many fortifications not known before – an addition to the number of earthworks in our database. The results we presented at the international (Czajlik 1999) and national (Czajlik & Holl 2003) conferences, in reports (Czajlik 2004a, 2004b, 2005, Czajlik & Bődöcs 2006, Vicze et al. 2005) and in an overview (Czajlik 2006).

### ***Evaluation of the data***

After 13 years of research, we can state that the aerial archaeological research has to be continued in Hungary, because of the very good natural conditions. The best regions for the research are the region between the Danube and the Tisza rivers as well as the Eastern and Northern Transdanubia. Thanks to the good possibilities and the advantage of the airports near to Budapest (Tököl and Budaörs), we could find many new aerial archaeological sites to the South from Budapest along the riversides of the Danube down to Paks in the last 5 years. Going to the East from the Danube we could explore many sites in the zone of Dunaharaszti-Dabas-Dunavecse, even in the years of rainy or disadvantageous weather.

**Fig. 7.**

Etyek – Pince-dűlő: traces of a Bronze age earthen fort (photo: Z. Czajlik, April 1, 2005; field survey: Z. Czajlik, March 12, 2007)

**Fig. 8**

Ráckeresztúr – Malontai út mellett: Traces of a rural settlement from the Celtic period (photo: Z. Czajlik, 11 June, 2003, field survey: Z. Czajlik and A. Bődöcs, March 28, 2006)

This can be caused by the soil structure, since there is a field of gravel from the Late Pleistocene Age under this zone (Goguey et al. 2003, 80.).

The density and complexity of the aerial archaeological sites in the region to the South from Budapest (Adony-Ivánca, Zichyújfalu-Szabadegyháza, Szalkszentmárton, Bugyi, Dabas) is the reason for a full-scale photo interpretation work. This work results in the merging of the rectified photos with the maps and the processing of photo-maps.

Since the decision between archaeological sites and the other phenomena can be done only after field survey of the aerial archaeological sites, we have begun the field surveying in the spring of 2006 and our first impressions are very positive about the results. The first task of the field survey done on the fields of Ráckeresztúr (**Fig. 8**), Adony, Beloianisz, Ercsi, Perkáta, Szabadegyháza and Gárdony is to determine whether they are settlements or not. As a preliminary evaluation, we can report that the majority of the aerial sites proved to be an archaeological site of the Bronze, Celtic or Roman Ages.

*Translated by Lőrinc Timár*



**Bibliography**

CZAJLIK, Z. (1999): Archaeological Aerial Prospection in Hungary: a Landscape Vanishes... in: FASSBINDER, J. & IRLINGER, W. E.: Archaeological Prospection. Third International Conference on Archaeological Prospection, Munich 9.-11. September 1999. *Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege*, **108**, 24-25.

CZAJLIK, Z. (2003): Rövid jelentések - Short reports (Békés – Viharsarok TSZ, Cegléd – Hódula-dűlő, Hajdúszovát – Cenzus-föld, Hunya – Baják L. tanya, Konyár – Nagy Hangás-dűlő, Polgár – Ferenci-hát 2, Szeghalom – Cigányéri-dűlő, Tiszakeszi – Rigós), *Régészeti Kutatások Magyarországon – Archaeological Investigations in Hungary 2001*, KÖH, Budapest, 142., 156., 171., 173., 180., 204., 218., 229.

CZAJLIK, Z. (2004a): Légirégészeti kutatások Magyarországon 2002-ben (Rövid beszámoló az ELTE Régészettudományi Intézetének Térinformatikai Kutatólaboratóriumában végzett munkáról) - Aerial archaeological investigations in Hungary in 2002 (A short report on the work done in the GIS Research Laboratory of the Institute of Archaeological Sciences, Eötvös Loránd University), *Régészeti Kutatások Magyarországon – Archaeological Investigations in Hungary 2002*, KÖH-MNM, Budapest, 161-169.

CZAJLIK, Z. (2004b): Légirégészeti kutatások Magyarországon 2003-ban (Rövid beszámoló az ELTE Régészettudományi Intézetének Térinformatikai Kutatólaboratóriumában végzett munkáról) - Aerial archaeological investigations in Hungary in 2003 (A short report of the activity of the 3D Research Laboratory of the ELTE Archaeological Institute), *Régészeti Kutatások Magyarországon – Archaeological Investigations in Hungary 2003*, KÖH, Budapest, 111-125.

CZAJLIK, Z. (2005): Légirégészeti kutatások Magyarországon 2004-ben (Rövid beszámoló az ELTE Régészettudományi Intézetének Térinformatikai Kutatólaboratóriumában végzett munkáról) - Aerial archaeological investigations in Hungary in 2004 (A short report of the activity of the 3D Research Laboratory of the ELTE Archaeological Institute) *Régészeti Kutatások Magyarországon – Archaeological Investigations in Hungary 2004*, KÖH, Budapest, 121-142.

CZAJLIK, Z. (2006): Óskori erődítések kutatása légi régészeti módszerekkel. In: KOVÁCS, Gy. & MIKLÓS, Zs.: „Gondolják, látják az várnak nagy voltát...” *Tanulmányok a 80 éves Nováki Gyula tiszteletére*, Castrum Bene Egyesület – Históriaantik Könyvesház, Budapest, 71-80.

CZAJLIK, Z. & BÖDŐCS, A. (2006): Légirégészeti kutatások Magyarországon 2005-ben (Rövid beszámoló az ELTE Régészettudományi Intézetének Térinformatikai Kutatólaboratóriumában végzett munkáról) - Aerial archaeological investigations in

Hungary in 2005 (A short report of the activity of the 3D Research Laboratory of the ELTE Archaeological Institute). *Régészeti Kutatások Magyarországon – Archaeological Investigations in Hungary 2005*, KÖH, Budapest, 149-159.

CZAJLIK, Z. & HOLL, B. (1996): The Archaeological Chronology and the Excavation Data Bases. In: MARTON, E. ed.: *The Future of Our Past '93-'95*, MNM, Budapest, 144-150.

CZAJLIK, Z. & HOLL, B. (2003): Die Luftbildprospektion der urzeitlichen Erdburgen Ungarns. In: VISY, Zs., ed.: *Mandulavirágzás tudományos napok, Régészeti műemlékek kutatása és gondozása a 3. évezred küszöbén Pécs-Szekeşárd*, 2002. március 4-8., Pécsi Tudományegyetem Ókortörténeti és Régészeti Tanszék Régészeti Szemináriuma, Pécs, 67-82.

CZAJLIK, Z., MARTON, Á. & HOLL, B. (1997): Az M3-as autópálya régészeti leletmentéseinek térinformatikai feldolgozása Hajdú-Bihar megyében - The GIS Processing of the Rescue Excavations Associated with the M3 Motorway in Hajdú-Bihar County. In: KOVÁCS, T., ANDERS, A. & RACZKY, P.: *Utak a Múltba - Paths into the Past - Az M3-as autópálya régészeti leletmentései - Rescue Excavations on the M3 Motorways*, Budapest 1997, 153-155.

CZAJLIK, Z., MARTON, Á. & HOLL, B. (1999): Az M3-as autópálya régészeti leletmentéseinek térinformatikai feldolgozása Hajdú-Bihar megyében. *DÉM 1997-1998* **73** 193-197.

ECSEDY, I. (1979): The people of the pit-grave kurgans in Eastern Hungary, *Fontes Archaeologici Hungariae*, Akadémiai kiadó, Budapest

GOGUEY, R. (1995): Archéologie aérienne de la Seine au Danube : quelques aspects des récentes recherches sur la Bourgogne et la Hongrie. In: „Luftbildarchäologie in Mittel- und Osteuropa”. *Actes du Colloque de Berlin, 26-30 sept. 1994*. Potsdam, Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte, 227-235.

GOGUEY, R. (1997): Coopération franco-hongroise en archéologie aérienne: Cinq campagnes de recherches de 1993 à 1997. In: OEXLE, J.: *Aus der Luft – Bilder unserer Geschichte*, Dresden, Landesamt für Archäologie, 82-89.

GOGUEY, R. (2000a): Nécropoles et habitats protohistoriques : aperçu des recherches d'archéologie aérienne menées sur le quart nord-est de la France et sur la Hongrie. In: GUILLAUMET, J.-P.: *Dix ans de coopération franco-hongroise en archéologie 1988-1998*, Collegium Budapest, Budapest, 77-96.

GOGUEY, R. (2000b): Sur la route de Dijon ... au limes romain de Pannonie. *Bulletin de Centre interdisciplinaire de Recherche Aériennes* **23** 30-31.

GOGUEY, R. (2002a): *Traces dans la Grande Plaine... Photographies aériennes de Hongrie*. Exposition du 18 avril au 2 juin 2002. Musée et site archéologiques de Saint-Romain-en-Gal – Vienne.

GOGUEY, R. (2002b): L'histoire vu du ciel, *Archéologia* **395** 32-43.

GOGUEY, R. & CZAJLIK, Z. (2003): Un aspect de la coopération Bourgogne-Hongrie dans la recherche et la protection sites : le GPS, vecteur entre l'archéologue, le chercheur aérien et la carte informatisée. *CommArchHung* **23** 5-14.

GOGUEY, R. & SZABÓ, M. (1995): *L'histoire vue du ciel. Photographie aérienne et archéologie en France et en Hongrie – A történelem madártávlattól. Légi fényképezés és régészet Franciaországban és Magyarországon*. Institut Français en Hongrie – Eötvös Loránd Tudományegyetem Budapest.

GOGUEY, R., CZAJLIK, Z. & BÖDŐCS, A. (2003): Magyar-francia légi régészeti kutatások Magyarországon - Recherches franco-hongroises d'archéologie aérienne en Hongrie en 2000. *Régészeti kutatások Magyarországon - Archaeological Investigations in Hungary, 2000.*, KÖH - Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 75-86.

LEIDORF, K. (1996): Luftbildarchäologie – Geschichte und Methode. in: BECKER, H. (Zgst.) : Archäologische Prospektion. Luftbildarchäologie und Geophysik. *Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege*, **59** München.

MRT 1966 -1998: *Magyarország Régészeti Topográfija*, volumes 1-10, Akadémiai kiadó, Budapest.

NOVÁKI, Gy., CZAJLIK, Z. & HOLL, B. (2006): Kataster der prähistorischen Erdburgen Ungarns – Versuch einer umfassenden Datenerfassung zum Schutz des kulturellen, archäologischen und naturräumlichen Erbes In: Alexandra Krenn-Leeb (Hrsg.): *Wirtschaft, Macht und Strategie. Höhensiedlungen und ihre Funktionen in der Ur- und Frühgeschichte. Archäologie Österreichs Spezial* **1** 125-139.

RACZKY, P., CZAJLIK, Z., HOLL, B. & MARTON, Á. (1998): GIS and the evaluation of rescue excavations along the M3 Motorway in Hungary, *Poročilo* **24** 157-170.

RACZKY, P., PUSZTA, S., CZAJLIK, Z., HOLL, B. & MARTON, Á. (2002): Investigation of archaeological sites with the integrated application of aerial photography, magnetometer surveys and archaeological excavation. In: JEREM, E., T. BIRÓ, K. & RUDNER, E.: *Archaeometry 98. Proceedings of the 31st Symposium Budapest, April 26 - May 3 1998, Volume I, BAR International Series* **1043** (I), 135-143.

VICZE, M., CZAJLIK, Z. & TÍMÁR, L. (2005): The archaeological topography of the Northern part of the Benta-valley. In *Százhalmabatta Archaeological Expedition (SAX)*, **2**, Matrica Museum, 251-254.



# IONNYALÁB ÉS RÖNTGENANALITIKAI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA MŰTÁRGYAK ÉS RÉGÉSZETI LELETEK VIZSGÁLATÁRA

UZONYI IMRE

A Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézete

H-4026 Debrecen, Bem tér 18/C, Hungary

E-mail: [uzonyi@atomki.hu](mailto:uzonyi@atomki.hu)

## Abstract

*This paper summarizes the main features of the non-destructive Ion Beam Analysis (IBA) and X-ray Fluorescence (XRF) methods for museologists. It gives an overview about their application in the field of art and archaeological objects. The author describes the main facilities and instruments installed at the Ion Beam Applications (IBA) laboratory of ATOMKI in detail. The characteristics of analytical methods used in the laboratory are described and compared, as well. The capability of the IBA methods is demonstrated by some examples.*

## Kivonat

*Cikkünk muzeológusok számára foglalja össze a roncsolásmentes ionnyaláb és röntgenanalitikai módszerek (Ion Beam Analysis: IBA, X-ray Fluorescence: XRF) legfontosabb jellemzőit. Műtárgyak és régészeti leletek vonatkozásában áttekintést ad az alkalmazási lehetőségekről. A szerző részletesen ismerteti az ATOMKI Ionnyaláb Alkalmazások (Ion Beam Applications: IBA) laboratóriumában üzemelő berendezéseket és műszereket. Ismerteti és összehasonlítja a laboratóriumban alkalmazott különböző analitikai módszerek jellemzőit is. Néhány példán keresztül szemlélteti az IBA módszerek teljesítőképességét.*

**KULCSSZAVAK:** KULTURÁLIS ÖRÖKSÉG, RÉGÉSZETI LELETEK ÉS MŰVÉSZETI ALKOTÁSOK, RONCSOLÁSMENTES ANALITIKAI TECHNIKÁK, PÁSZTÁZÓ NUKLEÁRIS MIKROSZONDA, IBA, XRF

**KEYWORDS:** CULTURAL HERITAGE, ART AND ARCHAEOLOGICAL OBJECTS, NON-DESTRUCTIVE ANALYTICAL TECHNIQUES, SCANNING NUCLEAR MICROPROBE, IBA, XRF

## Bevezetés

Kulturális örökségünk megóvása egyike korunk azon fő kérdéseinek, mellyel hazai, európai, de mondhatnánk világviszonylatban is foglalkozni kell. Az ezzel kapcsolatos feladatok közé tartozik a művészeti alkotások és régészeti tárgyak eredetének, hitelességének, előállítási technikájának a meghatározása, a múlt és a jelen környezeti hatásaiból származó állapotromlás felmérése, továbbá a helyreállítás és a konzerválás módszereinek kidolgozása. A fentiek érdekében ezen a tudományterületen is egyre nagyobb szükség van a roncsolásmentes analitikai vizsgálatokra, mivel jelentősebb beavatkozással járó mintavételre a legtöbb esetben a műtárgy értékére, vagy egyediségére való tekintettel nem kerülhet sor. Abban az esetben is, ha a mintavételezés megengedett, a vizsgálat roncsolásmentes jellege biztosítja annak a lehetőségét, hogy az adott mintáról az egymást kiegészítő vizsgálatokkal több információt kaphassunk.

A természettudományokban számos olyan analitikai módszert fejlesztettek ki, melyeket elvileg alkalmazni lehet ezen a területen. A kutatáshoz használt eszközök és berendezések azonban főleg természettudományi

területekre szakosodott, – pl. fizikai – kutatóintézetekben található meg. A módszerek ott kerültek kifejlesztésre, és továbbfejlesztésük is csak ott képzelhető el. Emiatt a muzeológusok részéről gyakran felmerül az igény az analitikai laboratóriumokkal való kapcsolatfelvételre, illetve a rendszeres kapcsolattartásra. A téma jellegétől függően szükség lehet akár nemzetközi kooperációra is, ha pl. az analitikai háttér, vagy valamely régészeti lelet csak külföldön érhető el.

A MTA Atommagkutató Intézetében több mint két évtizedes múltra tekint vissza az a kutatási irány, amely célul tűzte ki az ionnyalábok és a röntgensugárzás alkalmazásán alapuló roncsolásmentes elemanalitikai módszerek felhasználását különböző anyagtudományi és interdiszciplináris területeken. A hazai múzeumokkal való közös kutatások kezdetektől fogva tevékenységünk súlyponti részét képezik. Ebben a témakörben számos publikáció jelent meg, többek között:

- obszidián [BIRÓ et al. (2000)] és radiolarit [Elekes et al. (2000)] forrásanyagokon,
- őskori kerámiákon [Elekes et al. (2001)],

- bronzkori tárgyakon [Költő & Kis-Varga (1981), Endrődi et al. (2003), Reményi et al. (2006)],
- ógörög pénzerméken [Uzonyi et al. (2000)],
- római-kori gyűrűköveken [Borbély-Kiss et al. (1996)],
- késő római-kori és középkori üvegeken [Borbély-Kiss et al. (1994), Gratuze et al. (2000, 2002)] és
- olajfestmények festék-pigmentjein [Rajta et al. (1997)] végzett vizsgálatainkból.

Kutatásaink egy részét az Európai Közösség által indított COST G1 és G8 Akciók és más pályázatok keretében végeztük az Orléans-i CNRS Centre Ernest Babelon, a párizsi Laboratoire de Recherche des Musées de France, a bukaresti Institutul de Fizică și Inginerie Nucleară, a sevillai Centro Nacional de Aceleradores, a madridi Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia, CSIC intézetekkel együttműködésben, és magyarországi múzeumok, elsősorban a Magyar Nemzeti Múzeum és a Budapesti Történelmi Múzeum közreműködésével.

A jelen cikk célja laboratóriumunk berendezéseinek, valamint a rendelkezésre álló módszerek főbb jellemzőinek bemutatása. Legutóbbi munkáinkból néhány példát kiragadva érzékeltetjük az alkalmazási lehetőségeket is.

## Műszerek és módszerek

### Elvi alapok

A laboratóriumunkban alkalmazott analitikai módszerek nagy energiájú ionoknak, vagy a röntgensugárzásnak az anyaggal való fizikai kölcsönhatásain alapszanak. A kölcsönhatás jellegétől függően a mintára beeső részecskék illetve a röntgensugárzás szóródhat. Lefekvés, illetve abszorpció következhet be, miközben az atomok

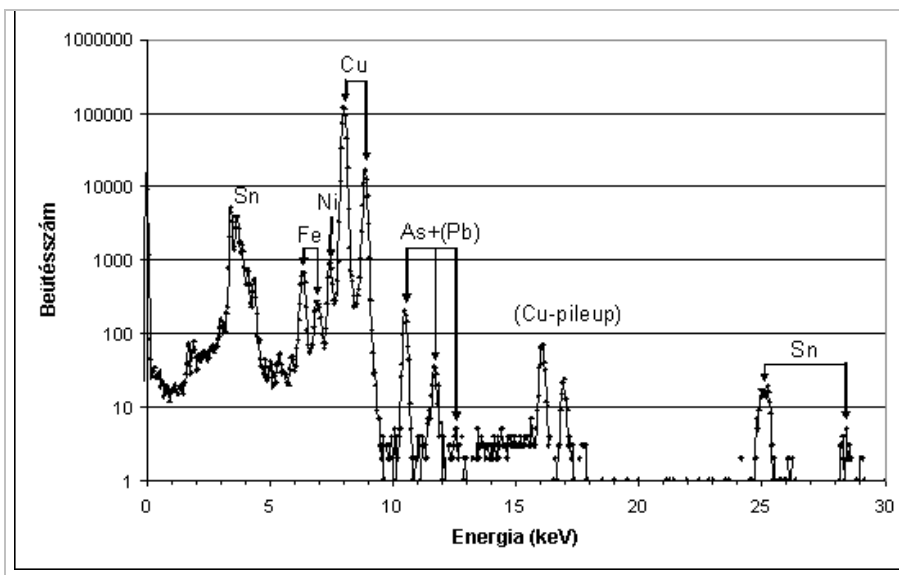
gerjesztődhetnek, ionizálódhatnak, továbbá atommag-átalakulások is létrejöhetnek. Ezen folyamatok elektromágneses sugárzás (optikai-, röntgen-, gamma-) és/vagy részecskék (elektron, proton, alfa stb.) kibocsátásához vezetnek. A fizikai folyamatok során keletkező sugárzások, illetve részecskék energiái jellemzőek az azokat kibocsátó atomokra, vagy atommagokra, azaz a vizsgált anyag elemi összetevőire, míg intenzitásuk a mintában lévő elemek mennyiségétől függ. Mérésükkel lehetővé válik a minta (elemi, ill. esetenként kémiai) összetételének kvalitatív és kvantitatív meghatározása. A különböző módszerek a kölcsönhatás módja illetve a detektálás jellege szerint osztályozhatók.

### Ionnyaláb-analitikai (Ion Beam Analysis: IBA) módszerek

Az ionsugaras vizsgálati módszerek esetében magfizikai gyorsítóberendezéssel előállított, néhány millió elektronvolt (MeV) energiájú ionnyalábbal (hidrogén /H/ ionjával a **protonnal** /H<sup>+</sup>/, deutérium /D/ ionjával a **deuteronnal** /D<sup>+</sup>/, hélium /He/ ionjával /He<sup>+</sup>/) sugározzuk be a mintát. A mintából származó optikai-, röntgen-, illetve gammasugárzást, továbbá a visszaszórt primer vagy a gerjesztés hatására emittált részecskéket a minta köré helyezett detektorokkal észleljük. Napjainkban legelterjedtebben a korszerű, félvezető (szilícium /Si/, germánium /Ge/) alapanyagú detektorokat alkalmazzák, melyek a beérkező sugárzás vagy részecske energiájával arányos nagyságú elektromos impulzust (töltést/feszültséget) szolgáltatnak a kimenetükénél. Ez további erősítés/jelformálás után sokcsatornás amplitúdó analízátorba vezethető, amely a detektált mennyiség energia szerinti eloszlásfüggvényét (spektrum) állítja elő (**1. ábra**). A spektrum elemzésével következtünk a minta összetételére. A legelterjedtebben alkalmazott ionnyaláb-analitikai technikák — az irodalomban használt megnevezésük feltüntetésével — a következők:

**1. ábra.**

Régészeti bronzminta PIXE spektruma a nagyenergiás detektorral (PIXE2: E>3 keV) rögzítve. (A „Cu-pileup” csúcs két röntgenfoton együttes detektálásából származik.)





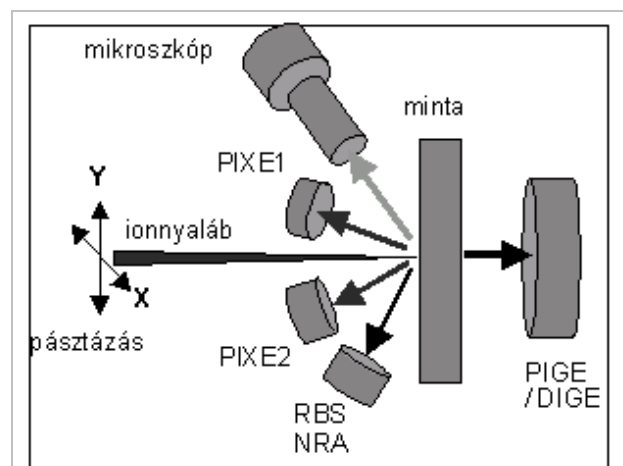
- Proton-indukált röntgenemissziós analízis (**Proton Induced X-ray Emission: PIXE**), amely a minta atomjai (pontosabban az elektronhéj) által kibocsátott, az adott elemre (rendszámról) jellemző energiájú, ún. karakterisztikus röntgensugárzás mérésén alapszik. Az alkalmazott detektorok típusától és a kísérleti elrendezéstől függően az elemek általában a széntől (C) (speciális esetben a bórtól /B/) vagy a magnéziumtól (Mg) kezdődően analizálhatók egészen az uránig (U) [Uzonyi et al. (2001)].
- Rutherford-féle visszaszórás analízis (**Rutherford Backscattering Spectrometry: RBS**). Az ionnyaláb részecskéinek egy része áthatolva az atom elektronhéj-burkán, magáról az atommagról rugalmasan visszaszóródik. A visszaszórt ion energiája a visszaszórt atommag tömegének függvénye. A módszer különösen alkalmas a mintában lévő elemek mélységi eloszlásának meghatározására 10-50 nm feloldással, a minta néhány száz tíz µm vastagságú felületi rétegében. Emiatt az RBS elsősorban a mintát ért külső behatások, korróziós effektusok, felületi (festék)rétegek tanulmányozására használható [Simon et al. (1998)].
- Töltött részecskék (proton/deuteron) által indukált gamma-emissziós analízis (**Proton/Deuteron Induced Gamma-ray Emission: PIGE/DIGE**). A töltött részecske-nyaláb egy része kölcsönhatásba lép az atommaggal, és magreakciót hoz létre. Az eredő gamma- vagy részecskesugárzás a minta elemi összetevőin túlmenően elvileg az izotóp-összetevőkről is információt ad [Kiss et al. (1985), (1994); Szíki et al. (2006)]. A PIGE/DIGE módszerek elsősorban a kis- és közepes rendszámú elemek (lítium-kén /Li-S/) mennyiségi meghatározására alkalmazhatók, elemtől függően erősen változó érzékenységgel. (A PIGE a lítium /Li/, bór /B/ és alumínium /Al/ mellett kiugróan érzékeny még a fluorra /F/ és a nátriumra /Na/, melyek „rezonanciái” nm feloldású mélységi analízist is lehetővé tesznek.) A DIGE technikával pedig megvalósítható olyan elemek analízise, amelyekre a PIGE nem, vagy csak kismértékben érzékeny (szén /C/, nitrogén /N/ és oxigén /O/) [Szíki et al. (2006)].
- Részecskék detektálásán alapuló magreakció analitikai módszer az NRA (**Nuclear Reaction Analysis: NRA**). Elemtől függően, az atommag legerjesztődése során olyan energiájú töltött részecskék emittálódhatnak, amelyek a többitől — pl. a visszaszórt részecskéktől — jól elkülönülten mérhetők, és így alacsony kimutatási határérték (Detection Limit: DL) érhető el a vizsgálandó elemre nézve. Ilyen NRA technika alkalmazható pl. a bór nagyérzékenységű (DL <5 ppm)

kimutatására ( $^{11}\text{B}(p,\alpha)^{10}\text{B}$ ) magreakció felhasználásával [Szíki et al. (2004)].

Az IBA módszerek nagy előnye, hogy együttesen alkalmazhatók, mivel a megfelelő energiájú ionnyalábbal történő „bombázás” hatására a fentebb említett fizikai folyamatok egyszerre játszódnak le a vizsgált mintában. Megjegyzendő, hogy a PIXE a legáltalánosabban használatos módszer, mivel a karakterisztikus röntgensugárzás keltésének van a legnagyobb valószínűsége a rugalmas szóráshoz és a magreakció létrejöttéhez képest. Köznapi nyelven szólva, az ezzel a módszerrel végzett analízis leggyorsabban kivitelezhető. Ugyanakkor e módszerek egymás kiegészítői is, így velük egy teljes elemanalízis valósítható meg. További előny, hogy változtatható az ionnyaláb energiája, intenzitása, mérete, sőt az ionnyaláb az őt előállító gyorsítóberendezés vákuumrendszeréből egy vékony, mikrométer vastagságú fólián keresztül kihozható az atmoszférára. Nincs szükség tehát mintavételezésre a nagyértékű, nagyméretű, sérülékeny múzeumi tárgyakból, vagyis az analízis ezeknél is roncsolásmentesen elvégezhető.

## IBA mérési elrendezés

Az ionsugaras módszereknél használatos mérési elrendezés elvi sémája a **2. ábrán** látható. A minta gerjesztésére néhány milliméter átmérőjűre kollimált vagy fókuszált ionnyalábot alkalmazunk. Fókuszált ionnyaláb előállítására nagy értékű, pásztázó nukleáris mikroszkóp (PNM) berendezések szolgálnak.



**2. ábra.** IBA mérési elrendezés kisenergiás PIXE (PIXE1: elemek a bórtól kezdődően), nagyenergiás PIXE (PIXE2: elemek a szilíciumtól kezdődően), részecske- (RBS, NRA), valamint gamma-detektorokkal. A nyaláb általában kollimálható, pásztázó nukleáris mikroszkópokban fókuszálható és a minta felületén X-Y irányokban számítógéppel vezérelten mozgatható (pásztázás). A mikroszkóp a minta és a nyalábfolt vizuális megfigyelésére szolgál (ld. <http://www.atomki.hu/atomki/VdG/iba.html>)

Ezek a hagyományos ionsugaras módszerekkel szemben lehetőséget biztosítanak a minta felületén az elemösszetétel mikrométernyi feloldású feltérképezésére és lokális mikroanalitikai elemzés elvégzésére is. (A PNM atmoszférára kihozott nyalábjával 20-50  $\mu\text{m}$  átmérőre fókuszált folt érhető el.) Az elemek laterális eloszlását kétdimenziós formában színskála (ún. elemtérképek) segítségével jelenítik meg [lásd pl. Sánta & Uzonyi (2007)].

### Az ATOMKI IBA laboratórium elrendezése

Az ionnyaláb analitikai laboratóriumokban általában több mérőhelyet illetve mérési elrendezést hoznak létre azért, hogy a gyakorlati igényekhez igazodva, optimális mérési feltételek álljanak rendelkezésre. Laboratóriumunk eszközparkja egy 5 MV maximális terminál-feszültségű Van de Graaff (VdG) típusú elektrosztatikus gyorsító nagyberendezés nyalábtranszport rendszere köré telepített műszerekből áll [Koltay (1974)]. Kialakítása a következő:

- MacroPIXE mérőhely, ahol néhány milliméter átmérőre kollimált ionnyalábbal végezhető PIXE vizsgálat a magnézium-urán rendszám-tartományban [Borbély-Kiss et al. (1985)];
- Oxford Microbeams típusú pásztázó nukleáris mikroszonda berendezés, amely lehetőséget biztosít az összes említett IBA módszer alkalmazására  $<2 \times 2 \mu\text{m}^2$  laterális felbontó képességgel és elemtérkép készítési lehetőséggel [Rajta et al. (1996)]. Az ún. két röntgendetektoros PIXE mérési elrendezésünkkel a periódusos rendszer elemei a szén-urán rendszám-tartományban nagy érzékenységgel vizsgálhatók [Uzonyi et al. (2001)].
- Gamma-mérőhely, PIGE/DIGE mérésekhez, illetve levegőre kihozott, néhány milliméter átmérőjű kollimált nyalábbal történő PIXE/PIGE/DIGE vizsgálatokhoz [Szíki et al. (2006)].

### Kvantitatív IBA jellemzői

Az IBA technikák közös tulajdonsága, hogy felületi jellegűek az ionnyaláb  $\sim 50 \mu\text{m}$ -es behatoló képessége miatt. A hasonló felhasználási körű elektronsugaras mikroanalízishez (energiadiszperzív elektronmikroszkópia) viszonyítva közelítőleg két nagyságrenddel jobb detektálási határértékkel rendelkeznek, ami lehetővé teszi nyomelemek kimutatását is.

PIXE technika esetében a karakterisztikus röntgenspektrumok kiértékelésére valamint az elemek laterális koncentráció-eloszlásának a megjelenítésére az ATOMKI fejlesztésű PIXEKLM-TPI programcsomagot [Uzonyi & Szabó (2005)] alkalmazzuk. A koncentráció meghatározását standardok alkalmazása nélkül, az ún. alapvető fizikai paraméterek módszerével végezzük. [Ennek lényege

az, hogy a karakterisztikus röntgensugárzás intenzitása és az elemkoncentrációk közötti függvénykapcsolat felhasználásával a minta elemi összetétele kiszámítható. Az egyenletrendszerben az ismeretlen koncentrációk és a mért karakterisztikus vonalintenzitásokon kívül ismert, ún. alapvető fizikai paraméterek szerepelnek (tömegabszorpciós együtthatók, ionizációs hatáskeresztmetszetek, fluoreszcencia hozamok, elektronhégak közötti átmenet-valószínűségek, stb.). Módszerünk (PIXEKLM-TPI) egzakt módon figyelembe veszi mind az ionnyaláb által okozott közvetlen gerjesztést, mind a mintán belül keletkező karakterisztikus röntgensugárzás által létrehozott másodrendű gerjesztéseket.] A módszer pontossága jellemzően 3-10 rel. %.

RBS technika esetében az alapvető fizikai paramétereket alkalmazó RBX programot [Kótay (1994)] használjuk. Az elérhető pontosság: 3-20 rel. %.

PIGE/DIGE technikák esetében az elemi összetétel meghatározása standardok alkalmazására épül. Pontosság: 3-20 rel. %.

### Röntgenemissziós analitika (X-ray Fluorescence Analysis: XRF[A])

Ennél a módszernél a mintában lévő atomokat röntgensugárral gerjesztjük és — hasonlóan a PIXE technikánál leírtakkal — a mintából kilépő karakterisztikus röntgensugárzást detektáljuk. Analitikai vizsgálatokra laboratóriumunkban röntgensöves gerjesztő rendszert fejlesztettünk ki, amely alkalmas mind a főalkotók, mind a nyomelemek hatékony mérésére. A besugárzott mintafelület a primer sugárzás kollimálásával 1-30  $\text{mm}^2$  között változtatható.

Az XRF technika különösen a közepes és nagyrendszámú elemek kimutatásánál előnyös. Az információs mélység ugyanis ezekre az elemekre lényegesen nagyobb, mint az IBA technikák esetében, a „kemény” röntgensugárzás ( $>10 \text{ keV}$ ) relatíve nagy áthatoló képessége miatt. Ez akár a néhány millimétert is elérheti könnyű mátrixban (pl.: szerves anyagok, kőzetek, üvegek) így az XRF felületi hatásokra kevésbé érzékeny mint az IBA módszerek.

Kvantitatív analitikai célra a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által forgalmazott AXIL programcsomagot alkalmazzuk. A koncentráció meghatározása tiszta fémek és ismert összetételű vegyületek mérési adataihoz való viszonyítással történik, az ún. „érzékenység-kalibráció” módszerének segítségével. A mérési adatok pontossága 3-10 rel. %.

### Mintaelőkészítés

Az ismertett módszerek gyakorlatilag roncsolásmentesnek tekinthetők, mivel a mérési feltételek gondos megválasztásával a mintában károsodás nem következik be. Fontosnak tartjuk azonban megemlíteni, hogy az analitikai probléma



jellegétől függően szükség lehet minta-előkészítésre vagy mintavételre is. Ilyen esetek fordulhatnak elő régészeti tárgyak vizsgálatánál, mivel a felület összetétele gyártástechnikai / korróziós effektusok és/vagy környezeti hatások miatt lényegesen eltérhet a térfogati koncentráció (a tárgy belsejében mérhető) értékektől. Ezért szükségessé válhat a felületi réteg eltávolítása, a felület felpolírozása vagy a mélyebb rétegekből való mintavétel, különösen abban az esetben, amikor könnyű ( $Z < 20$ ) elemek kvantitatív vizsgálatára is igény van. Hangsúlyozzuk, hogy a pásztázó nukleáris mikroszonda kedvező tulajdonságainak köszönhetően, minimális mértékű beavatkozás is elegendő, mivel a PNM-mel már mikroszkópikus méretű anyagmennyiségek, illetve felületek ( $< 100 \mu\text{m}$ ) is elemezhetők.

### Módszertani összefoglalás

Laboratóriumunk műszereinek a fentiekől részletesebb ismertetése publikációinkban valamint az ATOMKI honlapján <http://www.atomki.hu/atomki/VdG/iba.html> megtalálható. Az áttekinthetőség érdekében, az ionnyaláb és röntgenanalitikai módszerek legfontosabb jellemzőit az **1. táblázat**ban összefoglalva közöljük.

### Analitikai alkalmazások

Az IBA módszerekben rejlő lehetőségek szemléltetésére korábbi vizsgálatainkból választottunk ki néhány eredményt:

#### Kerámiák

A kerámiák a mesterségesen előállított anyagok közül a legrégebbi keletűek. Az ember, a prehisztórikus időktől kezdve, a hétköznapi élet számos területén használja őket. Az ásatáson előkerülő darabok ezért fontos kiegészítő adatokat szolgáltatnak az adott kor társadalmi-gazdasági viszonyait illetően is. A származási hely, a készítés idejének és módjának meghatározása segítséget nyújthat a kereskedelmi kapcsolatok feltárásában és műhelyek azonosításában.

Az IBA technikák közvetlenül a mikrostruktúrára és -összetételre vonatkozóan szolgáltatnak adatokat, amiből a felhasznált nyersanyagokra, a készítés-technikára, valamint a környezeti hatásokra következtethetünk. Ezen jellemzők szerint csoportosítva a mintákat, lehetőség nyílik műhelyek, módszerek és korok meghatározására is.

**1. táblázat** - Ionnyaláb és röntgenanalitikai módszerek legfontosabb jellemzői. \*A detektálási küszöbértékek függnek mind a minta összetételétől (mátrix), mind a kísérleti feltételektől (pl. gerjesztési és detektálási viszonyok). A feltüntetett adatok olyan tipikus értékeknek tekinthetők, amelyek a közölt, komplementer analitikai módszerek valamelyikével, pásztázó nukleáris mikroszondában is elérhetők [Elekes et al. (1999, 2002), Sziki et al. (2002, 2004), Uzonyi et al. (2001)].

	IBA technikák	XRF
Detektálható elemek	PIXE, RBS: B-U NRA/PIGE/DIGE: Li-S	Na-U
Detektálási küszöbértékek* [ $\mu\text{g/g}$ ]	B: $< 5$ ; Li-Al: $\sim 100$ Si-Ca: $\sim 100-30$ Sc-tól: $\sim 30-1$ REE: $\sim 10-100$	Na-Ca: $\sim 100-30$ Sc-tól: $\sim 30-1$ REE: $\sim 10-100$
Érzékenység a rendszám szerint	PIXE: csökken RBS: növekszik PIGE nem egyenletesen csökken (Li, F, Na nagy) DIGE nem egyenletesen csökken (C, N, O nagy) NRA: nem egyenletesen csökken (B nagy)	növekszik
Információs mélység energia szerint	1-40 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ -5 mm
Mélységi feloldás	RBS, PIGE: 10-50 nm	—
Laterális feloldás	$< 2 \times 2 \mu\text{m}^2$	$\varnothing$ 1-6 mm
Kvantitatív analízis	PIXE: standard nélkül PIGE/DIGE/NRA: standardok RBS: standard nélkül	standardok
Analitikai pontosság	3-10 (nyomelemek: 20) rel. %	
Tipikus mérési idő	300 s (főalkotók)- 3600 s (nyomelemek)	

Első ilyen jellegű munkánkban, egy jól ismert magyarországi régészeti lelőhelyről (Vörs-Máriaasszonysziget, Kis-Balaton) származó kerámiatöredékeket analizáltunk PIXE módszerrel [Elekes et al. (2001)]. Kimutattuk, hogy a korai neolitikumtól a késő bronzkorig terjedő időszakban készített kerámiák készítés-technikájában, a korai rézkortól kezdődően következett be változás.

Az addig használt adalékanyagok (*kalcit* /CaCO<sub>3</sub>/, *hematit* /Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/, *kvarc* /SiO<sub>2</sub>/, stb.) mellett réz tartalmú ásványt (valószínűleg *kalkopiritet* /CuFeS<sub>2</sub>/) kezdtek alkalmazni.

Vizsgálatainkból az is kiderült, hogy — elemarányok alapján (P/Sr, V/Sr, Rb/Sr) — a különböző kultúrákból származó anyagok (Starčevo és Kostolac vs. Kisapostag és Lengyel) elkülöníthetők.

Egy másik munkánkban [Szíki et al. (2003, 2004)] magyarországi lelőhelyekről (Aggtelek, Balatonfüzfő-Papkeszi, Kup, Vörs) származó, mészbetétes kerámiákat vizsgáltunk, a középkorkorszaktól kezdődően a korai vaskorig terjedő időszakból. Megállapítottuk, hogy a díszítésre használt anyag összetétele jellemző a minta származási helyére. Elemi összetétel alapján nagy valószínűséggel állítható, hogy a balatonfüzfői leleteknél *mészke-örleményt* (CaCO<sub>3</sub>), a vörsi és kupi mintákban *csontörleményt* (főösszetevők: C, N, P és Ca), míg az aggtelekiben *agyagot* (főösszetevők: Al, Si és Fe) alkalmaztak.

## Üvegek

Az analitikai vizsgálatok célkitűzései között szerepel a származási hely, a műhelykörök azonosítása, az alapanyagok kereskedelmi útvonalainak feltérképezése, az eredetiség megállapítása.

**Kereskedelmi útvonalak** megállapítása céljából, a középkorban Európa-szerte használt, kobalt tartalmú kéküvegek elemi összetételét vizsgáltuk az Orléans-i CNRS Centre Ernest Babelon laboratóriummal együttműködésben [Gratuze et al. (2000), (2002)]. Franciaországi és magyarországi üvegtöredékek PIXE és LA-ICP-MS tömegspektrometriai (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: LA-ICP-MS) elemzésével kimutattuk, hogy a kobalt ércék származási helyükre jellemző nyomelem-arányokkal rendelkeznek. Így négy különböző érlelőhelyet sikerült beazonosítani, melyeket jellemzően egymást követő időszakokban használtak: Közel-Kelet (XII. századig), Freiberg (XIII-XV. század), Erzgebirge (XV-XVI. század) és Schneeberg (XV. század vége-XVIII. század).

**Eredetiség megállapítására**, valamint az atmoszférán végzett PIXE és PIGE analízisek kiegészítő voltára példa az újkori és az azt megelőző korokból származó üvegtárgyak elkülönítése börtartalmuk vizsgálatával. A római kultúra és művészet iránt megmutatkozó érdeklődés hatására a XVII. és a XVIII. században hatalmas mennyiségű klasszicizáló stílusú műtárgyat, vagy pontos utánzatot készítettek. Ezek a

múzeumokban gyakran az eredetiekkel összekeveredve találhatók, és megkülönböztetésüket nagyon megnehezíti tökéletes kivitelezésük. Ide sorolandók az üvegpaszta gyűrűkövek. A PIXE és PIGE módszerrel meghatározott elemi összetétel alapján egyértelmű különbséget lehet tenni az eredeti műtárgyak és az utánzatok között. A különbségtételnél fontos szerepet játszik, hogy éppen a XVII-XVIII. századtól kezdtek alkalmazni az üveggyártásnál a bóraxot mint adalékanyagot. Azt, hogy az üveg tartalmaz-e bört, a PIGE módszerrel lehetett egyszerűen kimutatni [Borbély-Kiss et al. (1996)]. Érdemes megemlíteni, hogy barokk üvegek börtartalmát prompt gamma aktivációs analízissel (PGAA) is vizsgálták hazai szerzők, hasonló céllal [Kasztovszky et al. (2005)]. Bór mérésére a fentiekén kívül más roncsolásmentes módszert nem ismerünk.

## Fémek

Mindenekelőtt utalunk a késő bronzkori féműtárgyak témakörben folyó kutatásainkra és a jelen kötetben megjelenő előzetes eredményekre [Sánta & Uzonyi (2007)]. A célkitűzések hasonlóak a fentebb megfogalmazottakkal: származási hely, műhelykörök azonosítása, az alapanyagok kereskedelmi útvonalainak feltérképezése, eredetiség megállapítása.

Nemzetközi együttműködésre (ATOMKI - bukaresti Institutul de Fizică și Inginerie Nucleară - Magyar Nemzeti Múzeum) példa a dyrrhachiumi ezüstpénzek vizsgálata. Az illyriai görög városok (Apollonia és Dyrrhachium) által az időszámításunk előtti I. és II. században kibocsátott ezüst drachmák fellelhetők a Kárpát-medencében és a Balkán-félszigeten egyaránt. Ezért régészeti szempontból fontosnak tartottuk a különböző országokban található leletek összehasonlítását. Kimutattuk, hogy az ezüst drachmák minősége a kezdeti ~98% ezüst (Ag) tartalomról 70-90%-ra romlott az i.e. első század közepére. Ez a pénzelértéktelenedés feltételezhetően a Pompeius és Caesar közötti polgárháborús időszaknak tulajdonítható. Sikerült megoldani az egykori utánzatok elkülönítését is azok magas ón tartalma alapján [Uzonyi et al. (2000)].

## Összefoglalás

Az ionnyalábok és röntgensugárzás alkalmazásán alapuló roncsolásmentes analitikai módszerek jelentőségét jól érzékelteti az a tény, hogy azokat több színvonalas COST kiadványban népszerűsítették a muzeológusok körében [ld. pl. a hivatkozásokban szereplő COST kiadványokat]. Ezen módszerekkel tanulmányozható valamely tárgy elemi összetétele, mikrostruktúrája, felületi korróziós állapota stb., így régészeti/történeti szempontból fontos kérdések megválaszolását segítheti elő.

Laboratóriumunk eszközparkja lehetőséget teremt számos kulturális örökségünk megóvásával kapcsolatos probléma megoldására, pl. művészeti



alkotások és régészeti leletek eredetének, eredetiségének meghatározására, az alkalmazandó konzerválási technika megállapítására stb. Fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a muzeológusok által megfogalmazott kérdések megválaszolása általában nem egyszerűsíthető le pusztán mérés technikai problémára. Legtöbbször interdiszciplináris, koordinált kutatások indítására, a különböző szakterületek képviselőinek tartós együttműködésére van szükség. Ez a nyugat-európai országokban már a gyakorlat szintjén van. Ezért csoportunk célul tűzte ki az archeometriai vizsgálatok kiteljesítését néhány, ionnyaláb analitikai és XRF technikákkal kiválóan tanulmányozható területen, pl.: kerámiák, üvegek és fémek.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a Gazdaságfejlesztési Operatív Program (GVOP-3.2.1.-2004-04-0402/3.0)-ot amelynek támogatása lehetővé tette, hogy az ATOMKI Ionnyaláb Analitikai Laboratóriuma korszerűsödjön, és alkalmassá váljon külső megrendelők, együttműködő partnerek nagyszámú analitikai igényének kielégítésére.

A szerző köszönetet mond Prof. Dr. Kiss Árpád Zoltánnak, az archeometriai vizsgálatok elindításához nyújtott segítségével és a cikk megírása kapcsán adott értékes tanácsaiért.

### Irodalomjegyzék

BIRÓ, K.T., ELEKES, Z. & GRATUZE, B. (2000): Ion beam analyses of artefacts from the Bodrogkeresztúr-Henye lithic assemblage. In: DOBOSI ed., *Bodrogkeresztúr-Henye (NE-Hungary) Upper Palaeolithic Site*, Budapest, Printing House of the Hungarian National Museum, 2000, ISBN: 963 9046 450, p. 241.

BORBÉLY-KISS, I., KOLTAY, E., LÁSZLÓ, S., SZABÓ, GY. & ZOLNAI, L. (1985): Experimental and theoretical calibration of a PIXE setup for K and L X-rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **12**: 496-504.

BORBÉLY-KISS, I., FÜLÖP, ZS., GESZTELYI, T., KISS, Á.Z., KOLTAY, E. & SZABÓ, GY. (1994): The PIXE-PIGE method for the classification of late Roman glass sealings, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **85**: 836-839.

BORBÉLY-KISS, I., GESZTELYI, T., ELEKES, Z., RAJTA, I., KOLTAY, E. & KISS, Á.Z. (1996): Investigation of classical ring-stones and their imitations. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Non-Destructive Testing. Microanalytical Methods and Environmental Evaluation for Study and Conservation of Works of Art*. ART'96. Budapest, Hungary, September 24-28, 1996. Budapest, p.132.

ELEKES, Z., KISS, Á.Z., GYÜRKY, GY., SOMORJAI, E. & UZONYI, I. (1999): Application of a Clover-Ge-BGO detector system for PIGE measurements at a nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **158**: 209-213.

ELEKES, Z., BIRÓ, K.T., UZONYI, I., RAJTA, I. & KISS, Á.Z. (2000): Geochemical analysis of radiolarite samples from the Carpathian basin. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **170**: 501-514.

ELEKES, Z., BIRÓ, K.T., UZONYI, I., SIMON, A. & KISS, Á.Z. (2001): Analysis of Prehistoric Pottery Finds from the Balaton Region, Hungary. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **181**: 670-674.

ELEKES, Z., SZŐÖR, GY., KISS, Á.Z., RÓZSA, P., SIMON, A., UZONYI, I. & SIMULÁK, J. (2002): Deuteron induced gamma-ray emission method applied at a nuclear microprobe for carbon and oxygen content measurements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **190**: 291-295.

ENDRÓDI, A., REMÉNYI, L., BARADÁCS, E., UZONYI, I., KISS, Á.Z., MONTERO, I. & ROVIRA, S. (2003): Technical study of Beaker metallurgy in Hungary. In: *Proceedings of Archaeometallurgy in Europe*. Milan, Italy, 24-26 Sept., 2003. Associazione Italiana di Metallurgia, Milan, p. 29.

GRATUZE, B., UZONYI, I., ELEKES, Z., KISS, Á.Z. & MESTER, E. (2000): Cobalt-blue glass pigment trade in Europe during medieval times. In: G. Demortier and A. Adriaens: Ion beam study of art and archaeological objects. *A contribution by members of the COST G1 Action. Office for Official Publications of the European Communities*. (ISBN 92-828-7652-7), Luxembourg, pp. 50-53.

GRATUZE, B., UZONYI, I., ELEKES, Z., KISS, Á.Z. & MESTER, E. (2002): A study of Hungarian medieval glass composition: Preliminary results. In: JEREM, E. and BIRÓ, K.T. eds.: *Archaeometry 98. Proceedings of the 31<sup>st</sup> Symposium*. Budapest, Hungary, April 26 - May 3, 1998. Archaeopress (Archaeolingua. Central European Series 1) (*BAR International Series* **1043 (II)**), Oxford, pp. 565-572.

KASZTOVSZKY, ZS., KUNICKI-GOLDFINGER, J.J., DZIERŻANOWSKI P., NAWROLSKA, G., & WAWRZYNIAK, P. (2005): Történelmi üvegek roncsolásmentes vizsgálata prompt gamma aktivációs analízissel és elektronmikroszondával. *Archeometriai Műhely* **2005/1**: 48-57.

KISS, Á.Z., KOLTAY, E., NYAKÓ, B.M., SOMORJAI, E., ANTTILA, A. & RÄISÄNEN, J. (1985): Measurements of relative thick target yields for PIGE analysis on light elements in the proton energy interval 2.4 - 4.2 MeV. *Journal of Radioanalytical Chemistry, Articles* **89**: 89-123.

- KISS, Á.Z., BIRON, I., CALLIGARO, T. & SALOMON, J. (1994): Thick target yields of deuteron induced gamma-ray emission from light elements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **85**: 118-122.
- KOLTAY, E. (1974): Az ATOMKI új gyorsító laboratóriuma. Eredmények és perspektívák. *Fizikai Szemle* **24**: 134.
- KÓTAI, E. (1994): Computer methods for analysis and simulation of RBS and ERDA spectra. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **85**: 588-596.
- KÖLTŐ, L. & KIS-VARGA, M. (1981): Röntgenemissziós analízis későavarkori bronztárgyakon. *Iparrégészet* (Magyar Tudományos Akadémia Veszprémi Akadémiai Bizottságának kiadványa), VEAB Értesítő 1, p.165.
- RAJTA, I., BORBÉLY-KISS, I., MÓRIK, GY., BARTHA, L., KOLTAY, E. & KISS, Á.Z. (1996): The new ATOMKI scanning proton microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **109**: 148-153.
- RAJTA, I., ONTALBA, M.A, KOLTAY, E. & KISS, Á.Z. (1997): Study of white lead paint layers by the Debrecen nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **130**: 315-319.
- REMÉNYI, L., ENDRÓDI, A., BARADÁCS, E., KISS, Á.Z., UZONYI, I., MONTERO, I. & ROVIRA, S. (2006): Possible links between Hungarian and Spanish Beaker metallurgy. In: A. Denker et al.: *COST Action G8: Non-destructive testing and analysis of museum objects*. Fraunhofer IRB Verlag, 2006, ISBN-10: 3-8167-7178-5, P.O. Box 80 04 69, D-70504 Stuttgart, pp. 17-24.
- SÁNTA, G. & UZONYI, I. (2007): A halomsíros kultúra néhány dél-alföldi bronztárgyának analitikai vizsgálata. Ebben a kötetben.
- SIMON, A., PÁSZTI, F., UZONYI, I., MANUABA, A. & KISS, Á.Z. (1998): Application of grazing exit angle in RBS microprobe measurements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **136**: 350-356.
- SZÍKI, G.Á., ELEKES, Z., UZONYI, I. & KISS, Á.Z. (2002): On the determination of nitrogen in carbon matrix by deuteron induced gamma-ray emission technique. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **190**: 714-717.
- SZÍKI, G.Á., BIRÓ, K.T., UZONYI, I., DOBOS, E. & KISS, Á.Z. (2003): Investigation of incruusted pottery found in the territory of Hungary by micro-PIXE method. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* **210**: 478-482.
- SZÍKI, G.Á., DOBOS, E., KERTÉSZ, ZS., SZIKSZAI, Z., UZONYI, I. & KISS, Á.Z. (2004): A PIN detector array for the determination of boron using nuclear reaction analysis at a nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **219**: 420-424.
- SZÍKI, G.Á., UZONYI, I., DOBOS, E., RAJTA, I., BIRÓ, K.T., NAGY, S. & KISS, Á.Z. (2004): A new micro-DIGE set-up for the analysis of light elements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **219**: 508-513.
- SZÍKI, G.Á., SIMON, A., SZIKSZAI, Z., KERTÉSZ, ZS. & DOBOS, E. (2006): Gamma ray production cross-sections of deuteron induced nuclear reactions for light element analysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* **251**: 343-351.
- UZONYI, I., BUGOI, R., SASIANU, A., KISS, Á.Z., CONSTANTINESCU, B. & TORBÁGYI, M. (2000): Characterization of Dyrhachium silver coins by micro-PIXE method. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **161-163**: 748-752.
- UZONYI, I., RAJTA, I., BARTHA, L., KISS, Á.Z. & NAGY, A. (2001): Realization of the simultaneous micro-PIXE analysis of heavy and light elements at a nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **181**: 193-198.
- UZONYI, I. & SZABÓ, GY. (2005): PIXEKLM-TPI - a software package for quantitative elemental imaging with nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **231**: 156-161.

# A HALOMSÍROS KULTÚRA NÉHÁNY DÉL-ALFÖLDI BRONZTÁRGYÁNAK ANALITIKAI VIZSGÁLATA

SÁNTA GÁBOR<sup>1</sup>, UZONYI IMRE<sup>2</sup>, CSERHÁTI CSABA<sup>3</sup>, DARÓCZI LAJOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Szegedi Tudományegyetem — Móra Ferenc Múzeum Régészeti Tanszék, H-6722 Szeged, Egyetem u. 2, Hungary

E-mail: [archeo.santa@gmail.com](mailto:archeo.santa@gmail.com)

<sup>2</sup>A Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézete, H-4026 Debrecen, Bem tér 18/C, Hungary

E-mail: [uzonyi@atomki.hu](mailto:uzonyi@atomki.hu)

<sup>3</sup>Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szilárdtest Fizika Tanszék,

H-4026 Debrecen, Bem tér 18, Hungary

E-mails: [cserhati@delfin.klte.hu](mailto:cserhati@delfin.klte.hu) ; [ldaroczi@tigris.klte.hu](mailto:ldaroczi@tigris.klte.hu)

## Abstract

*The main point of the complex cultural changes during the transition from Middle to Late Bronze Age was the appearance of Tumulus culture in the Danube-Tisza region. In this culture people buried the dead beneath burial mounds made from stone and soil. According to our present knowledge we believe that the ethnically inhomogeneous Tumulus culture was made homogenous by commerce (especially bronze commerce).*

*The custom of hiding depots was typical of the final period of Middle Bronze Age called Koszider-phase. During the Tumulus period the practice of hiding depots came to its end, bronze objects were put into graves. It would be important to analyze the relation between the Koszider and Tumulus metallurgy. Were these commercial roots and exchange of goods discontinued during the time of cultural changes?*

*We chose chiefly the microPIXE and SEM-EDX method for elemental analysis. Examined 6 Tumulus bronze objects came to light from two Bronze Age cemeteries of the Southern Great Plain. Created elemental distribution maps and determined average compositions.*

*Our project is a long-term investigation including elemental analysis, mineralogical, archaeological and metallurgical researches.*

## Kivonat

*A középső bronzkor végi, késő bronzkori kultúraváltozások legjelentősebb állomása a halomsíros kultúra megjelenése volt hazánk területén. A kultúra nevét jellegzetes temetkezési szokásáról kapta: a halottak sírja fölé kőből, földből halmot emeltek. Mai tudásunk alapján a halomsíros kultúrát soketnikumú, a kereskedelem homogenizáló hatására kialakult egységként képzeljük el. A középső bronzkor záró szakaszára, a koszideri időszakra jellemzőek a fémtárgyakat tartalmazó, földbe rejtett kincsleletek. A halomsíros kultúra idejében ez a szokás megszűnik, a fémtárgyak viseleti elemként, mellékletként a sírokba kerülnek. Lényeges kérdés, hogy milyen összefüggés van a koszideri és halomsíros fémművesség között, az addigi kereskedelmi utak, cserekapcsolatok is szétzilálódtak-e a változások idején.*

*Analitikai vizsgálataink fő módszerül a microPIXE és SEM-EDX elemzést választottuk. 6 db, a Dél-Alföld halomsíros temetőiből előkerült fémtárgyat vizsgáltunk meg, előállítottuk elemtérképeiket, és átlagos összetételüket is megállapítottuk.*

*Programunk hosszabb távú, mely a fémek analízise mellett régészeti, ásványtani és metallurgiai kutatásokat is magába foglal.*

**KULCSSZAVAK:** HALOMSÍROS KULTÚRA, FÉMTÁRGYAK ANALÍZISE, XRF, MICROPIXE, SEM-EDX, ELEMELOSZLÁS, ÁSVÁNYTANI HÁTTÉR, ARCHEOMETALLURGIA

**KEYWORDS:** TUMULUS CULTURE, ANALYSIS OF BRONZE OBJECTS, XRF, MICROPIXE, SEM-EDX, DISTRIBUTION OF ELEMENTS, MINERALOGICAL BACKGROUND, ARCHAEOLOGICAL METALLURGY



## Bevezetés

A bronzkori (elsősorban késő bronzkori) fémtárgyak archeometriai vizsgálata bő egy évszázadra tekint vissza hazánkban. Az első eredmények Velem-Szentvid késő bronzkori településén előkerült tárgyakhoz kötődnek (Miske 1907, stb. I. még Szabó 1999, további irodalommal). Hosszabb szünet után Mozsolics Amália kezdeményezésére német kutatók végeztek elemzéseket a gyűjteményében lévő középső- és késő bronzkori fémtárgyakon. A vizsgálat eredményei a monográfiákhoz csatoltan láttak napvilágot (Schubert & Schubert 1967, Sangmeister 1973). Az 1990-es évektől egyre nagyobb hangsúlyt kapott a téma, melyben Czajlik Z., Költő L., Ilon G., Szabó G. munkássága a legfontosabb (Czajlik 1996, Czajlik et al. 1995, 1999, Költő 1996, Ilon 2002, Szabó 1999). Ezek a vizsgálatok, melyek a késő bronzkori urnamezős kultúra félkész és késztermékein folytak, sok esetben komoly metallurgiai következtetések levonását tették lehetővé.

## Régészeti háttér

A középső bronzkor végi, késő bronzkori kultúraváltozások legjelentősebb állomása a halomsíros kultúra megjelenése volt hazánk területén. Az átalakulás a társadalmi-gazdasági élet nagy részét érintette, és az anyagi kultúrában is tükröződik. A korábbi, döntően letelepült, falusias életmódot folytató, primitív specializációval (fémművesség, kerámia, szakrális szféra), illetve újraelosztó rendszerrel rendelkező ún. "főnökségi társadalmakat" (Reményi 2003) felváltja (éghajlati és egyéb okok miatt: Sümegi 2005) a jellegzetes temetkezési módja után halomsíros kultúrának nevezett régészeti egység. Ez a kultúra Közép- és Nyugat-Európában nagy területen terjedt el, és nem alkotott egységes etnikumot, inkább egy gazdasági-politikai érdekközösségként fogható fel, amelyben a lényeges vonások azonosak voltak, de az alkotó népek különbözőek (Kovács 1995). A középső bronzkor záró szakaszára, a koszideri időszakra jellemzőek a földbe rejtett kincsek. A halomsíros kultúra idejében ez a szokás megszűnik, a fémtárgyakat nem deponálják. Sírjaikban megszorodnak a fémmellékletek. A két korszak bronzai földbe kerülésének társadalmi-hitvilágbeli háttere messzemenően eltérő, bár tipológiailag sok hasonlóság ismerhető fel közöttük. A kutatás fő kérdései a halomsíros kultúra etnikai jellege, az újonnan beköltöző csoportok számaránya, a helyi lakosság továbbélése köré csoportosultak (Csányi 1980, Kemenczei 1968, Kovács 1975).

Korábban nagy hangsúlyt kapott a koszideri kincsek és a kincshorizont fogalmának értelmezése (Mozsolics 1957, Bóna 1958, Bóna 1992b, Kovács 1994a, 1994b, etc.). Kiderült, hogy a kincsek nem egy horizontba, hanem egy hosszabb időszakba keltezhetőek, emiatt nem jelezhetnek egyetlen történeti eseményt, így

elrejtésük okaként is alternatív magyarázatok születtek (Bóna 1992a). Ma úgy látjuk, hogy a koszideri kincsek földbe kerülésének okai eltérőek, leginkább szakrális vagy társadalmi okok állhattak a háttérben (Kovács 1994a). A korszak végén kisebb idegen csoportok behatolása miatt is eláshattak egyes depókat. Újabban az életmód- és településkutatás, a társadalom vizsgálata nagyobb hangsúlyt kapott (Kovács 2000, Sánta 2004a). A középső és későbronzkor határán lezajlott változások körét összefoglalva:

a., Átalakul az anyagi kultúra, a korábbi lokális, jól meghatározott kultúrákat felváltja egy nagyobb egység. Már a koszideri korszak tendenciái is ebbe az irányba hatnak, de a folyamat a Reinecke BB1 és BB2 periódus határán (Kr. e. 1500/1450 környékén, a cal. BC adatok szerint: Kulcsár-V. Szabó 1997) felgyorsul, és más színezetet ölt: a halomsíros kultúra alapjain szerveződnek a közösségek.

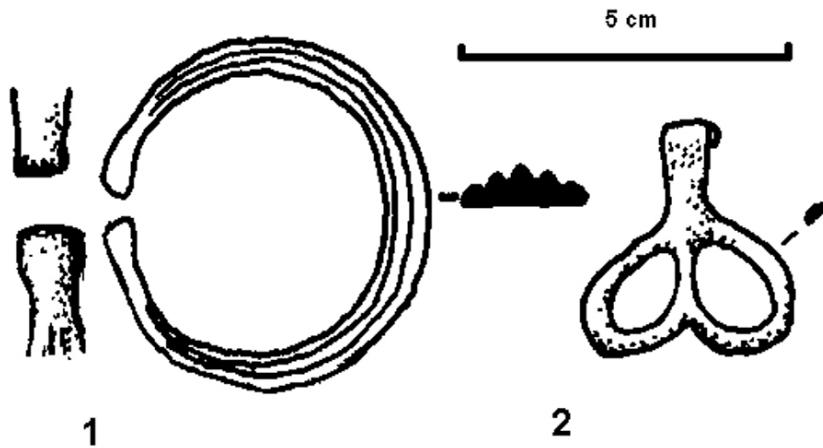
b., A korábbi földművelő-állattenyésztő, tell-lakó (tell: több rétegű, intenzív falusias település, a lelőhely dombszerű kiemelkedést alkot) életmódot egy szegmentáltabb, szórtaabb társadalmi-települési rendszer és vélhetően elsősorban állattenyésztő életmód váltja fel. Ez a változás hatalmas jelentőségű, és még ma sem teljesen tisztázott a háttere, bár éghajlati és társadalmi okok egyaránt szerepet játszhattak a folyamatban (Bóna 1992a, Sümegi 2005, Sánta 2004a).

c., A későbronzkor kezdetén a fémművesség többé-kevésbé ugyanazokat a tárgytípusokat állítja elő, a halomsíros kultúraváltás alkalmával inkább csak gazdagodik a gyártott tárgytípusok köre. Nagy jelentőségű, hogy a fémtárgyak földbe rejtésének szokása eltűnik, helyette a sírokba kerülnek a tárgyak, viseleti elemként (ez is a szegmentálódás jele, hisz korábban a kincsek a nagyobb közösségek összetartozását is kifejezték, vagy kifejezheték). Elterjednek, és igen gyakorivá válnak a folyókba dobott fegyveráldozatok (főleg kardok, Szathmári 2005).

d., A temetkezési szokások lokális változásai jól nyomon követhetőek, mégis, a koszideri korszakban elterjedő birituális temetkezési mód (hamvasztás és korhasztás együttes jelentkezése a temetkezési szokásban) marad uralkodó később is. A hamvasztásos és korhasztásos temetkezések aránya utal a középső bronzkori lakosság továbbélésére.

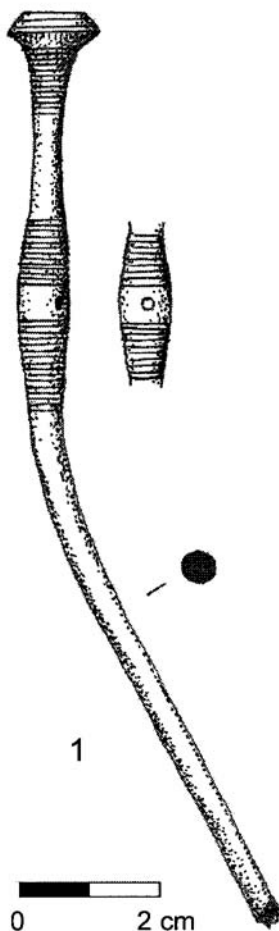
e., A fentiek tükrében változások történtek a szimbolika alrendszerében, a hitvilágban is.

Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a halomsíros korszak letűnte után (R BD-HA1 Kr.e. 13-12. sz. körül) újra feltűnik az időlegesen háttérbe szorult madárszimbolika (pl. Ilon 2002), az aszkosz, a tűzikutya és a deponálás szokása. Ezek eredete a korai bronzkorba nyúlik vissza (pl. Ecsedy 1982, 1984, 1995a, 1999, Kovács 1972). Így urnamezős kori felbukkanásuk mégis egyfajta folyamatosságot sugall.

**1. ábra**

1. Bronz karperec („karperec 1’’)  
Zákányszék-Zákány dűlő  
2. Bronz csüngő („csüngő’’)  
Zákányszék-Zákány dűlő

A fémleletek tipológiai vizsgálata és az ásatási megfigyelések nyomán jól ismerjük a kultúra viseleti (Trogmayer 1965) és temetkezési szokásait, illetve többé-kevésbé felvázolható az időrendje.

**2. ábra**

Bronz tű („tű’), Zákányszék-Zákány dűlő

Az analitikai vizsgálatok magukban rejtik azt a lehetőséget, hogy a fém származási helyét rekonstruálhassuk, ami természetesen hozzávetőleg kirajzolja a korabeli kereskedelmi útvonalakat. A halomsíros kultúra dél-alföldi fémleleteit még nem vizsgálták, noha ez a terület a kultúra vizsgálata szempontjából kiemelkedő jelentőségű (Foltiny 1957, Trogmayer 1975).

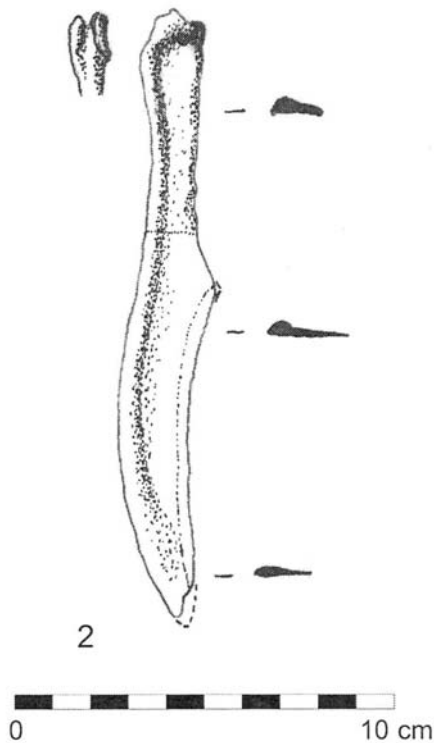
Vizsgálatunk első részében elemzett bronztárgyaink egy része már közölt darab, de két közöletlen karperecet is megvizsgáltunk. Helyesnek látjuk, hogy a tárgyak leírását itt közöljük.

1. Bronz karperec, Zákányszék-Zákány dűlő Ny/69. lh. (Sánta 2004a). Ötbordás, nyitott, pecsétlős (kiszélesedő) végű, vastag, öntött lemezkarperec (**1. ábra 1.**), szántás során kissé sérült, de jó állapotú. Átm.: 50 mm x 55 mm. Patina borítja, néhol vastagabban.

2. Bronz csüngő, Zákányszék-Zákány dűlő Ny/69. lh. (Sánta 2004a). Öntött, egyszerű középtagos, függesztő részén lemezzé kalapált és bepödrött szív alakú csüngő (**1. ábra 2.**). Állapota kiváló. Átm.: 36 mm x 32 mm. Vékony zöld patina borítja, felülete likacsos (**6. ábra**).

3. Bronz tű, Zákányszék-Zákány dűlő Ny/69. lh. (Sánta 2004b). Öntött pecsétfejű tű (**2. ábra**). Feje kúpszelet alakú, aminek rézsütös oldalán három párhuzamosan bekarcolt vonal fut, alatta rovátkolás. Nyaka tölcséres, lejjebb megvastagszik, átfürt. A lyuk alatt és felett vízszintesen, csigavonalszerűen bekarcolt vonalak (rovátkák) láthatók, 12 mm széles sávban. A tárgy töredékes (**10. ábra**), szára görbült. H.: 13 cm. Szé.: 4-5 mm.

4. Bronz kés, Zákányszék-Zákány dűlő Ny/69. lh. (Sánta 2004b). Egyoldalas öntőmintával készült, bronzból öntött kés (**3. ábra**). A penge és a markolat egybeöntött (markolatlapos), a markolat egyenes, vége felé kissé kiszélesedik, vége elkalapált. A penge ívelt, vége felé keskenyedő. Szinte teljesen ép, csak a hegye korrodált kissé. A tárgy hosszának 3/4-ében, az egyik oldalon, erőteljes, félkör átmetszetű borda fut végig.

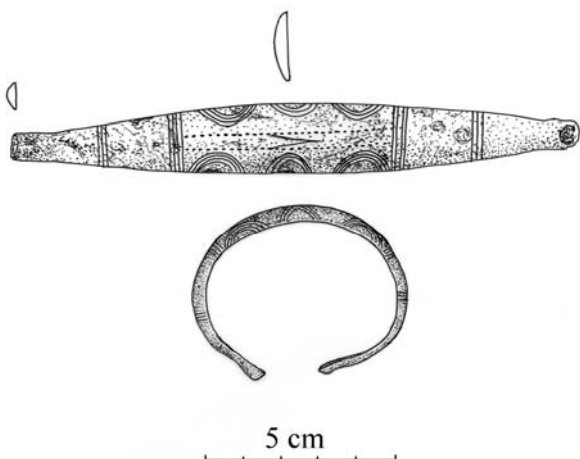


### 3. ábra

Bronz kés („kés”), Zákányszék-Zákány dűlő

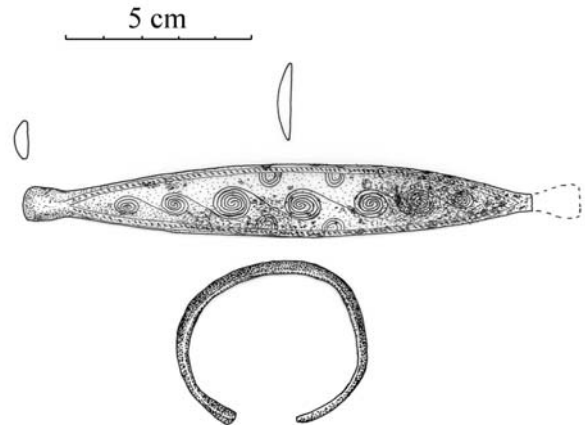
Mikroszkópban párhuzamos sérülésnyomokat (fenésnyomokat?) figyeltünk meg rajta (**9. ábra**). H.: 16 cm, Szé.: 2,5 cm, V.: 0,8 cm.

5. Bronz karperec, (Mórahalom) - Alsótanya - Királyhalom. Közöletlen síregyüttes. Lelt. sz.: 2/1906. Körszelet átmetszetű bronzszalagból készült, nyitott, öntött pántkarperec (**4. ábra**).



### 4. ábra

Bronz karperec („karperec 2”). Alsótanya-Királyhalom (Mórahalom), LTSZ.: 2/1906



### 5. ábra

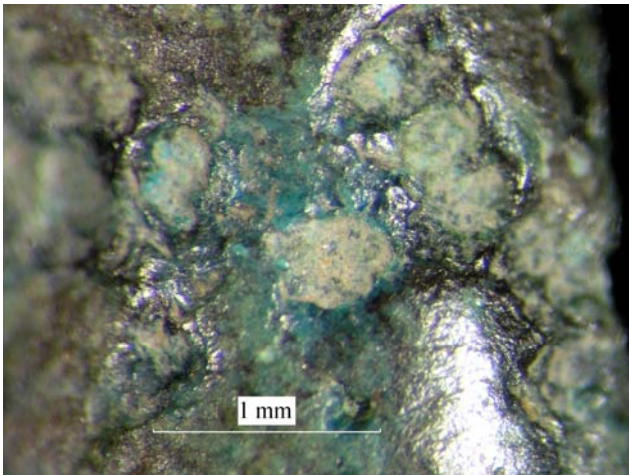
Bronz karperec („karperec 3”). Alsótanya-Királyhalom (Mórahalom), LTSZ.: 1/1906

A bronz szalag középső része párhuzamos szélű, a díszített mezőt lezáró vonalköteg után egyenesen keskenyedik a pecsétlős végek felé. Állapota jó. Alakja ovális, az egyik végét utólag visszakalapálták, ami során a pecsétlős vég ellaposodott, a karperec belső átmérője csökkent. Az ékszer felületét két darab négyes és két darab hármás, karcolt vonalköteg osztja öt mezőre. A két középső vonalköteg között, a lemez hossz tengelyében kettős, poncolt (hegyes fémesszővel beütögetett) pontsor fut végig, melynek két oldalán három-három darab félkör motívum található. A kettős pontsor között, a tárgy hossz tengelyének felezőpontjában egy bekarcolt ék alak látható, mely a binokuláris mikroszkópos megfigyelések szerint recens (**7. ábra**). A karperec mérete: 57 mm x 46 mm.

6. Bronz karperec, (Mórahalom)-Alsótanya-Királyhalom. Közöletlen síregyüttes. Lelt. sz.: 1/1906. Körszelet keresztmetszetű bronzszalagból készült, nyitott, öntött pántkarperec (**5. ábra**), közepén kiszélesedő, pecsétlős végű. Az egyik végződés letörött vagy letörték, a karperec eme csonka szárát kissé visszakalapálták (kisebb átmérőjű ékszer gyártottak belőle). Állapota jó. A felületén 7 db egymásba fonódó spirálmotívum látható, a középső két oldalán szimmetrikusan, a tárgy pereménél 2-2, hármás bevészt vonalkötegből kialakított félkör található (**8. ábra**). A lemez szélén kettős vonalköteg között lapos végű ponttüvel (vésővel) beütögetett irdalás fut. Méretei: 51 mm x 43 mm.

A mérési sorozatban a leleteket - a könnyebb azonosíthatóság érdekében - ideiglenes megnevezésekkel láttuk el. A "csüngő", a "kés", a "tű" megjelölése egyértelmű, a "karperec 1" azonos a 1. 1. képen láthatóval. A "karperec 2" jelölés a 2/1906 sz. tárgyra, a "karperec 3" megnevezés az 1/1906. sz. leletre érvényes.

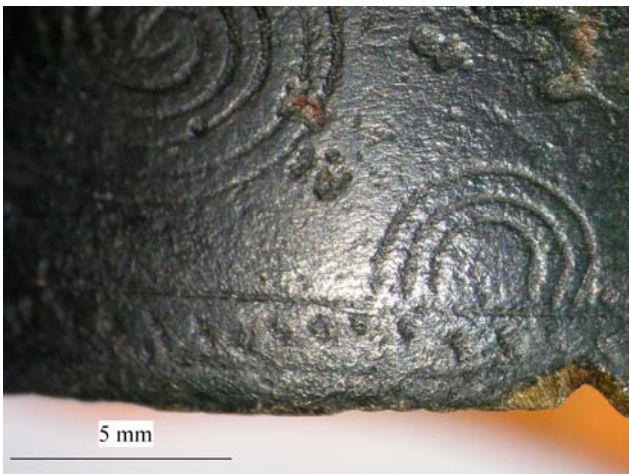


**6. ábra**

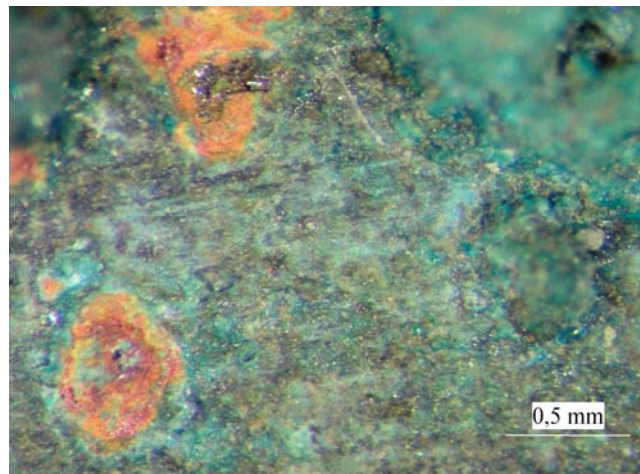
A csüngő felületi korróziója. Sztereobinokuláris mikroszkópos felvétel, 40x-es nagyítás.

**7. ábra**

Recens vajat a 2/1906. sz. karperec („karperec 2”) felületén. Sztereobinokuláris mikroszkópos kép, 8x-os nagyítás.

**8. ábra**

Az 1/1906. sz. karperec („karperec 3”) bevéssett díszítésének morfológiája, illetve recens sérülésnyom a tárgy peremén. Sztereobinokuláris mikroszkóp, 8x-os nagyítás.

**9. ábra**

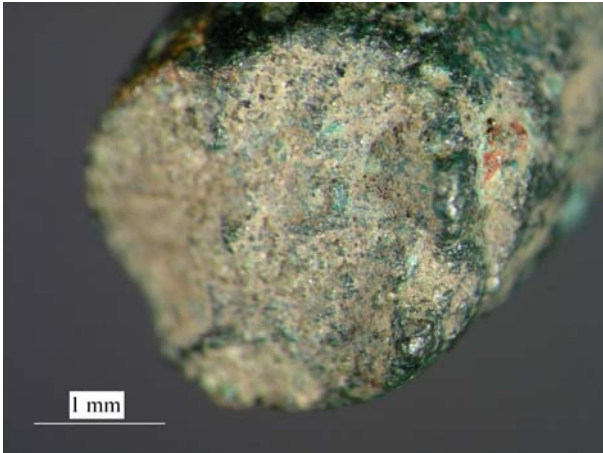
Fenesre utaló párhuzamos vajatok a bronz kés felületén. Sztereobinokuláris mikroszkóp, 56x-os nagyítás.

### ***Kérdésfeltevés***

Lényeges kérdés, hogy milyen összefüggés van a két korszak fémművessége között, az addigi kereskedelmi utak, cserekapcsolatok is szétzilálódtak-e a változások idején. A kérdés megválaszolásának alapvető feltétele a bronzanyag kiinduló ásványainak, forrásterületüknek, illetve, - amennyiben lehetőség lesz rá - az alkalmazott gyártástechnológiának a meghatározása. Ez egy többlépcsős folyamat, melynek részeredményei önmagukban is értékelhetőek. A forrásterület-azonosításban kulcsszerepet kap a nyomelem-összetétel, illetve a zárványként fennmaradt ércszemcsék vizsgálata.

### **Programvázlat:**

1. Néhány tárgy összehasonlító vizsgálata, zárványok elemzése. Lehetőleg több független mérés elvégzése ugyanarról a tárgyról. Ehhez a szakaszhoz tartozik a felsorolt 6 bronztárgy elemzése.
2. Temetők (Szeged-Bogárzó, Szeged-Tápé) fémanyagának vizsgálata a korábbi tapasztalatok fényében.
3. A leletegyütteseken belüli csoportok megállapítása, elsősorban az arzén és antimon alapján. Ez segíthet azonosítani a műhelyköröket.



**10. ábra**

A bronz tű törésfelületének mikroszkópos képe. Látható, hogy erősen oxidálódott, ami nem recens sérülésre utal. Sztereobinokuláris mikroszkóp, 30x-os nagyítás.

A bányahelyek (minimálisan hegység szerinti) azonosítása a recens nyomelem értékek, a kiindulási ércásványok elterjedésének tükrében.

4. Középső és késő bronzkori kincsek analízise, majd ezek forrásterületének meghatározása.

5. A középső és késő bronzkori lakosság bronz nyersanyag beszerzési útvonalainak feltérképezése, a két időszak fémművességének összehasonlítása.

Programunk nagy ívű és potenciálisan igen eredményes útvonalat vázol fel, melyen belül minimális cél a halomsíros kultúra fémművességének archeometallurgiai vizsgálata. Így az 1-3. pontok lépései szorosan összefüggenek, míg az 4-5. lépés ettől függetlenül is elvégezhető.

### **Analitikai módszer**

A bronztárgyak archeometallurgiai jellemzését a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézetében valamint a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizika Tanszékén végezzük, korszerű műszeres analitikai eljárásokkal. Az eszközpark egy pásztázó nukleáris mikroszonda berendezésből, energia-diszperzív röntgenanalitikai mérőrendszerből, pásztázó elektron-mikroszondából valamint optikai mikroszkópból áll. Ezen berendezésekre alapozva lehetőség van a minta elemi összetételének, mikrostruktúrájának, kristályszerkezetének valamint felületi korróziós állapotának a vizsgálatára. Az ATOMKI mérőrendszerének valamint az alkalmazott analitikai eljárásoknak a részletes ismertetése korábbi publikációkban (Rajta et al. 1996, Uzonyi et al. 2001, 2005) valamint az Archeometriai Műhely jelen számában megtalálható.

Vizsgálatainkban, a régészeti leletek jellemzésére mind a konvencionális röntgenanalitikai (XRF), proton-indukált röntgenemissziós mikroanalitikai (microPIXE), valamint elektronsugaras mikroanalitikai

(SEM-EDX) eljárásokat alkalmazunk. Az XRF módszer előbbi makroszkópikus méretű felületre vonatkozóan szolgáltat adatokat, így alkalmas a minta átlagos elemi összetételének a meghatározására. A microPIXE és a SEM-EDX technikákkal ezzel szemben az anyag mikrostruktúrája térképezhető fel, és következtetéseket vonhatunk le mind az alkalmazott alapanyagokra, mind a gyártástechnikára vonatkozóan valamilyen szinten.

Méréstechnikai szempontból fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy archeológiai bronztárgyak esetében a gyártás/hőkezelés/megmunkálás/korróziós effektusok hatására felületi önbedúsulással számolhatunk, és akár több 100 µm vastagságú patinaréteg is kialakulhat. Ezért a méréseket minden esetben a felületi patinaréteg eltávolítása után végeztük el.

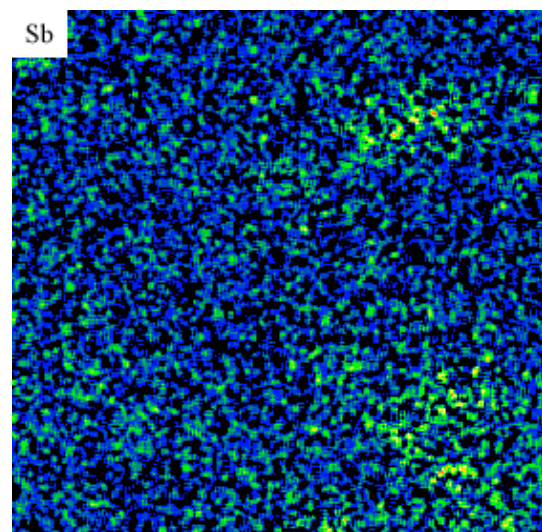
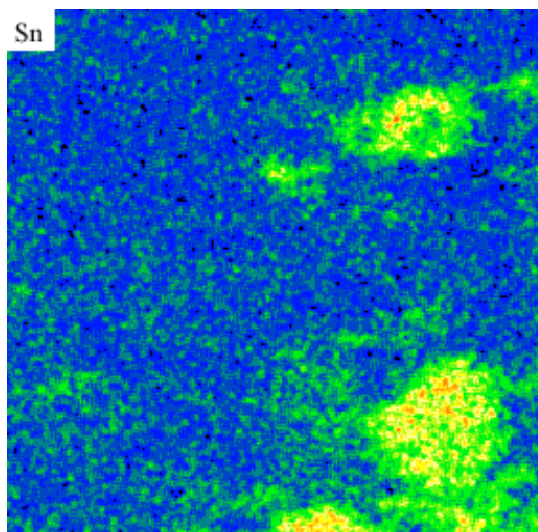
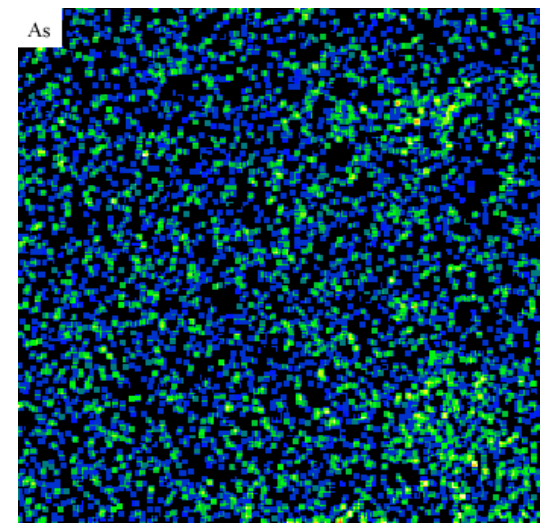
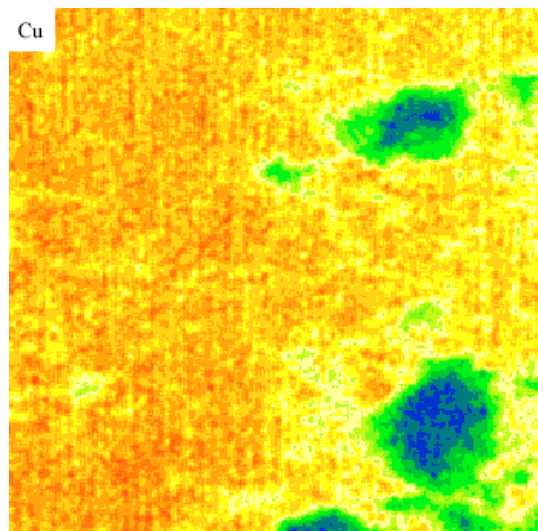
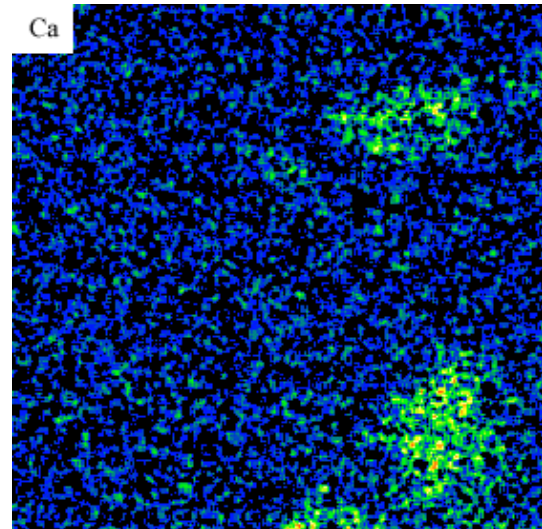
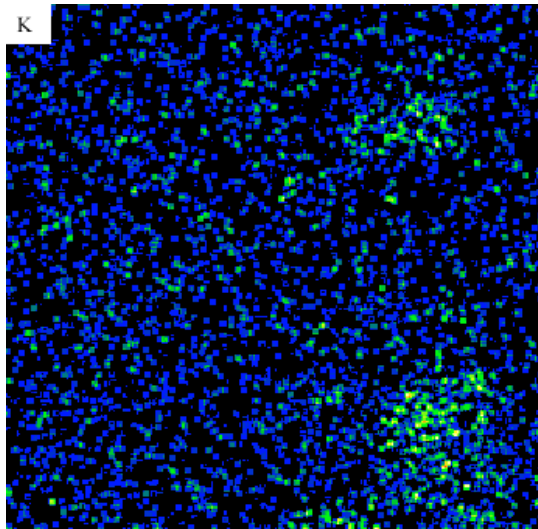
A sztereobinokuláris mikroszkópos vizsgálatokat az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén végeztük.

### **Geológiai-ásványtani háttér**

Mivel a fémek természetes állapotukban leggyakrabban ércek (főleg oxidok, szulfidok és karbonátok) formájában vannak jelen, ezért fontos, hogy keletkezésük körülményeit is részletesebben ismerjük. A réz előfordul természetesen is (hazánkban Rudabánya és Recsk környékén), de a bronzkorban már számolhatunk érceinek kohósításával, hiszen ezek sokkal gyakoribbak. A réz elsődleges érce a kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), amely főleg magmás folyamatok befejező szakaszában, az ún. hidrotermális oldatokból válik ki. Másodlagos szulfidásvány a kalkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), valamint a fakóércek ( $(\text{CuFe})_{12}(\text{AsSb})_4\text{S}_{13}$ ). Járulékosan ezekhez további rézásványok kapcsolódhatnak, az ún. polimetallikus ércesedésekben (pl. bornit:  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ , kovellin:  $\text{CuS}$ ). Az ércelepek kialakulásuk után fejlődésen mennek keresztül. Felszíni rétegükben a vas és a réz szulfidjai oxidálódnak. Ez az ún. oxidációs zóna az idő előrehaladtával egyre mélyebbre hatol. A legfontosabb oxidatív ércek a kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), tenorit ( $\text{CuO}$  – ritka), a malachit ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), azurit ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ). A felszínközeli kibúvásokban ezek mellett természetesen is található (Cu) (Pásztor et al. 1990, 15. 1.2. kép, Molnár 2008, 94-98). Rézércelepek vulkanikus hegységeink (Börzsöny, Mátra, Zempléni-hegység, tágabb területen az Erdélyi-érchegység és a Gömri-érchegység) területén található elsősorban. A Kárpát-medencéhez közeli, fontos rézlelőhely Mitterberg a Keleti-Alpokban – az innen származó ércek szintén nyersanyagai lehetnek a bronzkori fémművességnek. Az egyes területek eltérő összetételű magmatestjei eltérő nyomelem-eloszlású ércesedéseket eredményeztek, amely legkézzelfoghatóbban az egyes járulékos színesfémásványok arányában nyilvánul meg (Janković & Sillitoe 1980).



**11. ábra** - A csüngőre vonatkozó koncentráció-eloszlások (elemtérképek) színskálás ábrázolással. Pásztázás mérete: 2 mm x 2 mm. Az ábrák alapján jól megfigyelhető az Sn+Sb+(K+Ca +As) elemek korrelációja, mely a gyártás és/vagy a korrózió során végbement elem-összekapcsolódás eredménye.



Koncentráció





Ezek, a szintén döntően szulfidos összetételű ércek (az antimon, arzén, ólom, vas és cink a leggyakoribb: antimonit ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), arzenopirit ( $\text{FeAsS}$ ), galenit ( $\text{PbS}$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ), szfalerit ( $\alpha\text{-ZnS}$ )) a rézércekkel keveredve még gondos tisztítás és szétválasztás esetén is okozhatnak szennyezést.

Kérdés, hogy a bronzkorban (de más korszakokban is), külön állították-e elő a rezet és csak később ötvözték, vagy a hasonló kémiai szerkezetű szulfidércek kohósítása együtt történt. Véleményünk szerint az érceket egymástól nem választották el, csak a meddőtől tisztították meg. Így a kohósítás egy, az érceveréktől, és a kohóban végbemenő folyamatok jellegétől függő összetételű ötvözetet eredményezett (Pásztor et al. 1990, 12-16). Kohósításkor az arzén aránya lecsökken, mivel magasabb hőfokon jó része elszublimál, ennek ellenére minden mintában ki tudtuk mutatni, olykor nem elhanyagolható mennyiségben.

Korábban más bronzkori minták esetében is felfigyeltek erre a jelenségre (Szegedy 1957, Ecsedy 1995b, 32). Ez arra utalhat, hogy az eredeti érceverék jelentősebb mennyiségben (néhány %) tartalmazott arzénásványt. Az ércesedések geokémiai jellegét megfeleltethetjük a bronzban talált mellékalkotók és nyomelemek arányával, és így közelítőleg megmondhatjuk, mely érces területről származott a réz.

Az ón legfőbb érce a kassziterit ( $\text{SnO}_2$ ). Eredete szintén magmás, de a rézércnél magasabb hőfokon történik a kiválása. A Kárpát-medence rendkívül szegény ónércben, annak legközelebbi jelentős dúsulása Csehországban található, így mindenképp kereskedelem útján kellett beszerezniük a korabeli bronzműveseknek. Járulékosan vas és titán jelenhet meg az ónércben.

A csüngő és a „karperec 1” esetében felvethető, hogy a magasabb, 1-2 % körüli Sb és As tartalom nem csupán a természetes érceveredés, hanem tudatos ötvözés (hozzákeverés) eredménye. Ezek ércei a Kárpát-övezetben is széles körben fordulnak elő, és a rézérchez keverve hasonlóan viselkednek, mint az ón, az elkészült bronz a legtöbb tulajdonságában megegyezik az ónbronzzal. Ezt a kérdéskört további elemzésekkel alaposan körül kívánjuk járni. (A többalkotós bronzokról, és az egyes ötvözők (Sb, Sn, Pb, Zn) hatásáról lásd Pásztor et al. 1990, 16-17. Összefoglaló ásványtani irodalom: Nesse 2000, Papp 2002, Szakáll et al. 2005, etc.).

### ***Az eredmények diszkussziója, néhány gondolat a metallurgiai eljárásokról***

A fent leírt, halomsíros kultúrába sorolt bronztárgyak microPIXE vizsgálatának analitikai részeredményeit összefoglalva az **1. táblázatban** közöljük.

A módszer teljesítő képességének szemléltetésére, a csüngőre vonatkozóan néhány kiválasztott elemterképet is bemutatunk (**11. ábra**). Elemzést jelen esetben csak a közepes és nagyrendszámú elemekre (káliumtól kezdődően) végeztünk. A kisrendszámú elemek kvantitatív meghatározásához a felület megfelelő előkészítése, polírozása szükséges, melyre a későbbiekben lehetőségünk lesz. Tervezzük komplementer analitikai XRF vizsgálatok elvégzését is mintánként több pontban, részben a heterogenitásból adódó hibák csökkentése érdekében, részben további nyomelemek kimutatása céljából. Az adatbázis kiterjesztésével, nő az esélye a felvetett régészeti probléma megválaszolásának, két korszak fémművészete közötti kapcsolatok/változások kimutatásának.

A SEM-EDX módszerrel kapott eredmények a **2-3. táblázatban** és a **12-15. ábrán** láthatók. A vizsgálatok a Debreceni Egyetemen készültek. A polírozott felület dendrites struktúrája igazolja a tárgy öntését, melyet hideg megmunkálás nem követett (Szabó 1999, 335, 3. kép).

A bronz alapanyag (86-87% Cu és ~10% Sn) szürke zárványai (**13, 14. ábra**) összetételükben (20,18% S, 4,5% Fe, 48,63% Cu, atom%)  $\text{Cu}_2\text{S}$ -nek (kalkozin) vagy  $\text{Cu}_3\text{FeS}_4$ -nek (bornit) felelnek meg. Lehetséges, hogy a kalkozinos érc pirit szennyeződése okozza a vastartalmat (Czajlik et al. 1999, 40) – ennek eldöntését további vizsgálatoktól várhatjuk. A világos zárványok analízise C-O-Cu-Pb összetételt mutat. Hasonló eredményeket kaptak az urnamezős kultúra bronztárgyain végzett korábbi mérésekben is (Czajlik et al. 1999, 40, Fig 2., Fig. 3., Szabó 1999, 11. kép).

Az alapanyagban is jelen lévő szenet a szulfidos ércek redukív kohósítása számlájára írjuk: az oxigén eltávolítása (a fém színítése) faszéneken hevítéssel történik. Mivel csak oxidos érc színíthető faszénes redukcióval, a szulfidokat oxidokká kellett alakítani, azaz pörkölésre volt szükség. A réz és más színesfémek ércei már 800° C alatt oxidálódnak, s ezt a hőmérsékletet a bronzkorban könnyen elérhették (a kerámia égetése hasonló, ill. magasabb hőmérsékletet igényel). A kohóban történő hevítés során az érc előbb oxidálódik, majd a hőmérséklet további emelésével redukálódik, végül megolvad (a kohászati eljárásokhoz lásd Pásztor et al. 1990, 12-16, Molnár 2008). A salakképzés szilikátos és karbonátos anyagokkal történik (Ecsedy 1982, 82, 1995b, 35, Pásztor et al. 1990, 16).

A forrásterületről ilyen kevés minta alapján nem sokat mondhatunk, de a polimetallikus összetétel talán erdélyi középhegységbeli ércre utal (Cioflika & Vlad 1980, 69).

**1. táblázat - Bronztárgyak microPIXE vizsgálati eredményei 2 mm x 2 mm pásztazott felületre vonatkoztatva**

	Elemek koncentrációja (g/g%)											
	Csüngő		Karperec-1		Karperec-2 (2/1906)		Karperec-3 (1/1906)		Kés		Tű	
	Konc.	Hiba	Konc.	Hiba	Konc.	Hiba	Konc.	Hiba	Konc.	Hiba	Konc.	Hiba
<b>K</b>	<b>0.12</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>
<b>Ca</b>	<b>0.32</b>	<b>0.05</b>	<b>0.15</b>	<b>0.04</b>	<b>0.56</b>	<b>0.06</b>	<b>0.31</b>	<b>0.05</b>	<b>0.17</b>	<b>0.04</b>	<b>0.14</b>	<b>0.04</b>
Ti	-	-	0.01	0.00	-	-	-	-	0.01	0.00	-	-
Cr	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Mn	0.01	0.00	0.01	0.00	-	-	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
<b>Fe</b>	<b>0.23</b>	<b>0.01</b>	<b>0.08</b>	<b>0.01</b>	<b>0.57</b>	<b>0.01</b>	<b>0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>0.18</b>	<b>0.01</b>
<b>Ni</b>	<b>0.32</b>	<b>0.01</b>	<b>0.29</b>	<b>0.01</b>	<b>0.33</b>	<b>0.01</b>	<b>0.31</b>	<b>0.01</b>	<b>0.24</b>	<b>0.01</b>	<b>0.37</b>	<b>0.01</b>
<b>Cu</b>	<b>84.41</b>	<b>0.49</b>	<b>90.62</b>	<b>0.54</b>	<b>83.47</b>	<b>0.50</b>	<b>87.02</b>	<b>0.51</b>	<b>89.90</b>	<b>0.52</b>	<b>88.09</b>	<b>0.53</b>
<b>Zn</b>	<b>0.23</b>	<b>0.04</b>	<b>0.21</b>	<b>0.04</b>	<b>0.22</b>	<b>0.04</b>	<b>0.24</b>	<b>0.04</b>	<b>0.22</b>	<b>0.04</b>	<b>0.23</b>	<b>0.04</b>
<b>As</b>	<b>0.81</b>	<b>0.02</b>	<b>0.54</b>	<b>0.02</b>	<b>0.62</b>	<b>0.02</b>	<b>0.56</b>	<b>0.02</b>	<b>0.40</b>	<b>0.02</b>	<b>0.75</b>	<b>0.02</b>
Se	0.01	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
Br	-	-	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01
Sr	-	-	0.01	0.00	0.02	0.01	-	-	-	-	0.01	0.00
Ag	-	-	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Sn</b>	<b>12.17</b>	<b>0.06</b>	<b>5.84</b>	<b>0.05</b>	<b>13.40</b>	<b>0.07</b>	<b>10.38</b>	<b>0.06</b>	<b>7.99</b>	<b>0.05</b>	<b>9.56</b>	<b>0.06</b>
<b>Sb</b>	<b>1.12</b>	<b>0.17</b>	<b>1.86</b>	<b>0.10</b>	<b>0.22</b>	<b>0.20</b>	<b>0.59</b>	<b>0.15</b>	<b>0.66</b>	<b>0.12</b>	<b>0.32</b>	<b>0.14</b>
<b>Pb</b>	<b>0.21</b>	<b>0.07</b>	<b>0.16</b>	<b>0.06</b>	<b>0.42</b>	<b>0.07</b>	<b>0.36</b>	<b>0.06</b>	<b>0.20</b>	<b>0.05</b>	<b>0.17</b>	<b>0.08</b>

**2. táblázat - A 12. ábrán számokkal jelzett pontokban mért értékek**

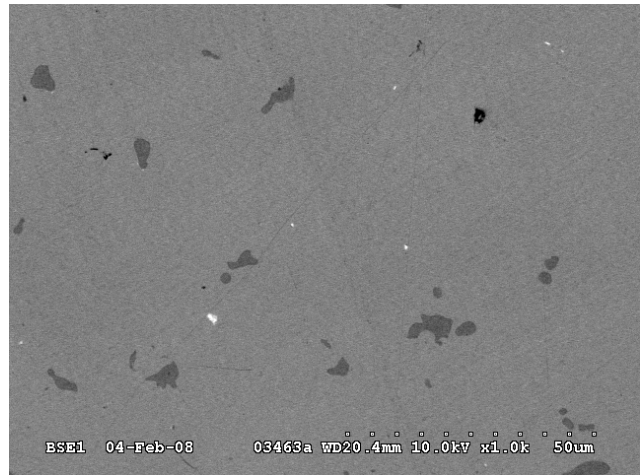
Mérési pont	Elemek koncentrációja (atom%)						
	C	O	S	Fe	Cu	Sn	Pb
<b>1</b>	10.71	-	-	-	83.60	5.69	-
<b>2</b>	21.34	-	-	-	74.38	4.28	-
<b>3</b>	26.69	-	20.18	4.50	48.63	-	-
<b>4</b>	25.45	-	19.66	3.35	51.54	-	-
<b>5</b>	63.07	10.02	-	-	12.10	-	14.81

**3. táblázat - A 12. ábrán számokkal jelzett pontokban mért értékek**

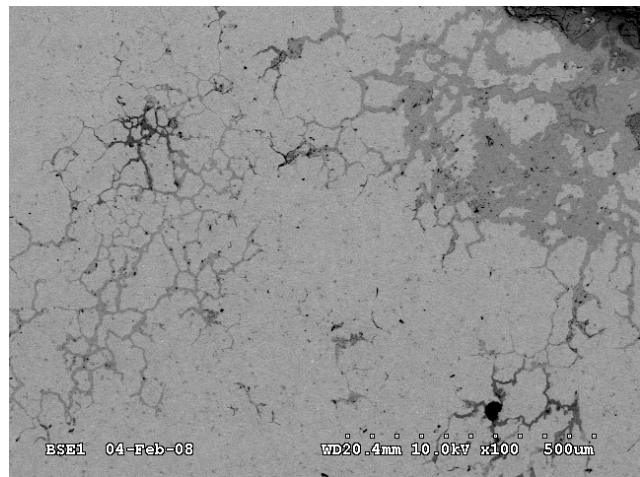
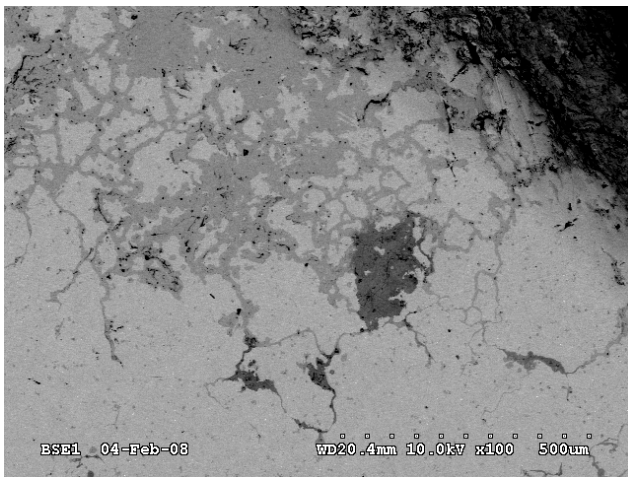
Mérési pont	Elemek koncentrációja (g/g%)						
	C	O	S	Fe	Cu	Sn	Pb
<b>1</b>	2.1	-	-	-	86.9	11.0	-
<b>2</b>	4.7	-	-	-	86.1	9.3	-
<b>3</b>	7.4	-	15.0	5.8	71.7	-	-
<b>4</b>	6.9	-	14.3	4.3	74.4	-	-
<b>5</b>	15.9	3.4	-	-	16.2	-	64.5

**12. ábra**

A csüngő felületének SEM-EDX vizsgálatnak alávetett területe. A számok a 2. táblázatban közölt mérési pontokat jelölik. 3000x-es nagyítás.

**13. ábra**

A csüngő polírozott felületének struktúrája 1000x-es nagyítással. Jól láthatóak a szürke és fehér zárványok a világosszürke alanyanyagban.

**14-15. ábra**

A felület dendrites struktúrája 100x nagyításban.

## Összefoglalás

Rövid ideje indult kutatásunk első néhány mérése során kidolgoztuk a mintavizsgálat nem roncsoló, megbízható adatokat szolgáltató módszerét. A microPIXE és SEM-EDX vizsgálatok sok kérdést vetettek fel a régészeti korú bronztárgyak elemzésével kapcsolatban (pl. korrózió, felületi óndúsulás), de egyszersmind hasznos adatokat szolgáltatottak (polimetallikus összetétel, ásványzárványok).

Eredményként könyvelhetjük el a halomsíros kultúra néhány bronztárgya összetételének megállapítását. A SEM-EDX mérés a csüngőn lehetővé tette, hogy a metallurgiai eljárásra vonatkozó következtetéseket vonjunk le. Összefüggést találtunk az urnamezős kultúra fémművességével, de ennek pontos természetét még nem látjuk. Jelen cikknek nem célja messzebb vezető régészeti-történeti következtetések korai

levonása. Érzékeltetni kívántuk a módszereinkben rejlő lehetőségeket, továbbá tájékoztatást adtunk tervezett munkánkról.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az M041939, M36324, OTKA valamint a GVOP-3.2.1.-2004-04-0402/3.0 pályázatok keretében kapott támogatásokért.

## Irodalom

BÓNA, I. (1958): Chronologie der Hortfunde vom Koszider-Typus. *AAH* 9 211-243.

BÓNA, I. (1992a): Bronzezeitliche Tell-kulturen in Ungarn. In: MEIER-ARENDET, W.: *Bronzezeit in Ungarn. Forschungen in Tell-Siedlungen an Donau und Theiss*. Frankfurt am Main, 9-42.



- BÓNA, I. (1992b): Bronzeguss und Metallbearbeitung bis zum Ende der Mittlere Bronzezeit. In: MEIER-ARENDR, W.: *Bronzezeit in Ungarn. Forschungen in Tell-Siedlungen an Donau und Theiss. Frankfurt am Main*, 48-65.
- CIOFLIKA, G. & VLAD, S (1980): Copper Sulphide Deposits Related to Laramian Magmatism in Romania. In: JANKOVIĆ & SILITOE eds. *European Copper Deposits*. Belgrade. 67-72.
- CSÁNYI, M. (1980): Árokkaal körülvett sírok a halomsíros kultúra jánoshidai temetőjében - Graves surrounded by ditches in the Jánoshida cemetery of the tumulus grave culture. *ArchÉrt* **107** 153-165.
- CZAJLIK, Z. (1996): Ein spätbronzezeitliches Halbfertigprodukt: Der Gusskuchen. Eine Untersuchung anhand von Funden aus Westungarn. *ArchA* **80** 165-180.
- CZAJLIK, Z.-MOLNÁR, F.-SÓLYMOS, K. G. (1995): Angaben zu den spätbronzezeitlichen Metallrohmaterialversorgung am Velem-St. Veit Berg (Westungarn). *Archäologie Österreichs* **6** 30-35.
- CZAJLIK, Z.-MOLNÁR, F.-SÓLYMOS, K. G. (1999): On the Origin of Late Bronze Age Semi-products Found at Celldömölk-Sághegy According to Electron-microprobe (EPMA) Studies. *CommArchHung* 35-46.
- ECSEDEY, I. (1982): Ásatások Zók-Várhegyen (1977-82). Előzetes jelentés. *JPMÉ* **27** 59-105.
- ECSEDEY, I. (1984): Óskori leletek Dunaszekcső-Várhegyről. *JPMÉ* **29** 89-125.
- ECSEDEY, I. (1995a): A bronzkor kezdete. In: MARÁZ, B. (szerk.): *A bronzkor kincsei Magyarországon*. Pécs 14-18.
- ECSEDEY, I. (1995b): Rézkori hagyományok és a bronzkori technika kezdetei. In: MARÁZ, B. (szerk.): *A bronzkor kincsei Magyarországon*. Pécs 31-37.
- ECSEDEY, I. (1999): Zók-Várhegy. *Egy szőlőhegy évezredei*. Zók, 1999.
- FOLTINY, I. (1957): A halomsíros és lausitzi kultúrák nyomai Szeged környékén - Spuren der Hügelgräber und der Lausitzer Kultur in der Umgebung von Szeged. *RégFüz* **4**.
- ILON, G. (2002): Későbronzkori kincslet Szombathelyről. Napbárka szimbólumok a Kárpát-medencei urnamezős kultúra lemeztárgyain. *Savaria* **27** 119-147.
- JANKOVIĆ, S. & SILITOE, R. H. (eds.) (1980): *European Copper Deposits*. Belgrade.
- KEMENCZEI, T. (1968): Adatok a halomsíros kultúra vándorlásának kérdéséhez. *ArchÉrt* **95** 159-186.
- KOVÁCS, T. (1972): Askoi, Bird-Shaped Vessels, Bird-Shaped Rattles in Bronze Age Hungary. *Folia Archaeologica* **23** 7-28.
- KOVÁCS, T. (1975): Historische und Chronologische Fragen des Überganges von der mittleren- zur spätbronzezeit in Ungarn. *AAH* **27** 297-317.
- KOVÁCS, T. (1994a): Újabb adatok a mészbetétes kerámia kultúrájának fémművességéhez. *A Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei*, **19-20** 119-132.
- KOVÁCS, T. (1994b): Zwei Vollgriffschwerter von Hajdúsámson-Apa Typ aus dem Donau-Theiss-Zwischenstromgebiet. *Folia Archaeologica* **43** 51-69.
- KOVÁCS, T. (1995): A középső bronzkor: a virágkor. In: MARÁZ, B. (szerk.): *A bronzkor kincsei Magyarországon*. Pécs, 18-24.
- KOVÁCS, T. (2000): Neue Angaben und Beobachtungen zur Untersuchung der Gesellschaftsstruktur der Hügelgräberkultur im Karpatenbecken. *AAH* **51** 97-109.
- KÖLTŐ, L. (1996): Néhány nagy antimontartalmú bronzkori bronztárgy röntgenemissziós analízise. *Pápai Múzeum Évkönyve* **6** 83-88.
- KULCSÁR, G. & V. SZABÓ, G. (1997): Kronológia. In: HAVASSY, P.: *Látták Trója kapuit. Bronzkori leletek a Közép-Tisza vidékéről. Gyulai Katalógusok* **3**. Gyula, 154-155.
- MOZSOLICS, A. (1957): Archaeologische Beiträge zur Geschichte der grossen Wanderung. *AAH* **8** 119-156.
- MISKE, K. (1907): *Velem Szt. vidi őstelep*. I. Wien, 1907.
- MOLNÁR, F. (2008): Ércsek, salakok, fémek. In: SZAKÁLL, S. (szerk.): *Az ásványok és az ember a mai Magyarország területén a XVIII. század végéig. Fókuszban az ásványi anyag*. Tudományos konferencia (2007. márc. 2.). Geotudományok. A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat, **74**. 91-111.
- NESSE, W. D. (2000): *Introduction to Mineralogy*. New York - Oxford.
- PAPP, G. (2002): *A Kárpát-övezetben felfedezett ásványok, kőzetek és fosszillis gyanták története*. Budapest.
- PÁSZTOR, G.-SZEPESSY, A.-KÉKESI, T. (1990): *Színesfémek metallurgiája*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- RAJTA, I., I. BORBÉLY-KISS, I., MÓRIK, GY., BARTHA, L., KOLTAY, E. & KISS, Á. Z. (1996): The new Atomki scanning proton microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* **B 109** 148-153.
- REMÉNYI, L. (2003): Megjegyzések a Kárpát-medence középső bronzkori "virágkorának" kérdéséhez. *Ősrégészeti Levelek* **5** 51-64.
- SANGMEISTER, E. (1973): Die Bronzen des Hortfundhorizontes von Ópályi. Ergebnisse der Spektralanalytischen Untersuchungen. In:

MOZSOLICS, A. (1973): *Bronze- und Goldfunde des Karpatenbeckens. Depotfundhorizonte von Forró und Ópályi*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

SÁNTA, G. (2004a): Sánta G.: A halomsíros kultúra leletei Zákányszék határában. *MFME-StudArch* **X**. 53-80.

SÁNTA, G. (2004b): Bronzkori sír Zákányszék határában - Adatok a halomsíros kultúra fémművességéhez. *Ősrégészeti Levelek* **6** 40-47.

SCHUBERT, F. - SCHUBERT, E. (1967): Spektralanalytische Untersuchungen von Hort- und Einzelfunden der Periode BIII. In: MOZSOLICS, A. (1967): *Bronzefunde des Karpatenbeckens. Depotfundhorizonte von Hajdúsámson und Kosziderpadlás*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

SÜMEGI, P. (2005): Polgár-Kenderföld bronzkori tell környezettörténeti, éghajlati és paleovegetációs rekonstrukciója és összehasonlító régészeti geológiai értékelése. *Kézirat*, 2005.

SZABÓ, G. (1999): Adatok a velemi késő bronzkori ónbronzoak archaemetallurgiai vizsgálataihoz. - Beiträge zu den Archäometallurgischen Untersuchungen der spätbronzezeitlichen Zinnbronzen von Velem. *Savaria* **24/3** 329-357.

SZAKÁLL, S., GATTER, I. & SZENDREI, G. (2005): *A magyarországi ásványfajok*. Budapest. 2005.

SZATHMÁRI, I. (2005): Folyókból előkerült kardleletek a Magyar Nemzeti Múzeum gyűjteményében. *CommArchHung* 143-166.

SZEGEDY, E. (1957): Die Metalltechnologie der Depotfunde von Alsónémedi und Pusztaszentkirály. *AAH* **8** 157-158.

TROGMAYER, O. (1965): A férfi és női viselet nyomai a tápéi bronzkori temetőben. - Reste der Männer- und Frauentracht in dem bronzezeitlichen Gräberfeld von Tápé. *FolArch* **17** 51-63

TROGMAYER, O. (1975): Die bronzezeitlichen Gräberfeld bei Tápé. *FontesArchHung*.

UZONYI, I., RAJTA, I., BARTHA, L., KISS, Á. Z. & NAGY, A. (2001): Realization of the simultaneous micro-PIXE analysis of heavy and light elements at a nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* **B 181** 193-198.

UZONYI, I. & SZABÓ, GY. (2005): PIXEKLIM-TPI - a software package for quantitative elemental imaging with nuclear microprobe. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* **B 231** 156-161.

# PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL STUDY OF CERAMICS OF NEOLITHIC SETTLEMENTS ON THE NORTHERN BOUNDARY OF THE GREAT HUNGARIAN PLAIN – TISZASZŐLŐS-DOMAHÁZA (KÖRÖS CULTURE) AND FÜZESABONY-GUBAKÚT (ALP CULTURE, SZATMÁR GROUP)

SZILÁGYI VERONIKA\* – SZAKMÁNY GYÖRGY\*\*

\*MTA IKI Nukleáris Kutatások Osztálya, 1121 Budapest, Konkoly-Thege út 19-23.

E-mail: [szilagyiv@iki.kfki.hu](mailto:szilagyiv@iki.kfki.hu)

\*\*ELTE Közéttan-Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

E-mail: [gyorgy.szakmany@geology.elte.hu](mailto:gyorgy.szakmany@geology.elte.hu)

## **Kivonat**

*Az itt bemutatott vizsgálatok és eredmények egy DAAD-MÖB kutatóprogram keretében valósultak meg, amely kis mintaszámmal ugyan, de Tiszaszőlős-Domaháza és Füzesabony-Gubakút (ÉK-Magyarország) neolitikus lelőhelyek agyagárújának (kerámiák és padló, illetve patics) anyagvizsgálatára is kitért. Emellett a lelőhelyek közvetlen környezetében a felszín közelében található talajszelvények agyagos képződményeiből is gyűjtöttünk mintákat. A vizsgálatokat a fazekasáru gyártására leginkább megfelelő nyersanyagokon végeztük. A kerámiákat és az üledékeket azonos (mikroszkópos petrográfiai és műszeres kémiai) módszerekkel vizsgáltunk, így az eredmények összehasonlíthatóvá váltak.*

*Kutatásunk egyrészt a két eltérő (Tiszaszőlős-Domaháza a Körös-, míg Füzesabony-Gubakút az Alföldi Vonaldiszes Kerámia) kultúrából származó neolitikus kerámia (és egyéb agyag anyagú) leletanyagának összehasonlítására irányult. Kiderült, hogy a kultúrabeli különbségek ellenére a kétféle fazekasáru nagy technológiai hasonlóságot mutat egymással, illetve a Körös kultúra agyagárújával. Vizsgálataink másik célja az alkalmazott nyersanyagok lehetséges azonosítása, illetve a technológiai paraméterek leírása volt. Kimutattuk, hogy a kora neolitikus fazekasok nagy valószínűséggel helyi folyóvízi üledékeket használtak az edények nyersanyagául különösebb előkészítés (tisztítás) nélkül, amelyeket a lelőhely környezetében a topográfiai mélyedésekből gyűjthettek. Az agyagos anyagba kisebb-nagyobb méretű növényi soványító anyagot keverték. Az edényeket szabadon formázták, majd viszonylag alacsony hőfokon (700–750 °C-on) égették ki nem szabályozott atmoszférában. A Tiszaszőlős-Domaházáról előkerült padlótöredék a többi lelethez képest karbonátosabb alapanyagból készült.*

*Eredményeink egyrészt alapját képezik a két neolitikus agyagműves hagyományainak régészeti szempontú tovább értelmezésének, másrészt tovább bővítik a korszakból származó, egyelőre még szórványosnak mondható archeometriai kerámia alapadatokat.*

## **Abstract**

*The investigations and results presented here were carried out in the framework of a DAAD-MÖB bilateral project. As a part of the complex aim of this project, a limited sample collection (containing ceramics, floor and daub) from two Neolithic archaeological sites, Tiszaszőlős-Domaháza and Füzesabony-Gubakút, was investigated. In addition to this archaeological sample group, geological samples (near surface clayey soils/sediments) were collected from the vicinity of the sites to find the most likely sources of raw materials for pottery making. Both ceramic and sediment samples were subjected to the same methodological research (microscopic petrographic and instrumental chemical investigations). In this way comparable data could be gained.*

*One aim of our research was to make a comparison between the ceramic (and other clay derivative) finds of the two Neolithic sites (Tiszaszőlős-Domaháza is connected to the Körös, while Füzesabony-Gubakút to the Alföld Linear Pottery Culture). It became clear that – despite the different cultures – the two pottery assemblages show significant technological similarities to each other and to ceramic material from the Körös Culture. The other aim of our research was to identify the most probable sources of raw materials for pottery making and to characterise the pottery manufacturing process. The results show that Early Neolithic potters probably made their pots directly (without any washing or cleaning) from the local alluvial clayey sediment which they could collect from topographic depressions of the landscape in the vicinity of the sites. They added variable sized plant remnants to this paste as a temper. Then the hand fashioned vessels were fired at a relatively low (700–750°C) temperature in an atmospherically non-controlled firing place. A floor remnant from Tiszaszőlős-Domaháza was made of a more carbonatic raw material than the pots.*

*On the one hand, our results can help to define the pottery traditions of these two Neolithic sites from an archaeological point of view. On the other hand, they can extend the presently sporadic raw data on archaeometrical ceramic investigations of this archaeological era.*

KULCSSZAVAK: NEOLIT, KERÁMIA (PADLÓ, PATICS), TALAJ/ÜLEDÉK, PETROGRÁFIA, TELJES KÉMIA

KEYWORDS: NEOLITHIC, POTTERY (FLOOR, DAUB), SOIL/SEDIMENT, PETROGRAPHY, BULK CHEMISTRY

### Introduction

This research formed part of the DAAD-MÖB German-Hungarian bilateral project carried out in 2005-2006 with the title of „Archaeometrical analysis of Neolithic pottery and comparison to potential sources of raw materials in their immediate environment” (see details on the project’s website: [www.ace.hu/daad/daad2](http://www.ace.hu/daad/daad2)). The project was launched, partly, to start a systematic database for archaeometrical investigations of the Neolithic period in Hungary. Former natural scientific research have been confined to ceramic assemblages from individual sites, especially from the Early Neolithic Körös (Szakmány et al., 2005; Spataro, 2004, 2006; Szakmány and Starnini, 2007) and Starčevo Cultures (Gherdán et al., 2004; Biró et al., 2007) as well as Early-Middle Neolithic Szakálhát (Szakmány and Starnini, 2007) and Bükk Cultures (Szakmány, 2001).

The two archaeological sites studied here – Tiszaszőlős-Domaháza and Füzesabony-Gubakút – have a close temporal and spatial connection since both were settled in the beginning of the Neolithic Age and are situated on the Northern margin of the Great Hungarian Plain in the vicinity of the foothills of Mátra Mountains (Fig. 1). Although both settlements could play an important role in the neolitisation of the

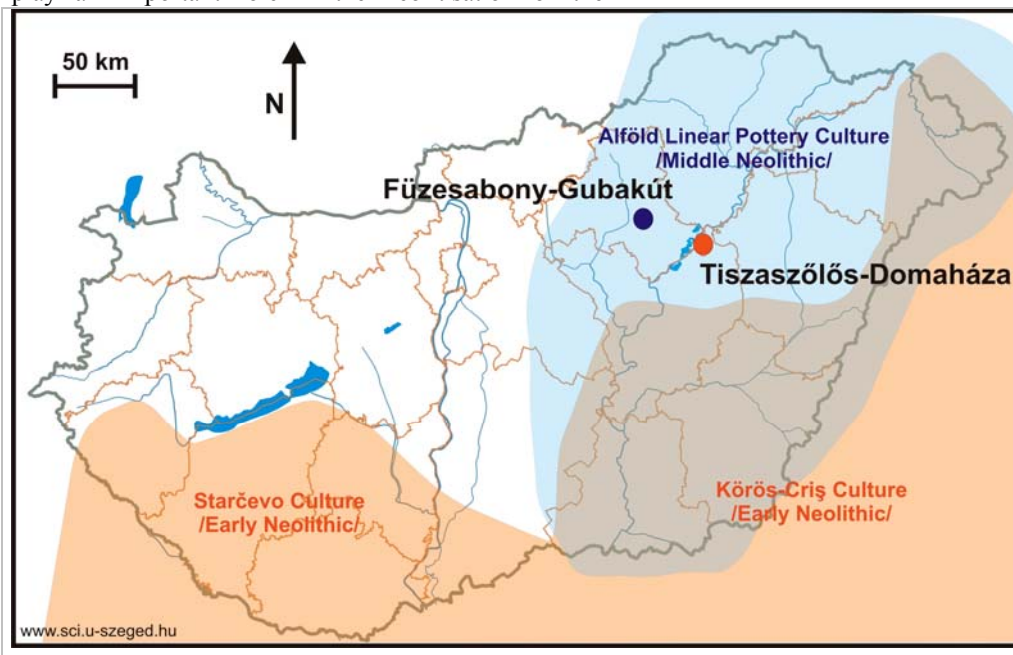
Northern territory of the Great Plain, Tiszaszőlős-Domaháza is an Early Neolithic Körös Culture site while Füzesabony-Gubakút is a Middle Neolithic ALP Culture (Szatmár Group) site (Domboróczki, 2005).

A comparative archaeometrical investigation of archaeological ceramics of these sites provides interesting data on the raw material usage and manufacturing techniques of pottery making. In addition to this, the results yielded new data for the complex investigation of the process of neolitisation in the territory of Hungary.

### Samples and methods

As a part of the above mentioned MÖB-DAAD project, in addition to the ceramic collection, systematically collected soil/sediment samples were investigated.

For the Tiszaszőlős-Domaháza archaeological site, eight pieces of ceramics (six fragments from plant tempered, thick and porous walled vessels, one sample from thin walled, weakly painted fine ware and another one from a statue; DIV-01—02,04—09) and a remnant of a compact, non plant-tempered floor (DIV-03) of a house were selected for detailed examinations (Fig. 2).



**Figure 1**  
Location of the studied Neolithic sites (geographic extension of the concerned archaeological cultures are shown after Visy et al. eds. 2003 p. 98)



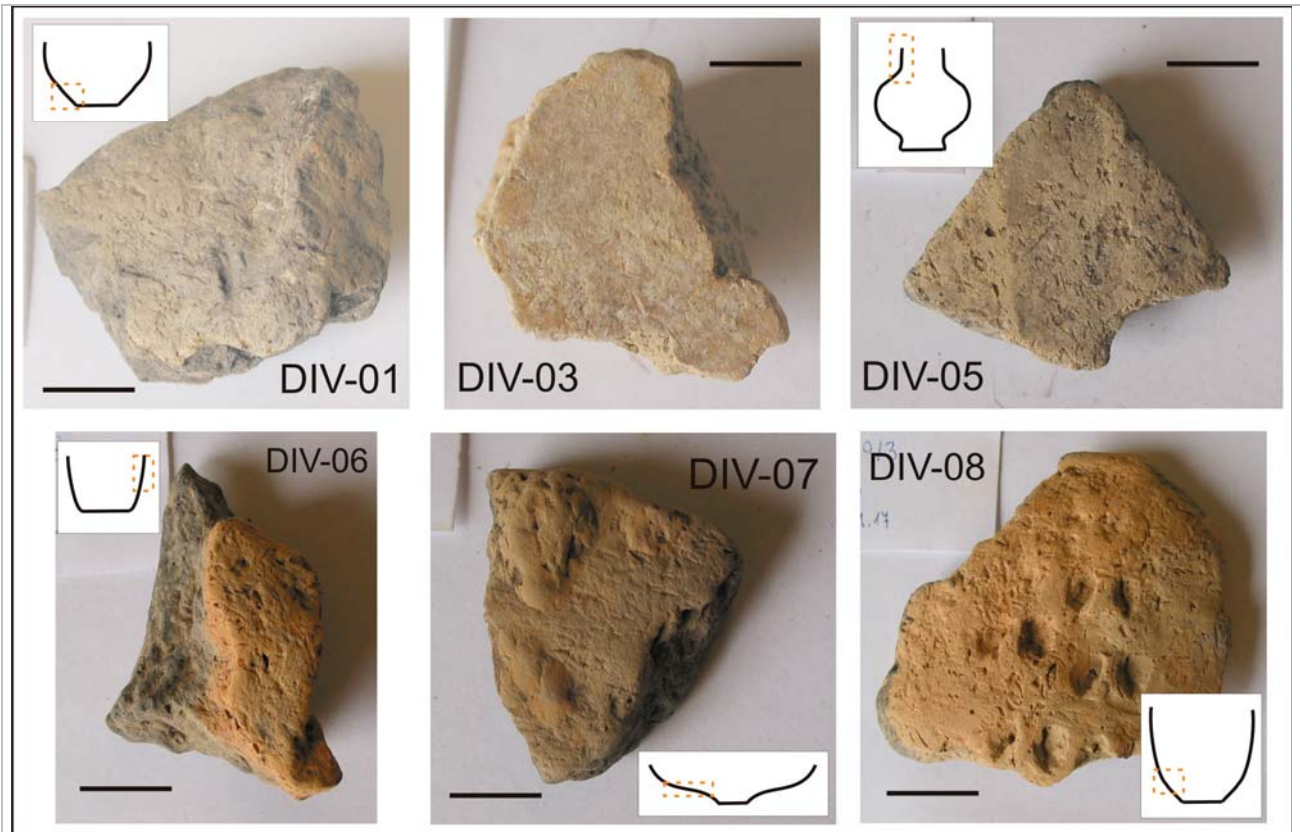


Figure 2 - Archaeological samples from Tiszaszőlös-Domaháza. (Scale is 1 cm).

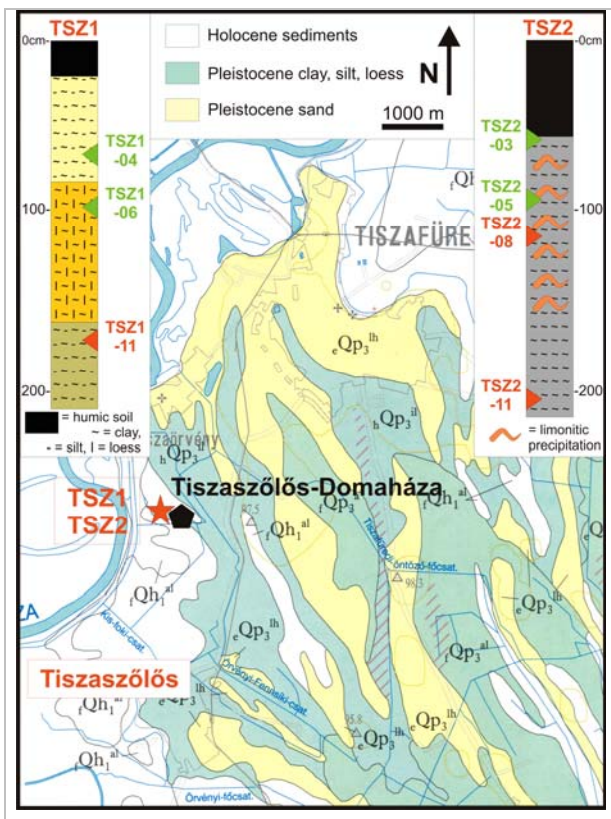


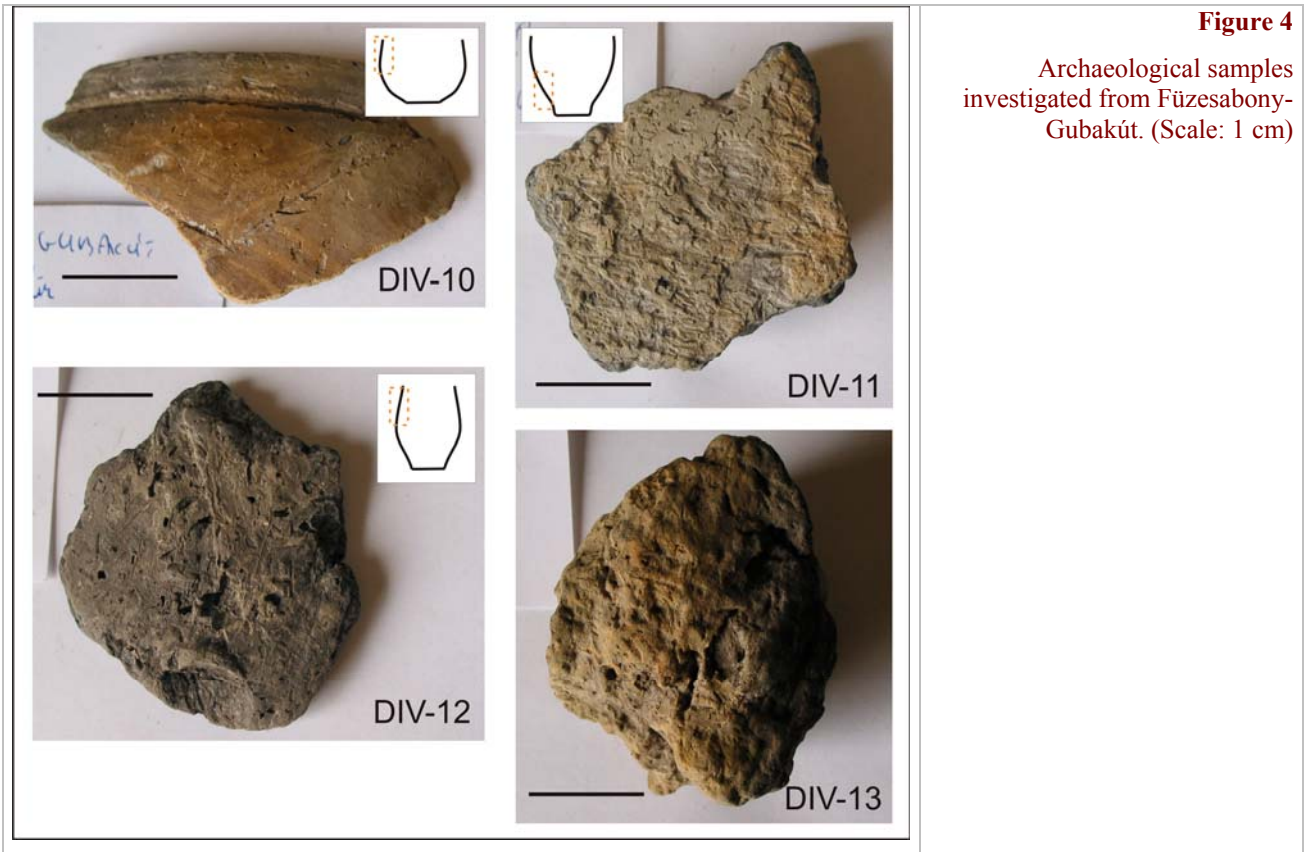
Figure 3 - Geological map of the surroundings of Tiszaszőlös-Domaháza site (red star marks the drilling sites, black pentagon the archaeological site) and the location of the comparative soil/sediment samples in each drillcore (samples marked with red arrows were investigated petrographically and chemically, samples marked with green arrows were investigated only chemically). The colours in the soil sections are roughly correct (After Gyalog ed. 2005).

Geological soil/sediment samples from Tiszaszőlös-Domaháza were collected by two hand drillings (No. TSZ1 and TSZ2) 2 m in depth and executed in the vicinity of the settlement site (Fig. 3). Drillcore No. TSZ1 came from an elevated area (similar to which the settlement was located) while drilling No. TSZ2 is from a depression. The two drill sites, approximately 200 m apart, were chosen to sample surface material from the Pleistocene clay, silt, loess (as shown on the geological map (Gyalog 2005)). We sampled (geologically young, Pleistocene) fine grained sediments which could be potential raw materials for pottery manufacturing and that were available on the surface/near-surface in the Neolithic time period. We selected samples from this collection for further studies, that is, we chose representative and prospective ones from the aspect of workability

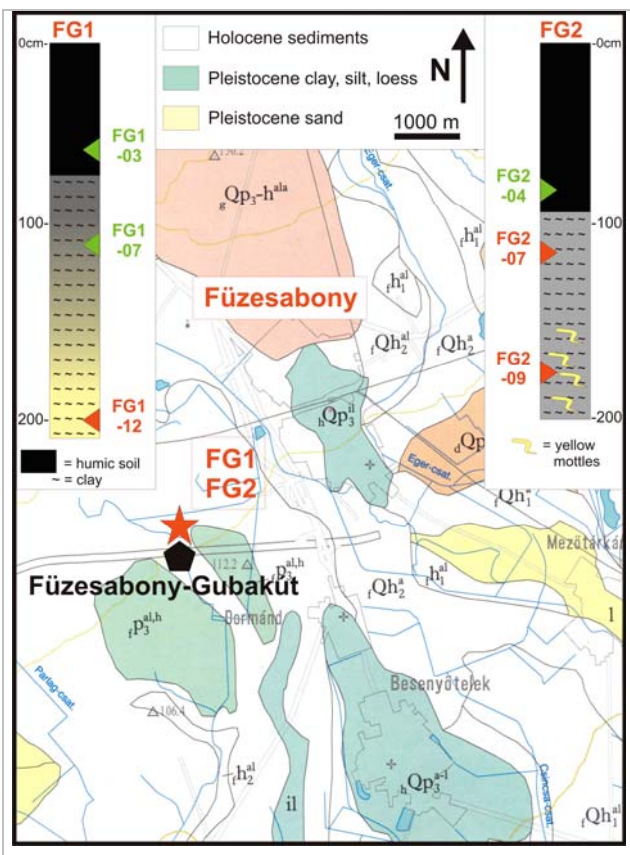
**Table 1.**

Codes, descriptions (and depth) of sampling and applied analytical methods (PM: petrographic microscopy; XRF: X-ray fluorescence chemical measurement) of the investigated samples of this study.

Sample no.	Sample code	Sample type/ Sampl. depth	Description	PM	XRF
ARCHAEOLOGICAL SAMPLES					
1	DIV-01 (TSz)	Coarse ceramic	yellowish light grey, plant tempered	+	+
2	DIV-02 (TSz)	Statue	grey, fine grained	+	+
3	DIV-03 (TSz)	Floor	yellow, packed plane surface, compact	+	+
4	DIV-04 (TSz)	Fine ceramic	yellow and grey, plant tempered	+	+
5	DIV-05 (TSz)	Coarse ceramic	grey, plant tempered	+	+
6	DIV-06 (TSz)	Coarse ceramic	red and grey, plant tempered	+	+
7	DIV-07 (TSz)	Coarse ceramic	light grey, plant tempered	+	+
8	DIV-08 (TSz)	Coarse ceramic	yellow and grey, plant tempered	+	+
9	DIV-09 (TSz)	Coarse ceramic	light grey, plant tempered	+	+
10	DIV-10 (FG)	Fine ceramic	painted, brown, plant tempered	+	+
11	DIV-11 (FG)	Coarse ceramic	grey, plant tempered	+	+
12	DIV-12 (FG)	Coarse ceramic	dark grey, plant tempered	+	+
13	DIV-13 (FG)	Daub	dark yellow	+	+
GEOLOGICAL SAMPLES (SOILS/SEDIMENTS)					
14	TSZ1-04	65—80 cm	yellow clayey silt		+
15	TSZ1-06	95—110 cm	limonitic light yellow loessy clay		+
16	TSZ1-11	170—185 cm	yellowish green clayey silt	+	+
17	TSZ2-03	55—70 cm	dark grey clay		+
18	TSZ2-05	90—100 cm	grey clay with limonitic mottles		+
19	TSZ2-08	135—150 cm	grey clay with limonitic mottles	+	+
20	TSZ2-11	190—215 cm	yellowish grey clay	+	+
21	FG1-03	50—70 cm	black humic soil		+
22	FG1-07	110—120 cm	light yellow-grey calcareous clay		+
23	FG1-12	185—210 cm	yellow silty clay	+	+
24	FG2-04	70—90 cm	dark brown clayey soil		+
25	FG2-07	120—150 cm	grey plastic clay	+	+
26	FG2-09	165—180 cm	greyish yellow clay	+	+



**Figure 4**  
Archaeological samples investigated from Füzesabony-Gubakút. (Scale: 1 cm)



**Figure 5** - Geological map of the surroundings of Füzesabony-Gubakút site (red star marks the drilling sites, black pentagon the archaeological site) and the location of the comparative soil/sediment samples in each drillcore (samples marked with red arrows were investigated petrographically and chemically, samples marked with green arrows were investigated only chemically). The colours in the soil sections are roughly correct. (After Gyalog ed. 2005)

(clay and carbonate content). Seven samples from the two drillings were selected for further analyses: all of them for instrumental chemical measurements and three for microscopic investigations (**Table 1**).

For the archaeological site of Füzesabony-Gubakút, two fragments of plant tempered, thick and porous walled ceramics (DIV-11—12), a piece of plant tempered, thin walled painted ceramic (DIV-10) and another of a daub with compact fabric and without plant tempering (DIV-13) formed the basic archaeological sample group (**Fig. 4**). In addition, soil/sediment samples were collected by the same method as in Tiszaszőlös-Domaháza. The two hand drillings were carried out at an elevated (No. FG1) area (similar to which the settlement was located) and a depression (No. FG2), and were aimed to sample potential fine grained raw materials for pottery production (**Fig. 5**).



**Table 2** - Detailed microscopic petrographic description of archaeological and geological samples from Tiszaszőlös-Domaháza. Legend: Av=average grain size, Max=maximum grain size; 1N=plain polarised light, +N=cross polarised light; MQtz(s/u)=monocrystalline quartz (straight/undulatory extinction), PQtz=polycrystalline quartz, Kfs=potassium feldspar,  $\mu$ Qtz=microcrystalline quartz, Pl=plagioclase, Ms=moscovite, CalMP=calcite (micritic/sparitic), Tur=tourmaline, Lm=limonite, Rt=rutile, Px=pyroxene, Am=amphibole, Zrn=zircon, Bt=biotite, Grt=garnet; Mmf=metamorphic rock fragment, Gran=granitoid rock fragment, Volc=volcanic rock fragment, Pyrocl=pyroclastic rock fragment, ARF=argillaceous rock fragment, Silts=siltstone.

Sample code	Fabric	Matrix	Non-plastics	Pores
<b>ARCHAEOLOGICAL SAMPLES</b>				
<b>DIV-01</b>	Serial, well sorted, moderately oriented, medium rounded Av: 50 $\mu$ m, Max: 250 $\mu$ m	1N: brown, anisotropic (orange) Micaceous clay Heterogeneous Dark pigmentation around plant remnant	+N: MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Kfs+Pl+Ms+Cal/P+ Tur+Rt+Px) ARF(lm)	Medium-high porosity Elongated thin pores (1250*20 $\mu$ m) and phytolites, no fill $\rightarrow$ plant origin
<b>DIV-02</b>	Serial, medium sorted, moderately oriented, medium rounded Av: 30 $\mu$ m, Max: 70 $\mu$ m	1N: brown, anisotropic (brown) Micaceous clay Homogeneous	+N: MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Kfs+Zrn) ARF	Medium-high porosity Elongated thin pores (250 $\mu$ m long) and phytolites, charcoal fill $\rightarrow$ plant origin
<b>DIV-03</b>	Serial, well sorted, not oriented, medium rounded Av: 30 $\mu$ m, Max: 180 $\mu$ m	1N: brown, anisotropic (orange) Very micaceous clay Heterogeneous Dark pigmentation around plant remnant	+N: MQtz(u)+PQtz(u)+ Mu+(Cal/M+Kfs+Pl+ Lm+Zrn) Mmf	Low porosity, compact fabric Small (50 $\mu$ m) pores (from spilling) Secondary carbonate fill
<b>DIV-04</b>	Hiatal, medium sorted, not oriented/kneaded, silt - medium rounded, sand - well rounded Av: 50 $\mu$ m, Max: 625 $\mu$ m	1N: brown (striped), anisotropic (yellow)-isotropic-anisotropic (brown) Micaceous clay Heterogeneous	+N: MQtz(s/u)+PQtz(u)+ Pl+(Kfs+ $\mu$ Qtz+Ms+ +Tur) Mmf+Gran+Volc	Medium porosity Elongated pores (280 $\mu$ m long) and phytolites, secondary carbonate fill $\rightarrow$ plant origin
<b>DIV-05</b>	Serial, med-well sorted, not/weakly oriented, medium rounded Av: 50 $\mu$ m, Max: 300 $\mu$ m	1N: brown, anisotropic (orange) Micaceous clay Heterogeneous Dark pigmentation around plant remnant	+N: MQtz(u)+PQtz(u)+ (Pl+Kfs+Ms+Cal/P+ $\mu$ Qtz+Lm) ARF(lm)	Medium porosity Elongated thin pores (1500 $\mu$ m long) and phytolites, no fill $\rightarrow$ plant origin
<b>DIV-06</b>	Serial/weakly hiatal, poorly-medium sorted, moderately oriented, sub-medium rounded Av: 30 $\mu$ m, Max: 625 $\mu$ m	1N: brown (striped), anisotropic-weakly anisotropic (brown) Micaceous clay Heterogeneous Dark pigmentation around plant remnant	+N: MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Kfs+Pl+Ms+ Tur+Lm) Gran+Mmf+ARF	Medium-high porosity Elongated thin pores (2000*120 $\mu$ m) and phytolites, charcoal fill $\rightarrow$ plant origin Other pores (coil shaped, anisotropic)



<b>DIV-07</b>	Serial, well sorted, moderately oriented, well rounded Av: 25 µm, Max: 250 µm	1N: grey (striped), +N: anisotropic-weakly anisotropic (brown) Micaceous clay Heterogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Pl+Ms+Bt)	Medium-high porosity Elongated thin pores (2500*30 µm) and phytolites, charcoal fill → plant origin
<b>DIV-08</b>	Serial/weakly hiatal, medium sorted, not or weakly oriented/kneaded, medium rounded Av: 50 µm, Max: 250 µm	1N: brown (mottled), +N: anisotropic (orange)- isotropic Micaceous clay Heterogeneous	MQtz(u)+PQtz(u)+ (µQtz+Kfs+Pl+Ms+Tur+Am+Grt+Lm) Mmf+ARF	Medium-high porosity Elongated thin pores (300 µm long) and phytolites, charcoal fill → plant origin Unique size and shape
<b>DIV-09</b>	Hiatal, poorly sorted, weakly oriented/kneaded, sub-medium rounded Av: 40 µm, Max: 300 µm	1N: brown, +N: anisotropic (orange) Micaceous clay Heterogeneous Dark pigmentation around plant remnant	MQtz(u)+PQtz(u)+ (µQtz+Kfs+Pl+Ms+Zrn) Mmf+ARF(lm)	Medium porosity Elongated thin pores (500 µm long) and phytolites, charcoal fill → plant origin
<b>GEOLOGICAL SAMPLES (SOILS/SEDIMENTS)</b>				
<b>TSZ1-11</b>	Serial (fine grained with coarse grained mottles), well sorted, not oriented, subrounded Av: 40—55 µm, Max: 75 µm	1N: brown, +N: anisotropic (yellow) Micaceous silty clay Heterogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ Ms+(Pl+Kfs+Cal/MP+Lm) µQtz+ARF(lm)	-
<b>TSZ2-08</b>	Serial (fine grained with coarse grained mottles), medium/well sorted, not oriented, sub-medium rounded Av: 40—50 µm, Max: 125 µm	1N: brown, +N: anisotropic (yellow) Micaceous silty clay Heterogeneous	MQtz(u)+PQtz(u)+ Ms+(Pl+Kfs+ Lm+Tur) ARF(lm)+Volc	-
<b>TSZ2-11</b>	Serial (fine grained with coarse grained mottles), medium sorted, not oriented, medium rounded Av: 50—75 µm, Max: 125 µm	1N: brown, +N: anisotropic (yellow) Micaceous silty clay Heterogeneous	MQtz(u)+PQtz(u)+ Ms+(Pl+Kfs+ Lm+Tur) Mmf+Gran+ARF	-

To determine the best materials for ceramic manufacturing from the drillings, six samples of the two drillings were selected for further analyses: all of them for instrumental chemical measurements, three for microscopic investigations (**Table 1**).

For the microscopic petrographic observations the selected soil/sediment samples were experimentally fired in an oxidising atmosphere, at 700°C maximum temperature for 4 hours in an electric kiln (Eberhard Karls University, Tübingen).

The complete set of investigated samples is summarised in **Table 1**.

In order to describe and compare the archaeological and geological samples, microscopic petrographic investigation (Eötvös Loránd University of Budapest, Dept. of Petrology and Geochemistry)(see detailed description in **Tables 2 and 3**) and X-ray fluorescence geochemical analysis (Eberhard Karls University of Tübingen, Dept. of Geochemistry)(see data in **Table 4**) were used.

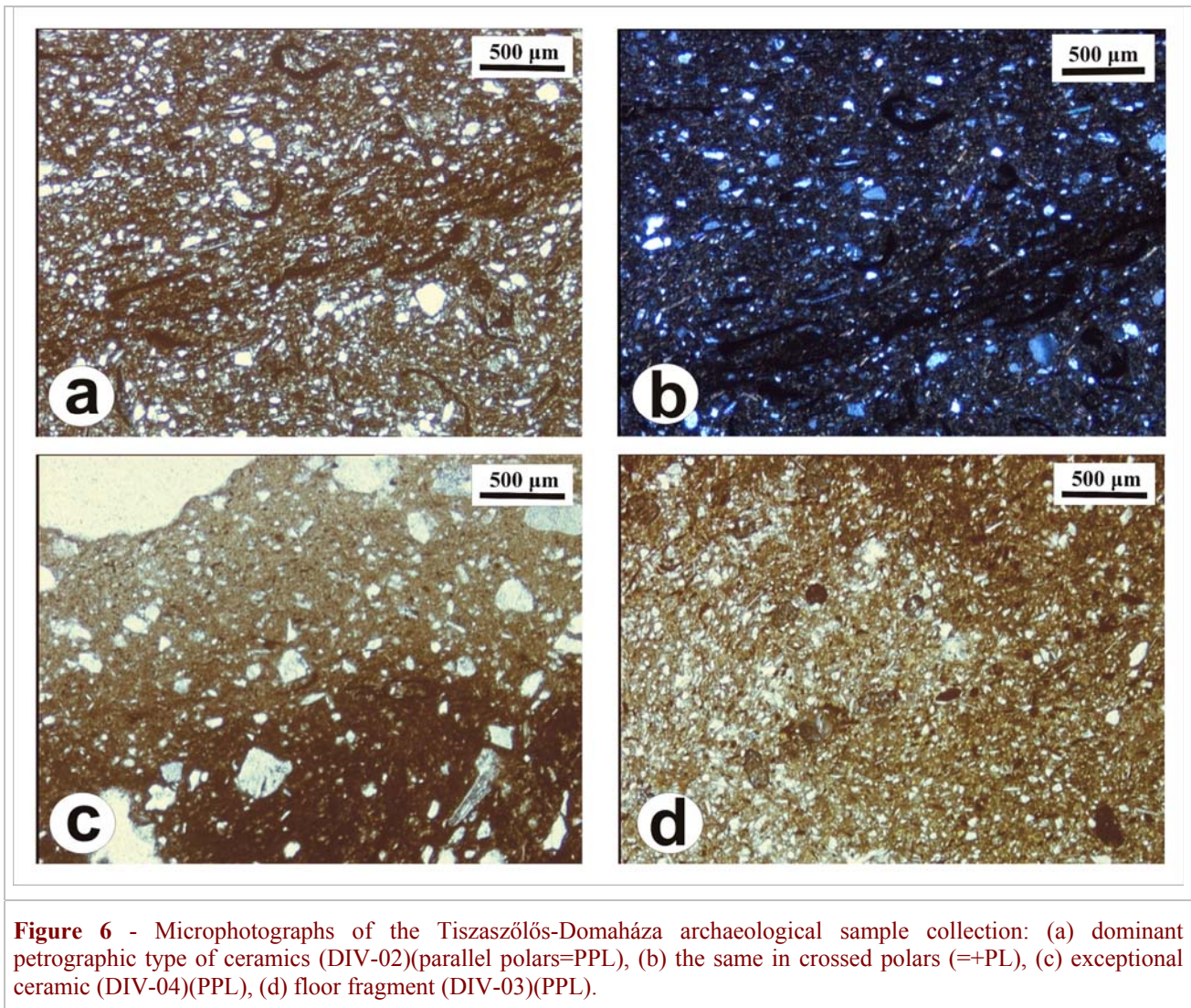
**Table 3** - Detailed microscopic petrographic description of archaeological and geological samples from Füzesabony-Gubakút. For legend see Table 2.

Sample code	Fabric	Matrix	Non-plastics	Pores	
<b>ARCHAEOLOGICAL SAMPLES</b>					
<b>DIV-10</b>	Serial/weakly compact, sorted, oriented/kneaded, medium rounded	hiatal, medium not sub-medium	1N: brown (mottled), +N: weakly anisotropic (yellow) Micaceous clay Heterogeneous Dark pigmentation around plant remnant	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Kfs+Pl+Ms+ Tur+Px) Mmf+Silts+Volc/Pyrocl	Low porosity Elongated small pores (100 µm long) and phytolites, charcoal fill → plant origin
<b>DIV-11</b>	Serial, well sorted (bimodal), not oriented/kneaded, subrounded	Hiatal, medium sorted, not oriented/kneaded, silt - medium rounded, sand - well rounded	1N: (striped) black - red, +N: isotropic - anisotropic (brown) Micaceous clay Homogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (µQtz+Kfs+Pl+Ms+ Tur+Am) Volc/Pyrocl+ARF (lm)	Medium-high porosity Elongated thin pores (1250 µm long) and phytolites, charcoal fill → plant origin
<b>DIV-12</b>	Hiatal, medium sorted, not oriented/kneaded, silt - medium rounded, sand - well rounded	Hiatal, medium sorted, not oriented/kneaded, silt - medium rounded, sand - well rounded	1N: brown (mottled), +N: anisotropic (brown) Micaceous clay Heterogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Pl+Ms+Lm) Mmf+Volc+ARF (lm)=iron nodules	Medium-high porosity Elongated thin pores (1250 µm long) and phytolites, charcoal fill → plant origin
<b>DIV-13</b>	Serial/weakly compact, sorted, subrounded	hiatal, medium oriented, subrounded	1N: grey, +N: almost isotropic Micaceous clay Homogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Kfs+Pl+Ms+Cal/M+Lm) ARF(?)	Low porosity Small pores (100 µm), no fill
<b>GEOLOGICAL SAMPLES (SOILS/SEDIMENTS)</b>					
<b>FG1-12</b>	Serial (fine grained), well sorted, not oriented, subrounded	Hiatal, medium not rounded	1N: brown, +N: anisotropic (orange) Micaceous silt Heterogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Kfs+Pl+Ms+Cal/M+fossils?+Lm+Tur+Am+Gr)	- Pyrocl+Mmf+ARF+secondary Cal
<b>FG2-07</b>	Hiatal (fine grained), poorly sorted, not oriented, medium rounded	Hiatal, medium rounded	1N: brown, +N: anisotropic (yellow) Micaceous silty clay with calcareous nodules Heterogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Pl+Kfs+Ms+Lm+ Opaque+Zrn) Calcareous nodules+ Volc+Radiolarite +ARF	-
<b>FG2-09</b>	Hiatal (fine grained), medium sorted, not oriented, sub-medium rounded	Hiatal, medium sorted, not oriented, sub-medium rounded	1N: brown, +N: anisotropic (yellow) Micaceous silty clay with calcareous nodules Heterogeneous	MQtz(s/u)+PQtz(u)+ (Pl+Kfs+Ms+Tur+ Lm+Opaque +Zrn+ Grt+Ortite+Epidote) Calcareous nodules+ Volc+ARF	-

Sample Code	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Rb	Sr	Ba	Zr	Nb	Y	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	V	Cr	Co	Ni	Zn	Sum
<b>Div-01</b>	59.69	0.73	15.66	5.72	0.05	2.02	1.32	0.96	3.39	0.47	9.30	126	147	584	171	14	26	26	63	28	6	0.8	2.4	118	103	14	65	96	99.46
<b>Div-02</b>	65.05	0.79	14.36	4.08	0.02	1.46	1.27	1.19	3.12	0.24	7.64	122	163	603	222	0	21	24	55	26	5	0.7	2.6	96	94	7	0	67	99.36
<b>Div-03</b>	55.71	0.77	13.93	5.32	0.11	2.45	5.83	1.12	6.21	0.92	6.92	103	280	660	205	19	40	31	74	23	6	1.1	2.6	99	101	13	78	77	99.48
<b>Div-04</b>	65.66	0.71	14.79	2.91	0.02	1.36	1.67	1.00	3.06	0.64	7.64	110	260	771	182	13	26	30	65	29	7	1.0	2.4	97	117	4	53	47	99.63
<b>Div-05</b>	64.01	0.76	15.88	6.00	0.06	1.91	0.84	1.11	3.70	0.47	4.42	126	134	489	186	16	28	24	61	26	5	0.7	2.5	121	141	15	84	107	99.32
<b>Div-06</b>	60.72	0.82	16.75	5.65	0.09	2.53	1.08	0.97	2.98	0.61	7.19	125	146	963	189	17	28	25	84	32	6	0.8	2.5	131	121	22	89	102	99.60
<b>Div-07</b>	63.62	0.78	14.57	4.32	0.02	1.49	1.44	1.18	2.88	1.02	7.67	119	195	1049	231	17	33	23	69	28	4	0.7	2.9	97	110	7	52	92	99.21
<b>Div-08</b>	64.94	0.81	15.94	4.98	0.03	1.52	1.61	0.98	2.69	1.32	4.47	145	199	959	206	15	34	28	78	33	7	0.9	3.1	116	149	11	78	99	99.48
<b>Div-09</b>	60.58	0.78	15.94	5.82	0.04	2.04	0.99	0.95	3.13	0.41	8.20	118	164	578	174	14	22	28	60	27	3	0.6	2.3	127	118	13	41	92	99.03
<b>Div-10</b>	72.26	0.76	12.14	3.81	0.06	1.30	1.41	1.34	2.20	0.27	3.47	92	141	589	305	18	33	26	66	34	6	0.8	2.8	84	92	9	65	43	99.17
<b>Div-11</b>	67.95	0.83	14.02	5.09	0.04	1.62	1.73	1.14	2.48	0.45	3.61	117	136	697	296	20	39	32	81	27	5	0.7	3.3	99	96	9	60	68	99.14
<b>Div-12</b>	65.26	0.77	12.56	4.67	0.11	1.64	1.35	1.12	2.05	0.21	9.20	105	125	703	282	18	32	23	74	26	5	0.7	2.8	90	86	13	58	76	99.10
<b>Div-13</b>	65.40	0.78	12.13	4.25	0.06	1.64	2.25	1.17	2.02	0.24	9.46	97	174	783	296	18	34	23	74	27	3	0.7	2.9	89	80	8	60	50	99.59
<b>TSZ1-04</b>	50.06	0.61	11.50	4.34	0.08	2.51	11.99	1.07	2.54	0.25	14.63	102	269	408	169	0	26	24	57	25	5	1.0	2.1	88	71	10	50	67	99.71
<b>TSZ1-06</b>	50.92	0.61	11.65	4.33	0.09	4.21	10.15	1.16	2.57	0.16	14.20	96	341	415	168	0	25	35	59	19	4	1.1	2.1	90	70	11	54	61	100.20
<b>TSZ1-11</b>	45.96	0.62	11.59	4.50	0.09	2.74	14.23	1.03	2.66	0.11	15.87	100	176	395	162	0	28	19	58	24	4	0.7	2.3	94	72	10	54	65	99.53
<b>TSZ2-03</b>	60.27	0.81	15.72	5.82	0.05	1.76	1.15	1.08	2.45	0.11	10.31	138	100	482	203	16	35	32	75	36	4	0.6	3.2	123	104	14	66	96	99.66
<b>TSZ2-05</b>	63.76	0.83	15.16	5.53	0.14	1.73	1.01	1.28	2.42	0.13	8.11	128	101	512	242	17	37	30	70	30	9	0.9	3.2	119	101	16	85	89	100.20
<b>TSZ2-08</b>	66.53	0.81	14.14	4.61	0.03	1.55	0.93	1.41	2.29	0.12	6.98	117	99	434	262	19	35	25	69	30	6	0.7	3.1	101	97	10	66	74	99.55
<b>TSZ2-11</b>	65.53	0.81	14.21	5.31	0.15	1.59	0.86	1.40	2.38	0.17	6.88	117	97	475	243	17	35	26	70	28	7	0.8	3.1	109	95	19	76	79	99.44
<b>EW-01</b>	51.74	0.93	17.25	6.98	0.08	2.91	4.69	1.34	3.02	0.14	10.16	138	173	415	213	19	41	32	82	36	4	0.7	3.6	140	138	19	111	99	99.40
<b>FG1-03</b>	63.70	0.77	12.73	4.67	0.08	1.86	1.61	1.11	2.20	0.13	10.73	112	109	428	280	19	38	26	73	31	7	0.8	3.3	92	80	10	63	60	99.73
<b>FG1-07</b>	48.05	0.52	8.85	2.84	0.03	2.72	15.50	0.96	1.52	0.15	18.56	70	218	326	183	0	25	18	49	18	5	0.8	2.0	60	48	2	21	36	99.81
<b>FG1-12</b>	61.00	0.63	10.08	2.98	0.05	2.55	7.04	1.29	1.87	0.12	11.37	87	139	338	219	14	29	21	53	27	4	0.7	2.6	64	55	5	27	35	99.09
<b>FG2-04</b>	64.63	0.78	13.16	4.81	0.04	1.83	0.99	1.09	1.94	0.08	9.34	111	100	385	281	20	35	27	71	34	6	0.7	3.1	93	91	10	48	60	98.82
<b>FG2-07</b>	64.52	0.78	12.86	4.66	0.04	1.87	2.19	1.13	1.90	0.08	9.42	107	109	420	285	19	37	28	77	35	5	0.6	3.2	89	88	9	62	57	99.59
<b>FG2-09</b>	59.18	0.72	12.26	4.61	0.05	1.91	5.58	1.04	1.78	0.10	12.10	101	119	475	250	18	32	29	68	32	5	0.7	2.7	84	75	10	49	59	99.47
<b>Det. limit (ppm)</b>	240	12	244	180	5	88	48	75	24	14		2.9	3.0	11.1	8.5	3.8	1.8	5.1	10.2	3.2	2.1	0.0	0.2	2.6	3.5	1.6	3.3	3.0	

**Table 4** - Chemical composition of archaeological and geological samples (major elements in oxides and in wt%, trace elements in ppm, LOI and detection limits are also given).





**Figure 6** - Microphotographs of the Tiszaszőlős-Domaháza archaeological sample collection: (a) dominant petrographic type of ceramics (DIV-02)(parallel polars=PPL), (b) the same in crossed polars (=XPL), (c) exceptional ceramic (DIV-04)(PPL), (d) floor fragment (DIV-03)(PPL).

The microscopic petrographic investigations were carried out on a Nikon ALPHAPHOT-2 polarising microscope. The chemical measurements provided concentrations for eight major ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) and many trace elements (Rb, Sr, Ba, Zr, Nb, Y, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, V, Cr, Co, Ni, Zn). The chemical analyses were done with a wavelength dispersive X-ray fluorescence analyser (Bruker AXS S4 Pioneer X-ray spectrometer, Rh tube, 4 kW) on homogenised samples. During the sample preparation 1.5000 g of the unheated and powdered sample and 7.5000 g Spectromelt melting material (Merck A12, dilithiumtetraborate : lithiummetaborate = 66:34) were mixed and melted at  $1200^\circ\text{C}$  using a CBR Analyse Service OxiFlux device to make homogeneous glassy tablets. The loss on ignition (LOI) was measured on each sample heated to  $1000^\circ\text{C}$  for 1 hour.

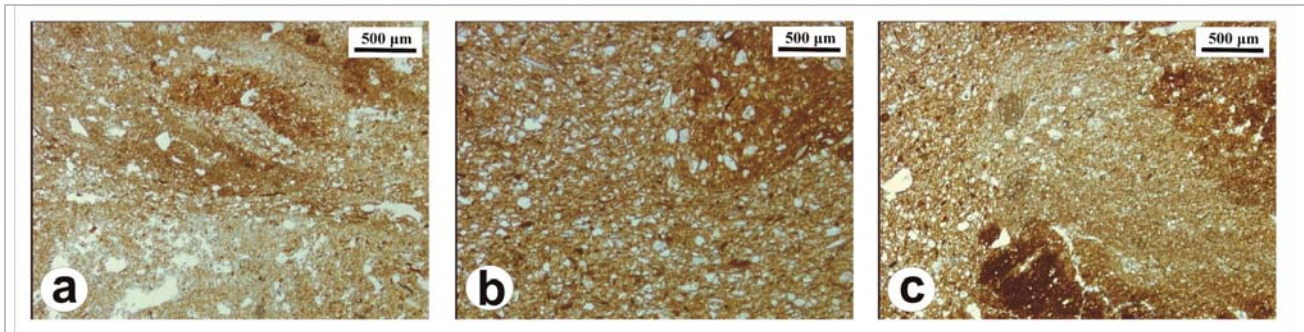
### **Petrographic investigations**

All of the archaeological and some of the geological samples were subjected to microscopic petrographic

observations. The characteristics studied were the fabric, the ratios of plastic and non-plastic components and pores, the optical behaviour of the plastic matrix, the roundness and the mineralogical composition of grains, and the average and maximum grain size. These results are summarised in **Tables 2 and 3**.

Based on the results of the microscopic petrographic investigations, three types of materials-fabrics could be distinguished in the Tiszaszőlős-Domaháza archaeological sample group. The dominant petrographic group (DIV-01—03, DIV-05—09) of the Tiszaszőlős-Domaháza ceramics (**Fig. 6a-b**) can be characterised by a fine grained, serial fabric which makes probable the use of natural unprepared sediments. The high content and large size of the plant remnants suggests the utilisation of artificially added, crushed plant tempering material. The orange-light brown anisotropy of the matrix suggests a low ( $\sim 700^\circ\text{C}$ ) firing temperature and a dominantly oxidative atmosphere (some samples show a sandwich structure).





**Figure 7** - Microphotographs (PPL) of the Tiszaszőlös-Domaháza geological sample collection: (a) TSZ1-11, (b) TSZ2-08, (c) TSZ2-11.

Non-plastic inclusions of ceramics mainly consist of mineral fragments (quartz + mica (muscovite) + feldspar (plagioclase) + rare accessories) and could derive from a far off, low grade metamorphic, geological setting. There is one sample (DIV-09) in this dominant petrographic group which is a bit different from the others: it has a less ferrous, more pure clay matrix but the non-plastics were similar to the dominant group.

The only exceptional sample (DIV-04) among Tiszaszőlös ceramics (**Fig. 6c**) has coarse grained, hiatal fabric which contains non-plastic mineral and rock inclusions deriving from a volcanic and granitoid geological setting. The yellow-brown striped anisotropy of the matrix suggests low (~700°C) firing temperature and varying atmosphere. The appearance of numerous crushed plant remnants supports the usage of artificially added, plant tempering material. It is probable that the raw material of this sample differs from that of the other ceramics from Tiszaszőlös.

The floor fragment (DIV-03) has a quite different appearance from the ceramics (**Fig. 6d**). Its fabric is compact, shows calcareous clay raw material and does not contain plant remnants.

On the basis of microscopic examination of Tiszaszőlös-Domaháza soils/sediments we can state that fine grained materials in the vicinity of the archaeological site are (moderately) micaceous clays-silts (**Figs.7a-b-c**). The average grain size is approximately 50 µm and the sediments have serial fabric. The main non-plastic component is undulatory extinguishing quartz and rare accessories. To sum up, the Tiszaszőlös-Domaháza soils/sediments are similar to the majority of the ceramics and could have supplied the raw materials for the pottery manufacturing. The most likely sample is No. TSZ2-08 (collected from a depression) which can be characterised by almost the same grain size, grain composition and fabric as found in the archaeological ceramics. Contrary to it, sample No. TSZ1-11 contains dispersed calcareous mottles which could not be separated by potters (a bit similar to the investigated floor fragment), while sample No. TSZ2-11 is a bit coarser in grain size than the

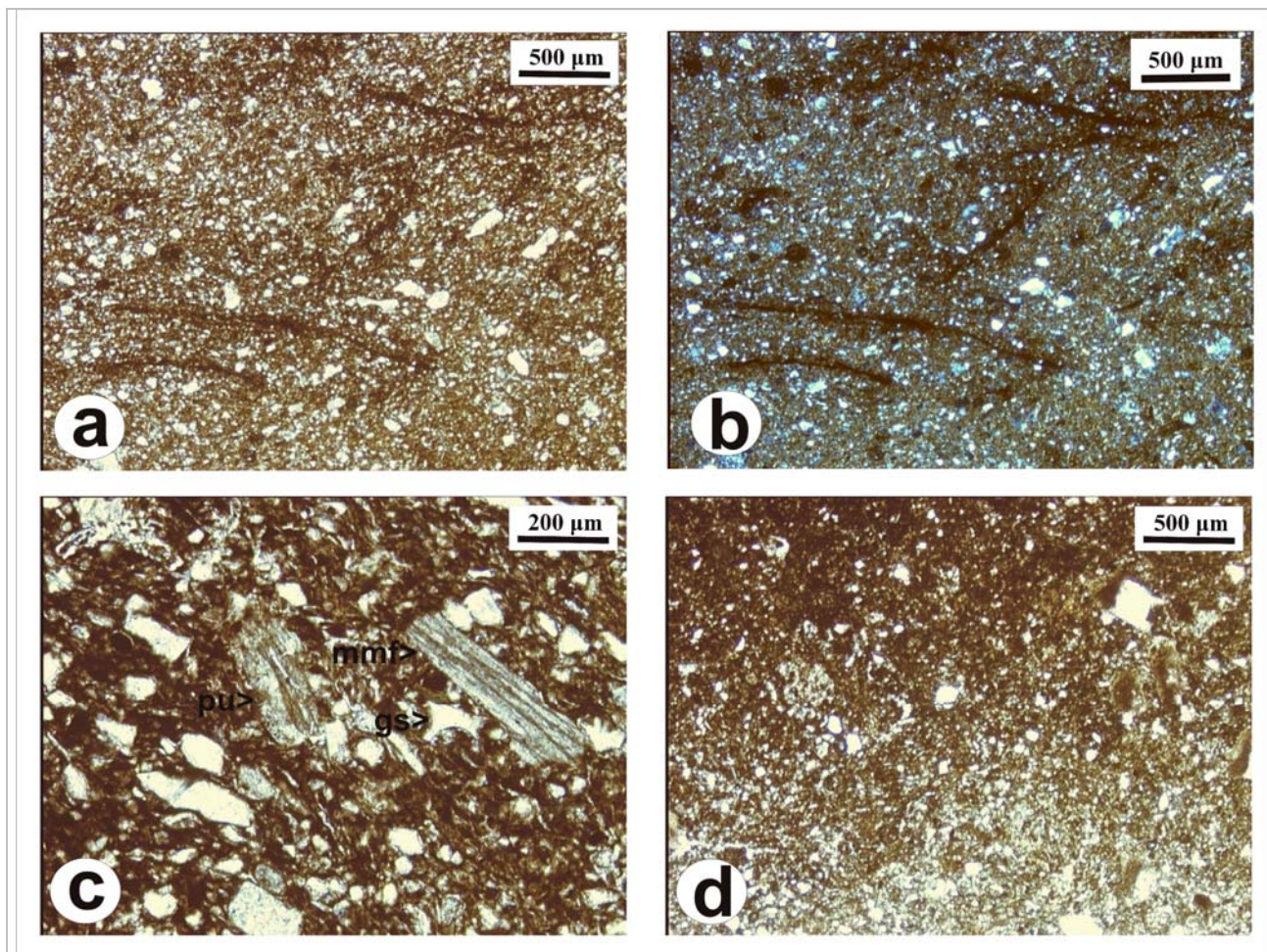
ceramics. These results suggest that potters at the Neolithic Tiszaszőlös-Domaháza site preferred clayey sediments from depressed areas for pottery manufacturing while people probably used calcareous sediments from elevated areas for house building.

Following the same analytical process on the sample collection from Füzesabony-Gubakút it can be stated that ceramics (DIV-10—12) have serial-weakly hiatal fabric (**Fig. 8a-b**). This feature suggests the use of natural, unprepared sediments. The fact that crushed plant remnants are common and abundant components of the non-plastics supports the plant tempering technology (the quantity is higher and the size is smaller than in the Tiszaszőlös-Domaháza pottery). The heterogeneous optical behaviour (orange anisotropy and isotropy vary in strips) of the matrix indicates a low (~700°C) firing temperature and weakly controlled atmosphere. Non-plastic inclusions consist mainly of pyroclastic/volcanic rock and mineral fragments (**Fig. 8c**).

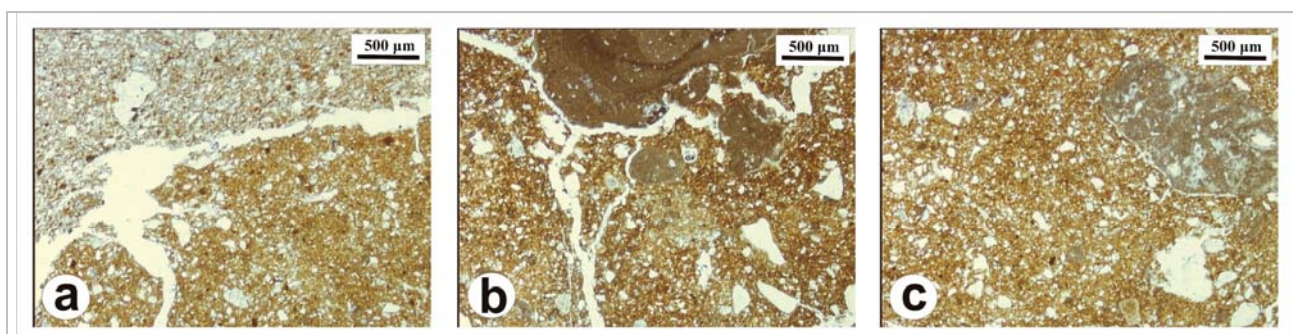
The daub fragment (DIV-13) of the archaeological collection from Füzesabony-Gubakút has a compact fabric, contains no plant remnants or volcanic material but its fabric is similar to the ceramics' fabric (**Fig. 8d**).

Soil/sediment samples from Füzesabony-Gubakút can be described as moderately micaceous calcareous clays-silts with different forms of carbonate (nodules or dispersed mottles)(**Figs.9a-b-c**). Soil samples of drillcore No. FG2 contain calcareous nodules and volcanic rock/mineral fragments. These samples – after removal of nodules visible with the naked eye – are similar to the fabric of the ceramics, but they have coarser grain size than the ceramics. Sample No. FG1-12 contains dispersed calcareous mottles (unremovable with handicraft techniques) and no volcanic components. There is a clay inclusion in this sample whose fabric is similar to the samples of the drilling FG2. To sum up, soil/sediment samples from drillcore No. FG2 are similar to the ceramics, so they could have provided the raw materials for the ceramic production.





**Figure 8** - Microphotographs of the Füzesabony-Gubakút archaeological sample collection: ceramics (a) DIV-12 (PPL), (b) the same in +PL, (c) DIV-10 (PPL) and (d) daub fragment (DIV-13)(PPL).



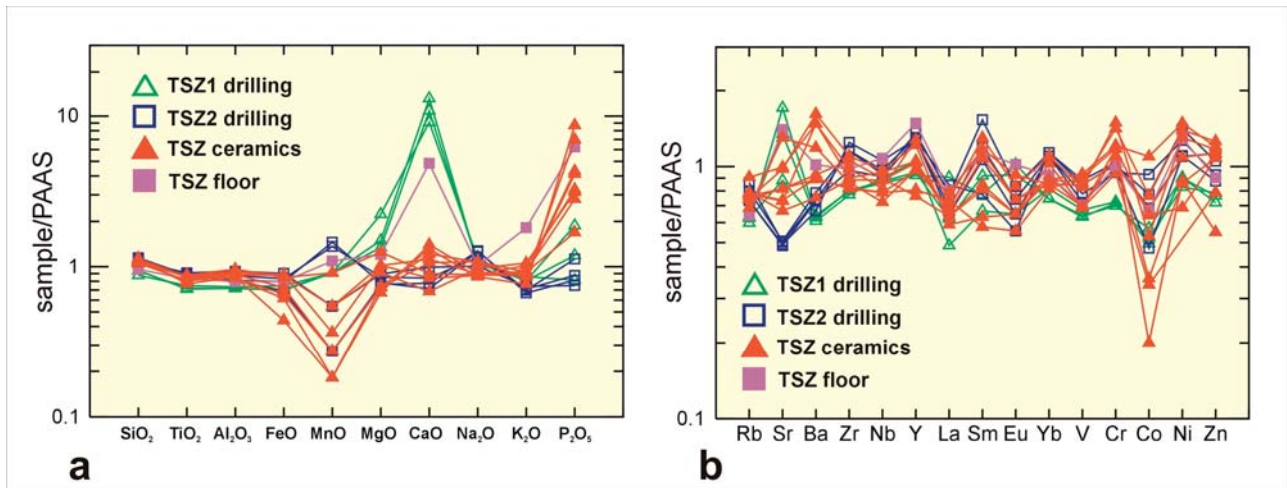
**Figure 9** - Microphotographs (PPL) of the Füzesabony-Gubakút geological sample collection: (a) FG1-12, (b) FG2-07, (c) FG2-09.

These results make it probable that potters at the Neolithic Füzesabony-Gubakút site chose clayey sediments from the depressions for ceramic manufacturing and maybe for house building too.

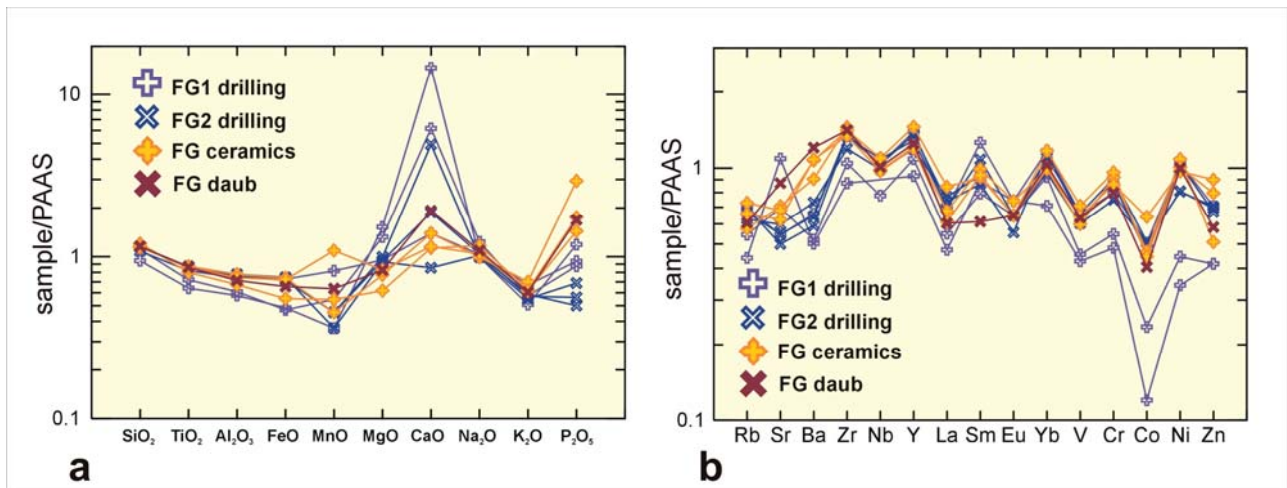
### *Geochemical characterisation*

Geochemical characterisation of both archaeological and geological samples (**Table 4**) was done by X-ray fluorescence analysis of whole samples (major and trace elements).

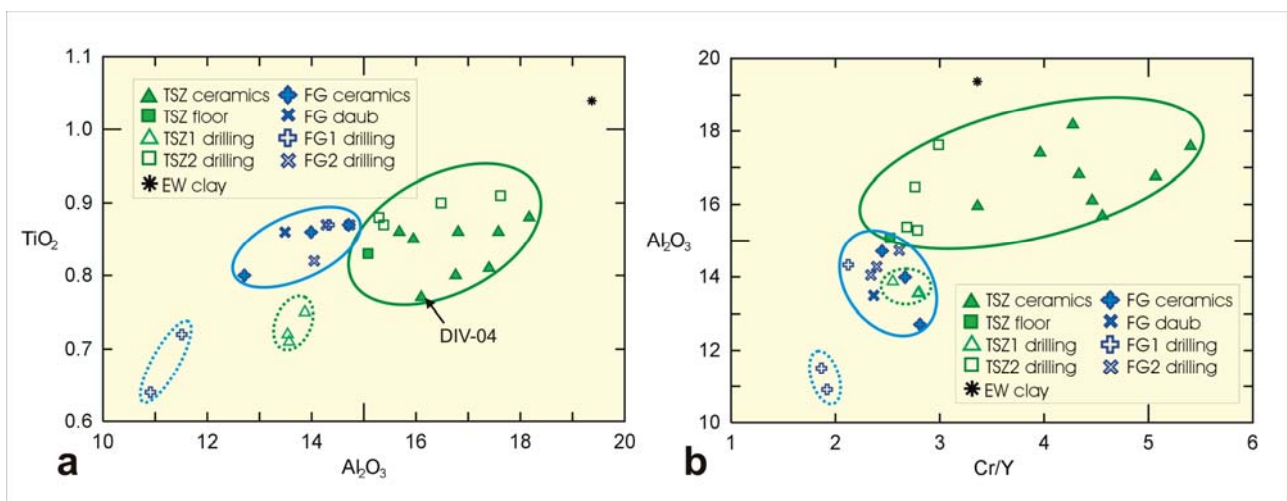




**Figure 10** - Multi-elemental abundance (so-called spider) diagrams (normalised to PAAS) of the Tiszaszőlös-Domaháza archaeological finds and soil/sediments according to their (a) major and (b) trace element distribution.



**Figure 11** - Multi-elemental abundance (so-called spider) diagrams (normalised to PAAS) of the Füzesabony-Gubakút archaeological finds and soil/sediments according to their (a) major and (b) trace element distribution.



**Figure 12** - Bivariate correlation diagrams of Tiszaszőlös-Domaháza and Füzesabony-Gubakút samples, (a)  $Al_2O_3$  vs.  $TiO_2$  and (b)  $Cr/Y$  vs.  $Al_2O_3$  diagrams.



For a better comparison, the geochemical data were plotted in multi-elemental abundance (so-called spider) and bivariate correlation diagrams. Normalisation was made to an average value for Post Archaean Australian Shale (PAAS) which is a preferred standard material in sedimentary rock investigations for fine grained siliciclastic sediments (Nance & Taylor, 1976; Taylor & McLennan, 1985; McLennan, 1989, 2001).

In the case of the comparison between Tiszaszőlös-Domaháza ceramics and soil/sediments it can be stated that while the distribution of the major and trace elements is similar (**Figs. 10a-b**), some more significant scattering can be detected at Mn and Fe (major elements which are mobile in soil system) and for mobile and immobile trace elements. Moreover, some differences can be observed between the archaeological and geological sample groups in the Ca content, especially in the (carbonate bonded) high Ca (and Mg) and Sr content of TSZ1 soil/sediments. This feature can be identified in the floor sample (DIV-03) too, but coupled with a higher K content. However, its trace element distribution is similar to the pottery. Another interesting point is the systematically higher K and lower Na concentrations in ceramics compared to soil/sediments (this can be the effect of the weathering conditions). There are some differences between soil/sediments of drillcores No. TSZ1 and TSZ2. TSZ1 samples show depletion in immobile trace elements (e.g. Zr, Y, REE) relative to the TSZ2 samples. This feature – as it is not correlated with the average grain size in this case – can be the effect of different clay mineral or accessories content. From the point of view of this geochemical characteristic, the ceramics usually show a distribution between the two soil/sediment groups. As in many other cases, P concentrations of the ceramics and floor are higher than the same values of soils. The significantly low Co values border on the detection limit so these data are uncertain.

Analysing the geochemical data from the Füzesabony-Gubakút sample collection, it is clear that the distribution of the major and trace elements is similar in the archaeological samples and soils (**Figs. 11a-b**). Some weak scatterings can be detected at Mn-Fe and mobile and immobile trace elements. As in the Tiszaszőlös group, some soil/sediments (samples of drillcore No. FG1 and sample No. FG2-09) have high Ca and Mg content. From this point of view ceramics have characteristics more similar to the FG2 soil/sediments. There is one significant difference among the archaeological samples: daub has higher Ca content than pottery, although their trace element distributions are similar. Soil/sediments of drillcore No. FG1 show depletion in immobile trace elements relative to the FG2 samples. This feature can be interpreted similarly as in the case of Tiszaszőlös materials. Ceramics and daub show enrichment in P content relative to soils.

The bivariate correlation diagrams (**Figs. 12a-b**) show further evidence for differences between the different

soil/sediment samples at each site and for closer similarities between the ceramic groups and their potential raw materials. For comparison to a near likely raw material, the clayey sediment of the nearest contemporarily operating clay mine, Eger-Wind (EW: Eger—Wind-brickyard) was used. It is clear that for neither site could the Eger-Wind clay be the raw material for this pottery manufacturing. For Tiszaszőlös-Domaháza samples, it is true that the archaeological samples are similar to TSZ2 soil/sediments (though they have lower Ti content and higher Cr/Y ratio) but they even more differ from the TSZ1 samples. The same statement applies to Füzesabony-Gubakút samples: the archaeological material could derive from a FG2-like source, but not likely from a FG1-like one. In the case of the Tiszaszőlös-Domaháza sample collection the petrographically exceptional ceramic sample (DIV-04) is at the margin of the main cluster of ceramics and TSZ2 soil/sediments. Tiszaszőlös-Domaháza's floor (DIV-03) is the nearest data point in the archaeological collection to the TSZ1 geological samples, while Füzesabony-Gubakút's daub (DIV-13) does not show any special similarity to the FG1 sediment samples.

As a result of the geochemical characterisation, the hypotheses that the potters of both Neolithic sites preferred clayey sediments collected from depressed areas for pottery making – while in the case of Tiszaszőlös-Domaháza, calcareous sediments from elevated areas were used for building processes – gained further confirmation.

### Discussion

Based on the petrographic investigations, the pottery manufacture of both Neolithic sites can be described as a handicraft which followed a long-time tradition concerning the usage of raw materials. The direct use of alluvial sediments and the tempering with different sized plant fragments are characteristic features of both workshops' techniques. Creating in this way a prepared raw material, the potters used a free hand fashioning method and the vessels were fired at a relatively low temperature (according to our evaluation at 700—750 °C) and in a uncontrolled (dominantly reducing) atmosphere. As a result of this process, the pots are porous and usually thick-walled, they are greyish coloured and the remnants (or pores) of the burned out plant fragments can be observed on their surface. Any dissimilar samples could be identified only in the Tiszaszőlös-Domaháza assemblage, with only one specimen which could be characterised with specific fabric and non-plastic composition. The presence of this pot in the collection could be interpreted as an imported vessel or made by a potter following another manufacturing tradition.

Based on the comparative chemical analyses of the archaeological specimens (ceramics, floor, daub) and soil/sediment samples, it can be stated that they show a significant similarity, so they can derive from a local

raw material. The floor sample from Tizzaszőlős-Domaháza contains more (carbonate related) Ca than the others.

Based on the general geochemical experience, it is common that the near-surface clayey sediments deriving from the river plain area, but in the vicinity of the mountains, show relatively high diversity in their element composition. This fact can be the cause of the finding that the similarity between the ceramics and the potential raw materials is varying. However, it is clear for both archaeological sites that the chemical composition of the archaeological samples – with the exception of one specimen – is similar to the composition of the local raw materials. It is highly probable that the local clayey soils/sediments were directly used for the manufacturing of the clay artefacts. We have to mention that – because of the small sample numbers – an intentional selection of different raw materials for the pottery manufacturing and for house building can only be tentatively outlined, e.g. non-calcareous clayey soils/sediments from depressed areas for ceramics, calcareous clayey-silty sediments from elevated areas for building.

### Conclusion

To sum up, from our archaeometric study of a reduced ceramic assemblage of two Neolithic archaeological sites (Tizzaszőlős-Domaháza and Füzesabony-Gubakút) we could characterise the local pottery making technology as the following: probable direct utilisation of the local alluvial sediment (in the case of Tizzaszőlős it means the alluvium of the flood plain of river Tisza, at Füzesabony it is the alluvium of small rivers-streams – presently the Laskó stream – coming from the Bükk Mountains) and vegetal tempering of ceramics while a clayey material with higher Ca content was used for building floors of houses. Based on the two sites, it seems to be a systematic practice that people used the soils/sediments of the depressed areas for pottery making, while soils/sediments of the elevated areas for building. However, it is important to emphasise that in this research the small number of samples did not make it possible to unambiguously conclude such comprehensive statements. In agreement with the archaeometrical results of former researchers, these features are basic and very common characteristics of the known Early Neolithic Körös Culture sites. According to our results – although they derive from different archaeological cultures – the two studied sites show basically similar ceramic technological features. To decide whether this fact can prove a relationship – at least on the level of handicraft – between the two cultures, it is necessary to greatly expand the archaeological evaluation and interpretation to more samples in these sites and to many other sites.

### Acknowledgement

This research participated in the MÖB-DAAD (2005-2006) „Archaeometrical analysis of Neolithic pottery and comparison to potential sources of raw materials in their immediate environment” project (project officers: Katalin T. Biró – Hungary, Heinrich Taubald – Germany). Special thank to László Domboróczki (Dobó István Vármúzeum, Eger) for providing the archaeological samples and to Péter Scharek (MÁFI) for making available the geological maps.

### References

- DOMBORÓCZKI, L. (2005): A Körös kultúra északi elterjedési határának problematikája a Tizzaszőlős-Domaháza-pusztán végzett ásatás eredményeinek fényében. – *Archeometriai Műhely*, **2005/2**, 5-15.
- GHERDÁN, K. – T. BIRÓ, K. – SZAKMÁNY, GY. (2004): Petrologic studies on Early Neolithic pottery from Vörs, SW Hungary. – *Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged*, **45/2**, 41-48.
- GYALOG, L. (ed.) (2005): *Magyarázó Magyarország fedett földtani térképéhez, 1:100.000*. – Magyar Állami Földtani Intézet.
- MCLENNAN, S. M. 1989: Rare Earth Elements in Sedimentary Rocks: Influence of Provenance and Sedimentary Processes. – In: LIPIN, B. R. & MCKAY, G. A. (Eds): *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. – *Reviews in Mineralogy*, **21**, 169–200.
- MCLENNAN, S. M. 2001: Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. – *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **2**, 2000GC000109, 24 p.
- NANCE, W. B. & TAYLOR, S. R. 1976: Rare earth patterns and crustal evolution – I. Australian post-Archean sedimentary rocks. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* **40**, 1539–1551.
- SPATARO, M. (2004): Early Neolithic pottery production in the Balkans: minero-petrographic analysis of the ceramics from the Starčevo-Criș site of Foeni-Sălaș (Banat, Romania). – *Atti della Società per la Preistoria e Protoistoria della Regione Friuli-Venezia Giulia*, **XIV**, 23-43.
- SPATARO, M. (2006): Typology versus technological choices: an Early Neolithic case study from Banat (Romania). – *Analele Banatului*, **XIV/1**, 63-77.
- SZAKMÁNY, GY. (2001): Felsővadász-Várdomb neolitikus és bronzkori kerámiatípusainak petrográfiai vizsgálata. – *Herman Ottó Múzeum Évkönyve, Miskolc*, **XL**, 107-125.

SZAKMÁNY, GY. – STARNINI, E. – RAUCSIK, B. (2005): Preliminary Archaeometric Investigation of Early-Neolithic Pottery of the Körös Culture (Hungary). – Proceedings of the 33<sup>rd</sup> International Symposium on Archaeometry, 22-26 April 2002, Amsterdam, *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies*, **3**, 269-272.

SZAKMÁNY, GY. – STARNINI, E. (2007): Archaeometric research on the first pottery production in the Carpathian Basin: manufacturing traditions of the Early Neolithic, Körös Culture ceramics. – *Archeometriai Műhely*, **2007/2**, 5-21.

TAYLOR, S. R. & MCLENNAN, S. M. 1985: *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. – Blackwell Scientific Publications LTD, 312 p.

T. BIRÓ, K. – GHERDÁN, K. – SZAKMÁNY, GY. (2007): Ceramic sequence of 7000 years: archaeometrical study of pottery finds from Vörs, Máriaasszonysziget (SW Hungary). – Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics, Proceedings of the 8<sup>th</sup> EMAC, Lyon, 2005, *BAR International Series* **1691**, 25-33.

VISY et al. eds. (2003): Hungarian Archaeology at the turn of the Millennium.. Budapest 1-482

## **AZ EPISCON (EUROPEAN PHD IN SCIENCE FOR CONSERVATION) PROGRAM**

KISSNÉ BENDEFY MÁRTA

Magyar Nemzeti Múzeum

Email: [kissmart@freemail.hu](mailto:kissmart@freemail.hu)

KEYWORDS: EPISCON, CONSERVATION SCIENCE, TRAINING, MARIE CURIE ACTIONS

KULCSSZAVAK: EPISCON, KULTURÁLIS ÖRÖKSÉGVÉDELMI SZAKMÉRNÖK KÉPZÉS

### **Abstract**

*The conservation and preservation of cultural heritage is an interdisciplinary field requiring close co-operation between conservator-restorers, archaeologists, art historians, museum curators and conservation scientists. Surveys carried out in the 1990s showed that the university training of scientists doesn't provide them with the appropriate knowledge for the complex approach necessary for study and investigate cultural heritage, develop and evaluate conservation concepts, materials, methods, etc.*

*In order to develop the first generation of 'true' conservation scientists in Europe, the European Community funded two projects (Leonardo programme, CURRIC project, Vocational Training Curricula for Conservation Scientists 2000-2003; and Marie Curie programme, project EPISCON - European Ph.D. in Science for Conservation 2006-2009). Preparing a training structure and guideline the CURRIC project provided a solid base for the EPISCON. In the frame of the program 16 young scientists has got the possibility to take part in the PhD training in ten EPISCON partners' host institutions within the European Community. The program included intensive five months training at the University of Bologna-Ravenna Campus in all aspects of the conservation of cultural heritage, followed by a two and a half year research project at one of the host institutions. The Hungarian scientist in charge of the project is the author, Márta Kissné Bendefy.*

*Two young fellows are hosted by Hungarian Institutions. Anna Ruggeri (Italy) works at the Archaeological Department of the Hungarian National Museum (supervisor: Katalin T. Biró) while Magdalini Theodoridou (Greece) carries out her studies and research at the Dept. of Petrology and Geochemistry ELTE University (supervisor Dr. György Szakmány). Preliminary results of their work are published in this volume. Further information can be obtained from the project web pages, see end of paper.*

A kulturális örökség megőrzése számos szakmát átfogó terület, mely szoros együttműködést kíván a restaurátorok, régészek, művészettörténészek, gyűjteményvezetők és a természettudományos szakemberek között. A múzeumi és műemléki konzerválás területén ez utóbbiaknak a következő feladatok ellátására kellene készen állniuk:

- Konzerválási szempontból tanulmányozni, vizsgálni és ellenőrizni a műtárgyakat, műemlékeket, és azok környezetét.
- Meghatározni, kifejleszteni és kiértékelni különböző restaurálási ötleteket, anyagokat, módszereket és technikákat, és elkészíteni az ezekhez tartozó szabványokat és útmutatókat.
- Állapotfelmérést, helyzetelemzést készíteni a konzerválási beavatkozások előtt, közben és után.
- Kutatásokat végezni a károsodások okaival és mechanizmusával kapcsolatban, és a tudományos eredményeket tolmácsolni a muzeológusok és restaurátorok számára.
- Együttműködni más tudományágakkal.

Az 1990-es években több felmérés készült Európában, melyek azt mutatták, hogy a fenti összetett feladatok elvégzésére, és különösen a műtárgyvédelmi, műemlékvédelmi szemléletre az átlagos természet-tudományi és mérnöki képzés nem készíti fel a hallgatókat.

Az Európai Közösség annak érdekében, hogy kifejlessze Európában a kulturális örökségvédelmi szakmémők (conservation scientists) első szakképzett nemzedékét, 2000-ben támogatást adott a CURRIC Projekt (Vocational Training Curricula for Conservation Scientists 2000-2003) beindításához, melynek keretében a résztvevő restaurálási intézmények és egyetemek kidolgozták egy három éves posztgraduális PhD képzés szerkezetét és tematikáját.

2006-ban a munka folytatásaként – ismét EU támogatással – az EPISCON (European PhD in Science for Conservation 2006-2009) projekt keretén belül a gyakorlatban is elkezdődhetett a képzés, mely oktatást és kutatási lehetőséget nyújt fiatal tudósoknak a kulturális örökségvédelemben használható természettudományok területén. Az Európai Közösség



területén tíz fogadó intézményben (EPISCON partnerek), tizenhat pályakezdő kutató végzi tanulmányait, és a PhD fokozat megszerzéséhez vezető kutatásokat - köztük egy magyar hallgató is, Kovács Tímea. Az első szakasz egy intenzív, öt hónapos képzés volt a Bolognai Egyetem Ravennai Campusán. Itt a résztvevők megismerkedhettek a kulturális örökség konzerválásának szempontjaival. Ezt követően indult a két és fél éves kutatási program a fogadó intézményekben. A képzés minőségét a résztvevő országok kölcsönösen elismerik.

A Magyar Nemzeti Múzeum munkatársai (Műtárgyvédelmi Módszertani és Képzési Osztály és Régészeti Tár) mindkét projektben aktív részt vállalt. A program koordinátora magyar részről a szerző, Kissné Bendefy Márta. Az EPISCON projektben az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Közettani és Geokémiai Tanszékének munkatársai is csatlakoztak a

képzéshez. A magyar intézményekben két fiatal kutató végzi munkáját, Anna Ruggeri (Olaszország) az MNM Régészeti Tárában, (témavezető Dr. T. Biró Katalin), Magdalini Theodoridou (Görögország) pedig az ELTE Közettani és Geokémiai Tanszékén (témavezető Dr. Józsa Sándor). A két kutató előzetes eredményeit tartalmazzák az alábbi cikkek.

### ***Irodalom***

University Postgraduate Curricula for Conservation Scientists. Proceedings of the International Seminar Bologna, Italy, 26-27 November 1999. ICCROM Rome 2000. pp. 141

További információ:

[www.episcon.science.unibo.it](http://www.episcon.science.unibo.it)

[www.ace.hu/episcon](http://www.ace.hu/episcon)

# ÉPÍTŐ ÉS DÍSZÍTŐ KÖVEK MEGÓVÁSA ÉS KONZERVÁLÁSA EREDETI KÖRNYEZETBEN. ELŐZETES EREDMÉNYEK A NAGYHARSÁNYI RÓMAI VILLA MŰEMLÉKI KÖZETTANI KUTATÁSÁBÓL

(Preservation and conservation of building and decorative stones from excavation context.  
Preliminary results on the Roman villa from Nagyharsány)

ANNA RUGGERI

Magyar Nemzeti Múzeum, H-1088 Budapest, Múzeum krt. 14-16

E-mail: [ruggeri\\_a@yahoo.it](mailto:ruggeri_a@yahoo.it)

KULCSSZAVAK: ÉPÍTŐKŐ, RÓMAI HABARCS, MOZAIK SZEMEK, FESTÉKRÉTEG

KEYWORDS: BUILDING STONE, ROMAN MORTAR, MOSAIC TESSAREA, PAINTING LAYER

## Abstract

*The Nagyharsány Roman villa is one of the finest that came to light in Hungarian territory. The first archaeological surveys and excavations were started in 1959 by László Papp and continued later by Ferenc Fülep in the 1960's and 1980's. A new research project was started in 2006, including petrographic studies of materials, with a purpose of preservation in situ. Aerial photographs helped to provide an estimation of the real dimensions and disposition of different annexed units.*

*The villa was built during the 2<sup>nd</sup>/3<sup>rd</sup> century AD on the place of a former Roman settlement and it has been continuously occupied till the 5<sup>th</sup> century. Rich decorative elements like mural paintings and mosaics have been found and are included in the petrographic investigation. Restoring interventions on wall's remains have been executed during 1980's using local building stone and modern mortar.*

*The aims of the present project is to try to identify the origin of the used materials and provide conservation's guidelines, starting from a detailed petrographic description of materials. Three different fieldworks and samplings have been performed from the villa during last months, collecting a total of 50. 10 samples have been taken from rich decorative elements found in the villa during excavations; these include 4 samples from mural paintings and 6 from mosaic tesserae.*

*Petrographic and mineralogical investigations have been already conducted on some of those samples, also supported by X ray diffraction analysis. Further samplings, relative petrographic studies and possible comparisons with Italian Roman sites will enrich the study, in order to better understand materials used by Romans in Pannonia and their decay.*

## Bevezetés

A nagyharsányi villa az egyik legjelentősebb római villa, amely Magyarország területén előkerült. A villa Nagyharsány községtől keletre fekszik, az ország déli részén. A jelen munka a Magyar Nemzeti Múzeum villányi mikrorégiós projektjének részeként indult 2006-ban, azzal a céllal, hogy a nagyharsányi régészeti lelőhely további feltárását és egy jövőbeli lehetséges bemutatóhelylétesítését előkészítsék.

A mostani kutatás céljai:

- ismereteink bővítése a villa állagmegóvásával, konzerválásával kapcsolatban;
- a villa építéséhez és belső díszítéséhez használt anyagok részletes közettani vizsgálata
- a villa építéséhez és belső díszítéséhez használt anyagok lelőhelyének azonosítása

- a konzerválási irányelvek meghatározása.

A tanulmány hét lépésben valósult meg:

- Történeti és régészeti kutatások összefoglalása a rómaiak pannóniai jelenlétéről, és az építkezési technikáikról.
- Eddigi régészeti kutatások a nagyharsányi villáról.
- A műemléki maradványok makroszkópos vizsgálata.
- Fényképes dokumentáció.
- Mintavételi szempontok kiválasztása.
- A minták kiválasztása, és a mintavétel módszere.
- Közettani tanulmány és értelmezés, további vizsgálatokkal is alátámasztva.

## Történeti és régészeti kutatások összefoglalása

A nagyharsányi villa a Kr. u. 2-3. században épült egy korábbi római település helyén, és folyamatosan használták a Kr.u. 5. századig. A villa főfalainak csak néhány nyoma figyelhető meg, de a korábbiakban elkészült légifotók segítenek a valós méretek becslésében és jól mutatják a villa belső beosztását.

Az első régészeti kutatások és ásatások 1959-ben kezdődtek itt Papp László vezetésével és Fülep Ferenc irányításával folytatódtak az 1960-as és az 1980-as években.

Az első in situ konzerválási eljárások az 1980-as években készültek a falmaradványokon, helyi építőkövek és modern habarcs használatával. A mozaik töredékeket 1985-ben részben restaurálták. A következő ásatások várhatóan 2008-ban kezdődnek. A nagyharsányi villáról nincs elérhető publikált irodalom kivéve néhány rövid jelentést a régészeti vizsgálatokra vonatkozólag, amit 1960-ban (Papp László, Régészeti Füzetek), 1964-ben, 1983-ban és 1984-ben (Régészeti Füzetek, Fülep Ferenc) közöltek magyarul. A lelőhely térképét Fülep Ferenc 1963-as dokumentációjából ismerjük. Kőzettani vizsgálatok a maradványokon eddig nem voltak.

### A mintavétel

Az utóbbi hónapokban három mintavételi sorozat készült a villa kutatásával kapcsolatosan. A villából és a villa környékéről összesen 49 mintát gyűjtöttünk kőzettani vizsgálatra.

Az első bejárásnál a villa falmaradványaiból vettünk mintákat, gondosan elkerülve az 1980-as években restaurált részeket.

A kiegészítés határát egy vörös téglavonal jelöli, amellyel a restaurátorok az eredeti részeket elválasztották a kiegészítésektől. Ez a vonal a falat két részre osztja: az alapzatnál a római fal eredeti részeit találjuk, míg felette inkább a modern beton, és az új, helyreállított építőkövek jelenléte a jellemző.

12 mintát gyűjtöttünk a villa falaiból: a habarcs négy mintája feltehetően római, a habarcs 2 mintáját a helyreállítási munkálatok folyamán használták; 4 minta mészkőből van; 2 minta pedig római téglából.

A második bejárás során a legfontosabb közeli kőfejtőkből gyűjtöttünk összehasonlító mintákat, megpróbálva összegyűjteni az egész terület különböző mészkőtípusainak jellegzetes darabjait.

A 27 összegyűjtött minta főleg különféle mészköveket tartalmaz.

A harmadik mintavételi sorozatban az előző ásatások során a villában talált különleges díszítő elemekből vettünk mintát, elsősorban a falfestményekből és a mozaikszemekből. Ezeket a leleteket Magyar Nemzeti Múzeumban őrzik. 10 mintát vettünk, 4 minta a

falfestményekből, 6 minta pedig a mozaik szemből származik.

## Makroszkópos vizsgálatok és kőzettani megfigyelések

A kőzettani és ásványtani vizsgálatok mikroszkópos és röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálattal a mintákon már elkészültek. Ebben a közleményben az előzetes eredményeket ismertetjük. Néhány dolgot feltétlen érdemes kiemelni.

### Minták a villából

A röntgen diffrakciós (XRD) elemzés megerősíti a két különböző típusú habarcs elkülönítését. A modern malter az 1980-as években használták a helyreállítási munkák során, jelezve a restaurálás helyét. Az ásványi összetevők között jelen van a kvarc, kalcit, muszkovit és egy modern mesterséges ásvány, az ettringit. Az ettringit a modern cement- és malter-féleségek összetevőjeként ismert, mint másodlagos termék vagy egy pusztulási folyamat eredménye. A római habarcs nem tartalmaz ettringitet, kvarcból, kalcitból, muszkovitból, albitból és mikroklinből áll, ezek az ásványok általában a habarcsban használt homokban vannak jelen (**1-2. táblázat**).

Az előzetes makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatok szerint a villa falából vett mészkő a környező területekről származik, mivel nagyon hasonlít a környéken megtalálható kövületes és kavicstarajos mészkövekre. További kőzettani vizsgálatok szükségesek a teljes azonosításhoz.

### Minták a falfestményekből

A falfestményből vett minták a makroszkópos vizsgálatok szerint három rétegből állnak.

A legfelső festékréteg kb. 40 µm vastag; a második réteg fehéres és törékeny habarcsot tartalmaz, kb 2-5 mm vastag; a harmadik réteg vastagabb, mint a második, ez sötétebb, és keményebb habarcsból készült. A mikroszkópos vizsgálatok szerint az összes mintadarabban mindkét habarcs réteget durva kalcit kristályok kissé felületesen válogatott darabjai jellemzik (**1. ábra**).

### 1. táblázat

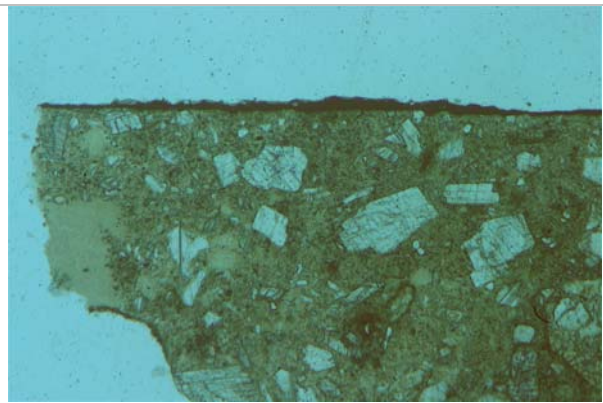
A római habarcsban azonosított ásványi fázisok (XRD)

Kvarc	SiO <sub>2</sub>
Kalcit	Ca(CO <sub>3</sub> )
Mikroklin	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Albit, rendezett	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Muszkovit	(K,Na)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>3,1</sub> ,Al <sub>0,9</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Kliniklor, vasban gazdag	(Mg,Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

## 2. táblázat

A kiegészítéshez használt malterben azonosított ásványi fázisok (XRD)

Kvarc	SiO <sub>2</sub>
Kalcit	Ca(CO <sub>3</sub> )
Mikroklin	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Klinoklór, vasban gazdag	(Mg,Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Muszkovit	(K,Na)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>3,1</sub> ,Al <sub>0,9</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Ettringit	Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>12</sub> 26(H <sub>2</sub> O)
Albit, rendezett	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>



**1. ábra** - Habarcsréteg mikroszkópos képe, festett faltörédekről, durva kalcit kristályokkal. 20x //N.

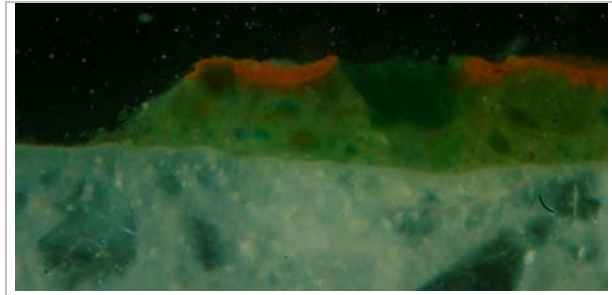
Ugyanezt a jellegzetességet találták a rómaiak által használt habarcsokban Olaszországban (Daniele & Gratziu 1993, Gratziu & Daniele 1992). A vizsgálat további szempontjai:

- i) a felszín ahol a festékréteg található, szépen megmunkált és sima, egyenletes; míg a külső felületen található réteg már nem olyan jó kidolgozású;
- ii) a rétegek vastagsága szinte egyforma
- iii) a festékrétegek is tartalmaznak néhány durva kalcit kristálytörédeket;
- iiii) az egyik esetben a festékréteg két különböző részből állt, egyiket a másikra helyezték. A két rész zöld és piros színű. (**2. ábra**).

A röntgen diffrakciós analízis kimutatta hematit jelenlétét a vörös és a fekete pigmentekben is, míg a zöld pigmentben szeladonit ismerhető fel.

*A mozaik szemekből vett minták*

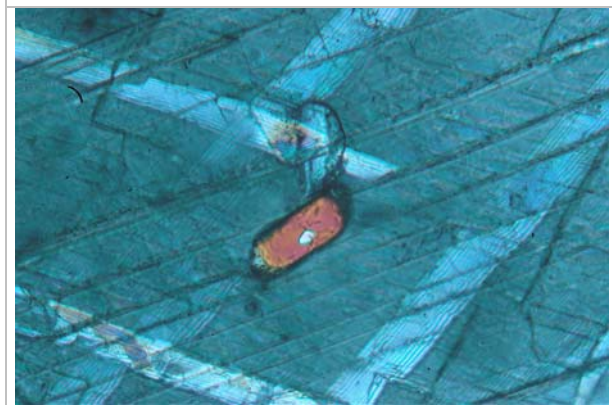
A mozaik szemekben az eddigi vizsgálatok alapján dolomit mészkő, ooid mészkő, kövületes mészkő és márvány azonosítható.



**2. ábra** - Zöld és piros festékrétegek egymáson. Kőzettani mikroszkópos felvétel, visszavert fényben. 60x, // N

A márvány darabkákat szokatlan zárványok jelenléte jellemzi, melyek körkörös alakúak és a méretük kb néhány μm (**3. ábra**). Ez a váratlan jellegzetesség segíthet pontosan meghatározni a mozaikhoz használt márvány forrását.

**3. ábra** - Zárvány a márványban, mozaikszem. Kőzettani mikroszkópos felvétel, 60x X N



### További kutatások

További kőzettani kutatások feladata lesz a komplett azonosítás és végül az elért eredmények megerősítése. Néhány vizsgált szempont döntő lehet az anyagok származási helyének azonosításában. A rómaiak által Pannóniában használt építő, és a díszítő kövekről további adatokat szeretnénk gyűjteni. További anyagvizsgálatok, így pásztázó elektron mikroszkópos vizsgálat (SEM) és a stabil izotóp analízis is hasznos lehet. Lehetséges, hogy az azonos korú magyarországi és olaszországi római lelőhelyek összehasonlítása segíteni fog a római építkezési stratégiák és technológiák - különbségek és hasonlóságok - jobb megértésében, távol a Birodalom központjától. A műemléki kőzettani tudományos eredmények remélhetően hasznosak lesznek az elkövetkező ásatási és helyreállítási beavatkozásoknál.



***Felhasznált irodalom***

DANIELE, D., GRATZIU, C. (1993): Malte di Eta romana degli scavi di Piazza Dante, Pisa, from Pisa, Piazza Dante: Uno spaccato della storia pisana, Bandecchi e Vivaldi Ed., Pontedera, 401-409.

GRATZIU, C., DANIELE, D. (1992): La policromia nella scultura classica: riscontri mineralogico-petrografici, Proceedings "Giornate di Studio di diffrazione a raggi X su materiali policristallini", Pisa.

MANTLER, M., SCHREINER, M. (2001): X-ray analysis of objects of art and archaeology, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **247**: 635-644.

VISY, Zs., et al. eds. (2003), *Hungarian Archaeology at the turn of the millennium*. Ministry of National Cultural Heritage, Teleki László Foundation., Budapest.

WINKLER, E. M. (2002): *Stone in architecture: properties-durability*, Springer, Germany.

# A SZÉKESFEHÉRVÁRI ROMKERT ÉPÍTŐKÖVEINEK ELŐZETES PETROGRÁFIAI VIZSGÁLATA A MŰEMLÉKVÉDELEM PROBLÉMÁI SZEMPONTJÁBÓL

(Preliminary petrographic investigation of building stones in the Székesfehérvár Ruin Garden, Hungary. Problems encountered in the preservation of monuments)

MAGDALINI THEODORIDOU

Közöttani és Geokémiai Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem,  
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c, Hungary  
E-mail: [magdatheodoridou@gmail.com](mailto:magdatheodoridou@gmail.com)

KULCSSZAVAK: KÖZÉPKORI ÉPÍTŐKŐ, MŰEMLÉKI ANYAGVIZSGÁLAT, SZÉKESFEHÉRVÁR

KEYWORDS: MEDIEVAL BUILDING STONES, SCIENCE FOR CONSERVATION, SZÉKESFEHÉRVÁR

## Abstract

*The Székesfehérvár Ruin Garden is a unique assemblage of cultural heritage in Hungary. It is comprised of a provostal church, dedicated to Virgin Mary, royal tombs and related ecclesial and lay buildings. Its construction begun approximately in 1018 by King Stephen I, the first King of the Hungary's Christian kingdom and it used to serve as a burial and coronation church for Hungarian Kings. Between the 11<sup>th</sup>-15<sup>th</sup> centuries it was reconstructed several times. The Turkish occupation (1543-1688) was the beginning of the destruction of the church assemblage, which went on by using it as a storage facility and even as a quarry until its final demolition by the current bishop and the municipality during the 18<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> centuries. First excavations were carried out in the 19<sup>th</sup> century. The National Office for the Protection of Historic Monuments started the geological investigation of the territory in 1995. The present research takes part in a new microregional research plan of the Hungarian National Museum in frames of science for conservation.*

*Four fieldworks contributed to a deeper comprehension of the ruins. The existing drawings of the site are modified and enhanced in order to help the presentation and documentation of the research. The proposed research topic is based on the identification, characterisation and weathering of building stone used in the different phases of the construction. The next step of the research was the sampling process. After a macroscopic investigation, the samples were specifically treated according to their individual characteristics in order to proceed to the procedure of thin-section making. General petrographic characteristics were achieved by microscopic investigation, carried out with polarising microscope.*

*The main identified rock types are: I) calcareous sandstone and sandy limestone, II) fossiliferous limestone, III) red fossiliferous micritic limestone, IV) marble, V) rhyolite and VI) red sandstone.*

*In the future, further investigations will lead to the creation of a map depicting the identified lithotypes, a geographical map highlighting their possible origins and a map of decay. The research will be completed by the selection of few rock types. The main criteria for this selection will be the distribution of the material in the construction and the common decay phenomena. Preceding researches that are relevant to the topic will be also taken into account. Further analysis will be carried out as X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), as well as physical and mechanical measurements and tests. The main characteristics will be discussed and correlated to the decay forms, in order to achieve a general strategic approach based on a diagnosis that could represent a tool for the conservation of the monument.*

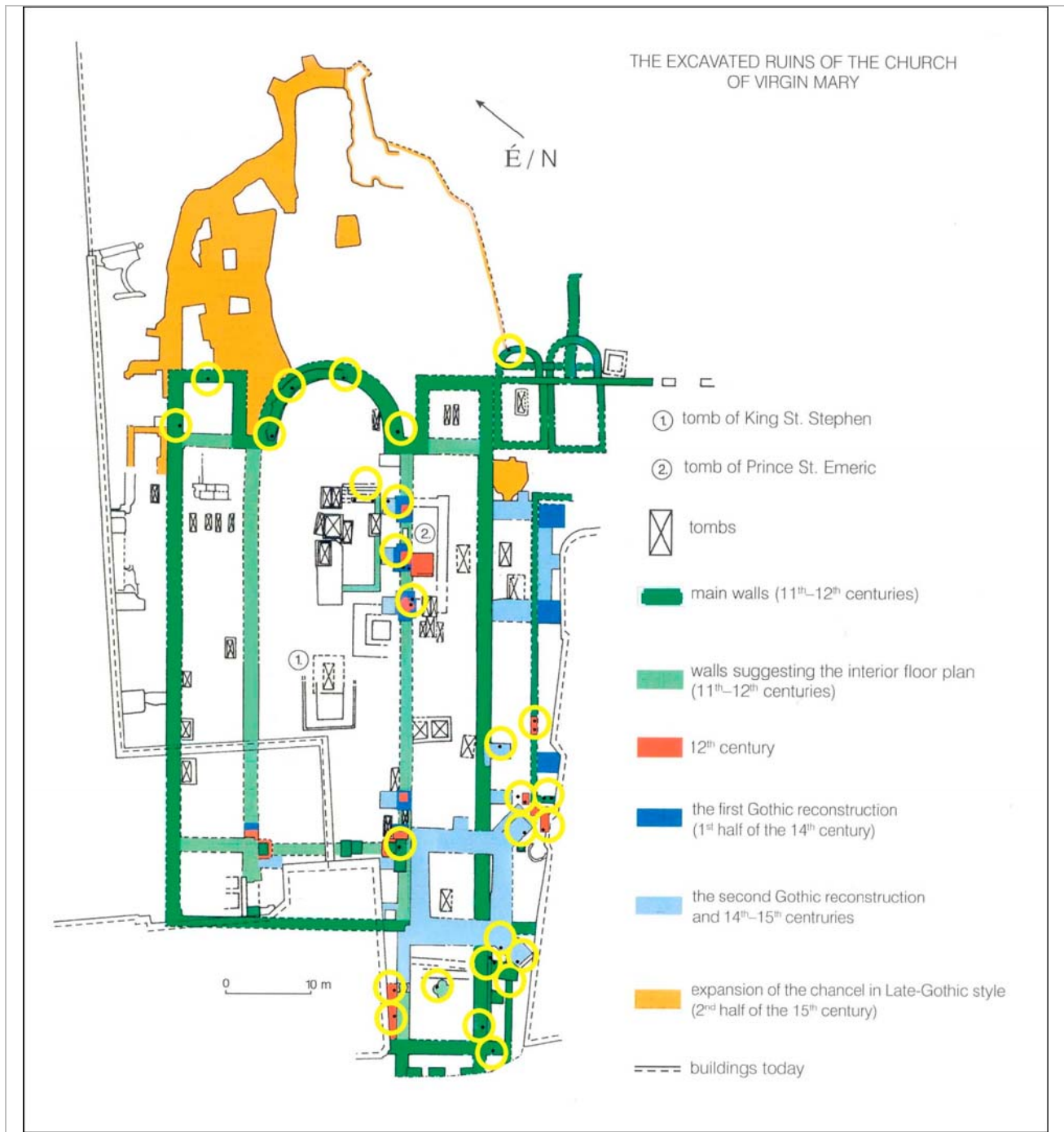
## Bevezetés

Székesfehérvár a Dunántúlon, Budapeستől 65 km-re délnyugatra található. A középkorban királyi székhely volt, latin neve Alba Regia. A romkert Magyarország kulturális örökségének egyedülálló része, nemzeti emlékhely.

A romkertben található a Szűz Mária prépostsági templom, az ún. királyi bazilika maradványai sírhe-lyekkel, valamint a hozzá kapcsolódó világi épületek. A királyi bazilikát I. Szent István király (1000-1038), a keresztény Magyarország első királya alapította,

építése 1018 körül kezdődött. Az épület a magyar királyok koronázási és temetkezési temploma volt, és otthont adott a királyi kincstárnak és ereklye-gyűjteménynek.

A 11. és a 15. század között a bazilikát többször újjáépítették. A templom a török megszállás (1543-1688) idején indult pusztulásnak; használták raktárként, sőt kőbányaként is, míg a 18-19. században az akkori püspök és városvezetés leromboltatta (Dercsényi, 1943. 61–63.).



**1. ábra** - Mintavételi térkép. Biczó Piroska, Branczeiz Zsuzsa és Szabó Zoltán adatai alapján (Bartos et al. 2004) módosítva A mintavételi pontok esetenként fedésben vannak egymással az alkalmazott léptékben.

### Régészeti feltárások és állagmegóvás

Az első ásásokat Érdy János és Henszlmann Imre végezte a 19. században. Később, a 20. század 30-as éveiben Lux Kálmán építész ásott a területen. A kutatás a 60-as években indult újra Kralovánszky Alán felügyeletével. Őt 1993-ban Biczó Piroska követte, aki azóta is vezeti az ásásokat. A feltárt romok teljes területe körülbelül 4700 m<sup>2</sup>.

A romok állagmegóvását szolgáló természet-tudományos vizsgálatok 1995-ben kezdődtek a területen. Meghatározták a talajvízszintet, talajgeológiai vizsgálatokat végeztek és elkezdték az építőanyagok ásványtani és kőzettani vizsgálatát is (Oravec, 1997; Tóth 1995, Wojnárovits 1995.). A jelen kutatások a Magyar Nemzeti Múzeum új mikro-regionális kutatásaihoz kapcsolódnak, a "Tudomány a műemlékvédelemért" program keretein belül.

## A műemlék és építésének fázisai

Saját kutatásaim célja a templom építésének egyes szakaszai során használt építőkövek azonosítása, jellemzése és mállásának vizsgálata. Ezért a rendelkezésre álló források alapján igyekeztem alaposan megismerni az egyes építési fázisokból származó romokat. Átnéztem a fényképes dokumentumokat és konzultáltam az ásatásokat végző régésszel. Mindezek eredményeként módosítottuk a lelőhelyről eddig rendelkezésre álló térképeket és lehetővé vált a kutatások pontos dokumentálása. Az alábbi történeti összefoglalót Biczó (2005) alapján foglalom össze.

### 11-12. század

Az építkezés első fázisa a 11–12. századra az Árpád-házi királyok korára tehető. A keleti homlokzathoz egy apszis csatlakozik, mindkét oldalán kisebb kápolnákkal vagy sekrestyével. A fő épületrészben a tágas bazilikát pillérek vagy oszlopok sora tagolta. A főhajót nyugaton lezáró árkádsor által határolt épületrész vezetett a nyugati homlokzathoz, ahol egy hozzátoldott kisebb alapterületű épület, a bazilika nyugati építménye állt.

### 12. század

Az Árpád-házi királyok ideje alatt, a 12. században történt az első átépítés. Új támasztóelemek kerültek a főhajóba, a nyugati építmény északi és déli falát átépítették. Emellett ebből az időből néhány kőtábla látható a déli rész kerengőjében.

### 14. század első fele

Az első gótikus rekonstrukciót 1318-ban végezték az Anjou királyok idején, a gyakori tüzesetek okozta pusztulás miatt. A 12. században elhelyezett pillérek tovább erősítették.

### 14-15. század

Egy újabb, 1327-es tűz eredményezte a második gótikus rekonstrukciót. Ez magába foglalta a pillérek újjáépítését, megnagyobbítását és egy új torony építését a nyugati szárnyban. Támpillérei a sarkokon áthatolnak a 11. századi falakon.

### 15. század második fele

A templom utolsó bővítését egy új szentély építésével Mátyás király végeztette a 15. század második felében, késő gótikus stílusban.

### Mai épületek

Az ásatás területét a romkert északnyugati oldaláról határoló, az egykori templom nyugat része fölött emelkedő alapfalak a püspöki palotához tartoznak.

## Mintavétel

Az egyes fázisokban alkalmazott kőzetfajták azonosítására több ízben is vettünk mintákat a romkert területéről.

### 1. mintavétel

Az első mintavétel során véletlenszerűen válogattam töredékeket a felszínről. Az így gyűjtött mintákból készített 16 db vékonycsiszolat vizsgálatával nyertem az első információkat az épületet alkotó kőzet típusokról.

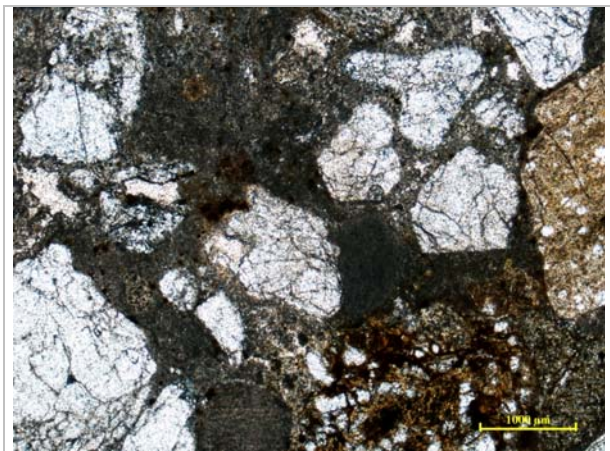
### 2. mintavétel

A második mintavételt in-situ makroszkópos megfigyeléssel kezdtem. Harmincnégy építőkövet választottam ki úgy, hogy figyelembe vettem használatuk gyakoriságát is. A makroszkópos vizsgálatot követően a mintákat egyedi jellegzetességeik alapján különböző kezelésnek vetettük alá, hogy alkalmasak legyenek vékonycsiszolatok készítésére. A minták általános közzetani tulajdonságait polarizációs mikroszkóppal vizsgáltam. A mintavételi dokumentációban a mintákat aszerint csoportosítottam, hogy melyik építési fázishoz tartoznak. A mintavételi pontok helyét a mintavételi térképek mutatják (1. ábra).

### Fő kőzettípusok

Az azonosított minták hat kőzettípusba sorolhatók:

- I) meszes homokkő (2. ábra) és homokos mészkő (3c. ábra),
- II) ősmaradvány-tartalmú mészkő (4. ábra),
- III) ősmaradvány-tartalmú mikrites vörös mészkő (5. ábra),
- IV) márvány (6. ábra),
- V) riolit (7. ábra)
- VI) vörös homokkő (8. ábra)



2. ábra - Az 1A. számú minta mikroszkópos képe. 1N - I. típus: ősmaradványos homokkő kvarc és kvarcit szemcsékkel, átlagos szemcseméret kb. 1500µm.

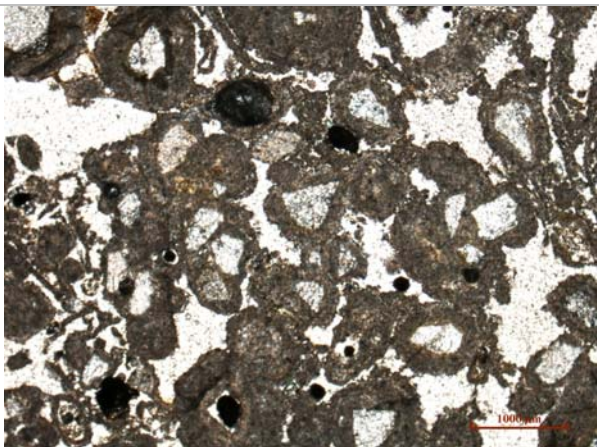




**3a ábra** - Mintavételi hely a 7. számú mintán.



**3b ábra** - A 7. számú minta makroszkópos képe.



**3c. ábra** - A 7. számú minta vékonycsiszolatos képe, 1N - I. típus: oopátit benne kvarc, kvarcit továbbá néhány metamorf és magmás közettörmelék), átlagos szemcseméret: kb. 400 µm.

Mindegyik mintát három fotóval dokumentáltam; az első fotó a mintavétel helyét ábrázolja (**3a ábra**), a második a minta makroszkópos képét (**3b ábra**), míg a harmadik a minta mikroszkópos képét mutatja egy nikollal, (**2, 3c, 4, 5, 6. ábra**).

**A vékonycsiszolatok előzetes vizsgálata után az egyes csoportok további jellegzetességei:**

#### **I) típus**

\* Ősmeradványos homokkő (helyenként molluszka-töredékekkel) (mintaszám: 1A, 1B, 20)

\* Mészkö, nagyméretű bioklaszttal (mintaszám: 19, 28)

Rosszul osztályozott mm-es méretű szemcsék: balanidák, bryozoák, kalcitvázú kagylók, tengeri sünök. Nyílt tengeri, normál sósvízi, miocén karbonát-platform közete. Valószínűleg kárpáti-bádeni.

\* Oopátit (ritkán, oomikrit) (mintaszám: 7, 8, 9, 10, 26, 27)

Egy vagy több rétegű kéreg különböző magon: homokszemcsén, foraminiferán, bioklaszton. Erős áramlással jellemezhető területeken és/vagy árapály csatornában fordul elő.

\* Homokos mészkö molluszka-töredékekkel és miliolid foraminiferákkal. (mintaszám: 17, 18A)

Tengeri karbonát-platform, valószínűleg csökkent-sósvízi, szarmata korú.

#### **II) típus**

\* Mészkö molluszka-töredékekkel és miliolid foraminiferákkal. (mintaszám: 3, 4A, 4B, 13, 13C, 14, 21)

Tengeri karbonát-platform, valószínűleg csökkent-sósvízi, szarmata korú.

\* Pelpátit (részben aggregátumos szemcsékkel) (mintaszám: 11, 12, 18B, 24)

Pátitos kötőanyagú kőzet ismeretlen eredetű kerekded szemcsékkel. A szemcsék gyakran aggregátumokat alkotnak.

\* Lukacsos mészkö (mintaszám: 5, 6)

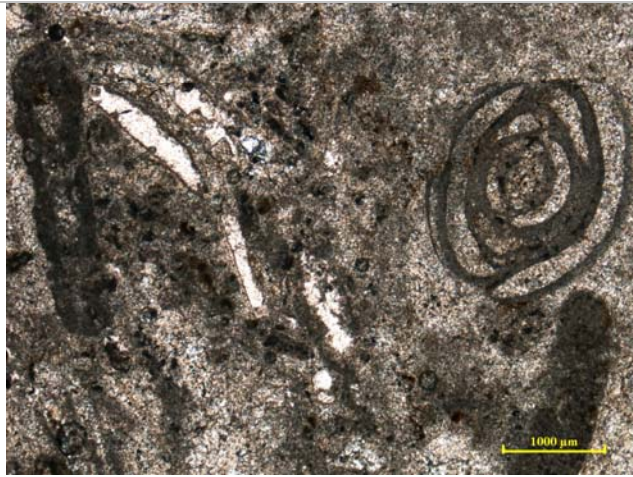
Valószínűleg miocén karbonát-platformról származik. Nagy másodlagos porozitású. Ez a másodlagos porozitás valószínűleg szubaerikus körülmények között alakult ki.

#### **III) típus**

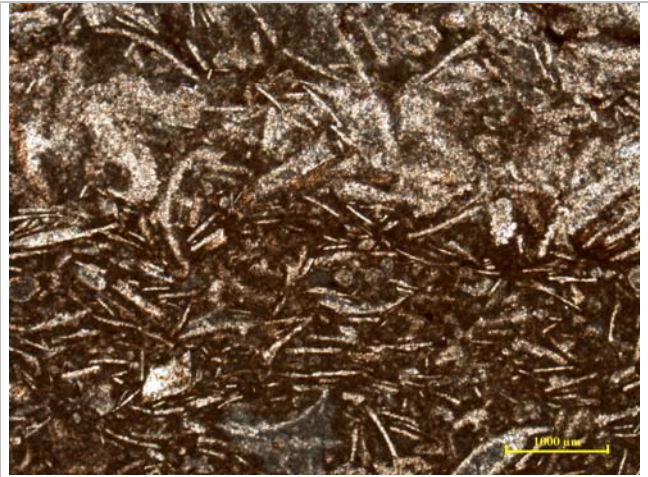
\* Bositras biomikrit, középső jura (mintaszám: 22, 25A, 25B, 29)

Vörös, homogén mikrit nagy mennyiségű mélytengeri kagyló (Bositra) héjtöredékével. A kőzettípus a Bakonyban és a Gerecse hegységben fordul elő.

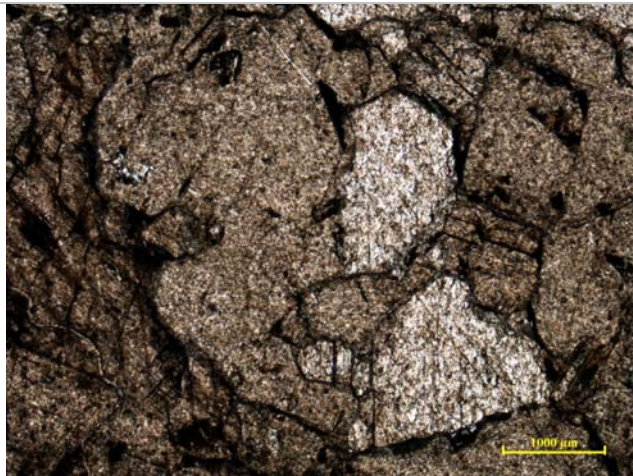




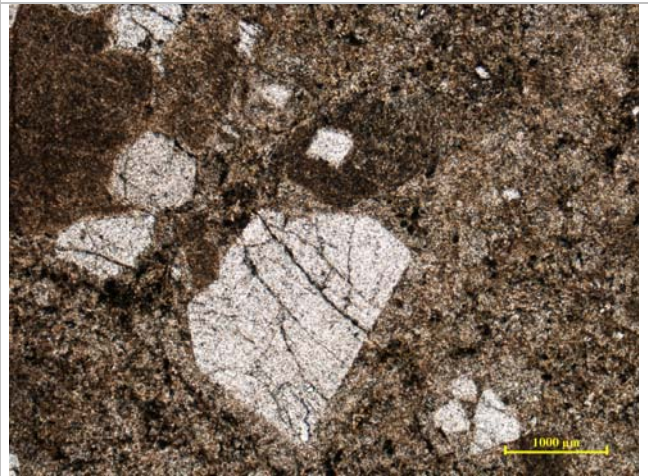
**4. ábra** - A 4. számú minta vékonycsiszolati képe. 1N - II. típus: ösmaradványos mészkő sok molluszka-töredékkel és miliolid foraminiferákkal.



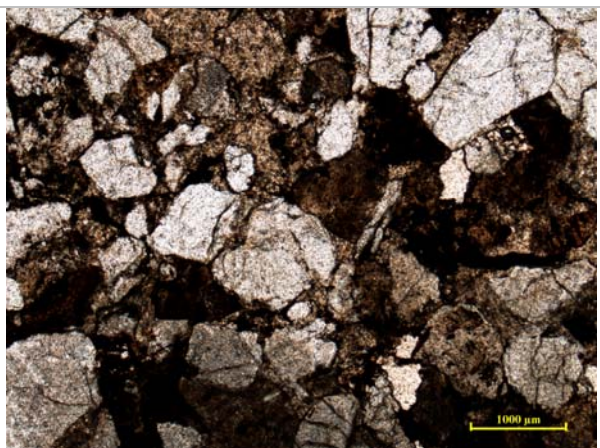
**5. ábra** - A 22. számú minta vékonycsiszolati képe., 1N, - III. típus Bositra's biomicrit.



**6. ábra** - A 15B számú minta vékonycsiszolati képe, 1N, - IV. típus: márvány.



**7. ábra** - A 2. számú minta vékonycsiszolati képe, 1N, - V. típus: riolit.



**8. ábra** - A 16. számú minta vékonycsiszolati képe, 1N, - VI. típus: vörös homokkő.

#### *IV) típus*

\* Márvány (mintaszám: 15A, 15B, 23)

Durva szemcsés, kevés szilikátásvánnyal, elsősorban fehér csillámokkal.

#### *V) típus*

\* Riolit (mintaszám: 2)

A porfíros kristályok: kvarc, földpát; mállott biotit, amelyek másodlagosan átkristályosodott mozaikos alanyanyagban fordulnak elő.. A fenokristályok gyakran halmazokat alkotnak.

#### *VI) típus*

\* Vörös homokkő (mintaszám: 16)

Jól osztályozott. Legfontosabb elegyrészei: kvarc kvarcit; ezenkívül jelentős mennyiségű savanyú vulkanit alanyanyagot és néhány metamorf közettörmelék tartalmaz.

Az elegyrészek és azok egymáshoz viszonyított mennyisége alapján a Balatonfelvidéki permii vörös homokkővel azonosítható.

### Összefoglalás

A fő kőzettípusok és az egyes építési fázisok összevetése után az alábbiakat állapíthatjuk meg:

- A különböző építési és rekonstrukciós fázisok során majd minden korban is használt, leggyakrabban alkalmazott építőkö-típusok a következők: i) meszes homokkő/homokos mészkő és ii) ősmaradványos mészkő
- A ősmaradványos mikrites vörös mészkövet a vizsgált példányok között csak az Árpád-kori renoválás során találtuk meg. További alkalmazását írták le késő középkori környezetből: ezeket a részeket még nem vizsgáltuk
- Márványt, riolitot és a vörös homokkövet csak az Árpád-korban használtak.

A minták ásatások közti megoszlása fontos szempont lesz a további vizsgálatok során, mert a meglévő romokat különböző ásatások tárták fel (ld. a bevezetést).

### Folyamatban lévő kutatások és további tervek

A további kutatások során három különböző térképet szeretnénk létrehozni. Az egyikben a legfontosabb azonosított kőzettípusokat fogjuk feltüntetni, eltérő színnel, a műemlék alaprajzán. A másik egy nyersanyag származási térkép lesz, amelyen feltüntetjük az egyes kőzetek lehetséges származási helyét. Végül, az utolsó térkép fogja tartalmazni a különféle mállási formákat és ezek elterjedését a műemlék alaprajzán.

Ezek a térképek mind a felhasznált építőanyagok mind a műemlék állapotának jobb megismerését fogják szolgálni.

A térképek elkészítését a következő vizsgálatok segítségével szeretnénk megvalósítani:

\* további részletes kőzettani vizsgálatok kőzetmikroszkópia és pásztázó elektron mikroszkópia alkalmazásával, amelyek reményeink szerint megerősítik az eddigi megállapításokat és lehetővé teszik a kőanyag pontos azonosítását

\* az azonosított kőzettípusokat nyersanyagforráshoz szeretnénk kötni a rendelkezésre álló földtani információk alapján.

\* a mállási folyamatok megismerését a megfelelő szakirodalom mellett egy jelenleg kidolgozás alatt lévő elektronikus információ forrás segítségével is szeretnénk alátámasztani amelyet a "Természetes kőanyagok és mállásuk" elnevezésű munkacsoport






készít az Aacheni Egyetemen ([http://www.stone.rwth-aachen.de/wgn\\_strt.htm](http://www.stone.rwth-aachen.de/wgn_strt.htm)). Ebben összegyűjtik a kőanyag mállásának lehetséges okait, pl. fagyás/olvadás, sók kicsapódása, nedvesség, biológiai károsító tényezők, kedvezőtlen konzerválási beavatkozások és különféle mechanikai károsodások.

Ezek után a legfontosabb építőkö típusokat további vizsgálatoknak vetik alá, figyelembe véve azok elterjedését és az általános mállási jelenségeket.

### 1. tábla - Minták megoszlása az általános kőzettípusok és az építési fázisok szerint.

ÁLTALÁNOS KŐZET-TÍPUSOK	MINTÁK SZÁMA	MINTÁK KÓDJA # (Szfv # 19-6-07)
I. MESZES HOMOKKŐ/ HOMOKOS MÉSzkŐ	13	1A, 1B, 7, 10, 17, 18A, 19, 20, 8, 9, 27, 28, 26
II. ŐSMARADVÁNYOS MÉSzkŐ	13	5, 6, 18B, 24, 11, 12, 13, 13C, 3, 4A, 4B, 14, 21
III. ŐSMARADVÁNYOS, MIKRITES VÖRÖS MÉSzkŐ	4	22, 25A, 25B, 29
IV. MÁRVÁNY	3	15A, 15B, 23
V. RIOLIT	1	2
VI. VÖRÖS HOMOKKŐ	1	16

Az 1. táblázathoz és az 1. ábrához tartozó jelkulcs:

	Árpád-kori építkezés
	Árpád-kori renoválás
	1. gótikus rekonstrukció
	2. gótikus rekonstrukció
	Bővítés Mátyás korában



A témára vonatkozó korábbi kutatásokat is figyelembe vesszük, pl.:

\* ásványtani vizsgálatok röntgen diffrakciós analízis segítségével (XRD), pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és további vizsgálatokat készítünk, ha erre szükség van

\* fizikai és mechanikai vizsgálatokat végzünk, pl. nitrogén és higany porozitás mérés, különféle porozitási tesztek, sűrűség mérés, nedvesség felvétel, hajlító- és nyomószilárdság, valamint rugalmasság mérés.

Továbbá, fűrési ellenállás méréseket fogunk végezni a helyszínen az ICVBC (Istituto Conservazione e valorizzazione dei Beni Culturali of CNR) felszerelésével, amely egy mozgó laboratórium része, amit az Eu-Artech (Access, Research and Technology for the conservation of the European Cultural Heritage) program keretében használhatunk. A mérések közvetlen információt adnak a felszíni körülményeknek kitett építőkövek felületi keménységéről (<http://www.eu-artech.org>). A megfelelő berendezés (SCHMIDT kalapács) lehetővé teszi a nyomószilárdság roncsolás mentes vizsgálatát jóval nagyobb mintaszám esetében, mint amit egy laboratóriumban meg tudnánk valósítani

Végül, a vizsgálati eredmények alapján a főbb jellemzőket összevetjük a mállási jelenségekkel és egy stratégiai tervet készítünk a műemléki helyreállítás és konzerválás elősegítése céljából.

#### **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Józsa Sándornak, konzulensemnek, Szakmány Györgynek a segítségért, Biczó Piroskának a régészeti információkért és a mintavételi engedélyért, valamint Pintér Farkasnak a kutatási tervvel kapcsolatos javaslataiért. Köszönöm Kázmér Miklósnak a

mészkövek jellemzéséhez (Fő közettípusok fejezet; A vékonycsiszolatok előzetes vizsgálata után az egyes csoportok további jellegzetességei) nyújtott rendkívül értékes segítségét

A kutatást a **Marie Curie's Actions** által támogatott **EPISCON** project – European PhD in Science for Conservation – keretében folytatjuk.

#### **Irodalom**

ADAMS, A.E. & MACKENZIE, W.S., (1998): *A colour atlas of carbonate sediments and rocks under the microscope*. Manson Publishing, UK.

BARTOS et al. (2004): Bartos, Gy., Biczó, P., Buzás, G., Lővei, P., Mentényi, K., Tóth, M., *The provostry and church of the Virgin Mary*. King St. Stephen Museum, Székesfehérvár.

BICZÓ P., (2005): Székesfehérvár. Nemzeti Emlékhely I-II. *Tájak-Korok-Múzeumok Kiskönyvtára* **309-310.** szám. TKM Egyesület

DERCSÉNYI D., (1943): A székesfehérvári királyi bazilika. *Magyarország művészeti emlékei I.* Műemlékek Országos Bizottsága, Budapest.

MIŠIK, M., (1966): *Microfacies of the Mesozoic and Tertiary limestones of the west Carpathians*. Vydavatel'stvo Slovenskej Academie Vied, Bratislava.

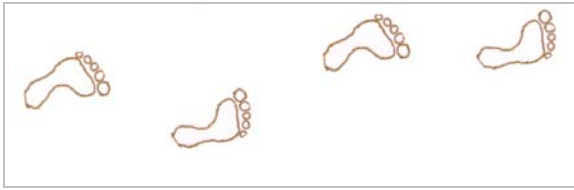
ORAVECZ J., (1997): Jelentés a székesfehérvári romkert feltárt építőköveinek földtani vizsgálatáról. *Kézirat*, Szent István Király Múzeum Adattára, Székesfehérvár, ltsz. 6980/99

TSIRAMPIDIS, A. E., (1993): *Petrology of sedimentary rocks* (In Greek). Library of Geology department - Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki.

WINKLER, E. M., (2002): *Stone in architecture: properties-durability*. Springer, Germany.



## KÖNYVISMERTETÉS



**B. Fabbri – S. Gualtieri – F. Amato:**  
***Sulle orme dei primi ceramisti – On the traces of early potters***

CNR-ISTEC, Faenza, Italy, 2007

Az olasz szerzők műve egy több nyelven íródott (olasz-angol, szlovén-angol, román-angol) oktató könyvecske, amely egy a Culture 2000 európai uniós támogatási program keretében megvalósított pályázat egyik terméke. A teljes pályázat SeePast („lásd a múltat”), a „South Eastern European Pottery: Archaeology and Scientific Techniques” elnevezésből alkotott betűszó, néven ismert és olasz, szlovén, illetve román szakemberek részvételével szerveződött. A SeePast célja a régészeti kerámia leletanyag modern tudományos vizsgálatának megismertetése a laikus közönséggel; a kísérleti régészet és a kerámia archeometria népszerűsítése; illetve a különféle, a témakörben érintett tudományterületeken működő intézetek közötti kapcsolatok kiépítése vagy serkentése (honlap: [www.uab.ro/seepast](http://www.uab.ro/seepast)).

Ennek a kiterjedt tevékenységnek egyik fontos eleme volt az oktatás különféle szintjeire eljuttatni

azt az ismeretanyagot, amely a ma emberét az újkőkori ősökkel összekapcsolhatja. Az ismertett könyv az általános iskolás gyerekek számára nyújt élvezetes betekintést az újkőkori agyagművesség – és azon keresztül az egykori mindennapi élet – részleteibe. Nemcsak a gyakorlatban történő kipróbálás (kísérletezés) lehetőségét teremti meg – az agyag felkutatásától az edényformáláson át a kiégetésig –, hanem olyan tudományos ismereteket is játékos, könnyed formában képes megismertetni 7–13 éves gyerekekkel, amelyeket a legtöbb országban (hazánkban is) csak egyetemeken és csak specializált képzés keretében sajátítanak el a leendő kutatók. Természetesen a könyv tanulmányozásával nem válhatnak a gyerekek kutatókká, azonban érzékenységük-érdeklődésük a kultúrtörténetünk és a tudomány iránt nagymértékben fokozható.

A könyv mintha egy mesét mondana el. A gyerekek számára a befogadást nagymértékben megkönnyíti a könyv illusztrációja, mely kedves és kifejező kézi rajzokból, illetve a kísérleti munka során készült fotókból áll. A történet egyszerű: Sara, egy általános iskolás kislány, egy nap cserépdarabokkal jelenik meg az osztályban, amelyeket a mezőn talált. A leletekről kiderül, hogy neolitik kerámiák töredékei, és ez a tény felkelti az osztály érdeklődését.

Az esemény egy olyan folyamatot indít el, amely az újkőkori fazekasság behatóbb megismerését célozza meg.



Tanáruk segítségével a gyerekek szak-embereket kérnek meg, hogy meséljenek nekik a cserepekről. Így ismerkednek meg a régészettel, jutnak el egy valódi ásatásra, ahol maguk is kutathatnak leletek után, és végül azt is megértik, hogyan következtek a sok apró jeltől a régészek egy akár 7000 éves közösség mindennapjaira.

A továbbiakban azt tűzik ki célul, hogy maguk is képesek legyenek készíteni a neolitik edényekhez hasonló tárgyakat. Ehhez először tisztába kell jönniük azzal, hogy milyen nyersanyagot kell keresniük a kerámiakészítéshez, vagy hogy milyen folyamatok révén lesz a lágy agyagból kemény cserép. Ebben segít a gyerekeknek az anyagvizsgáló szakértő, aki elmeséli, hogy miért fontos jól megválasztani a nyersanyagokat, alaposan összekeverni őket, gondosan kiszárítani a kialakított edénytestet, végül pedig a megfelelő módon kiégetni azt. Ezután a „kis kutatók” ellátogatnak egy archeometriai kutatólaboratóriumba, ahol a gyakorlatban láthatják, hogy miért hasznos mikroszkóp alatt, illetve különféle ásványtani-kémiai analízáló műszerek segítségével megvizsgálni a cseréptöredékeket. Az archeometriával foglalkozó szakemberek (pl. vegyészek, fizikusok, geológusok) segítenek megválasztani a gyerekek agyaggyerő helyre és készítési módszerre vonatkozó kérdéseit.

A sok ismeretanyag begyűjtését követően a gyerekek számára végre elérkezik az idő, hogy a gyakorlatban is próbára tegyék magukat. Egyben arról is bizonyosságot szerezhetnek, hogy az eddig hallottak nem csupán a „felnőttek határtalan fantáziájának szüleményei”. A további munkában egy geológus és egy a kísérleti régészetben és fazekasságban jártas szakember nyújt segítséget. A geológus terepi ismereteit felhasználva a gyerekek felkutatják és kitermelik a megfelelő agyagot és a fazekas irányítását követve alkalmazzák az edényformálási és -díszítési technikákat. Végül a maguk ásta gödörben, a maguk gyűjtötte fával a kiégetésre is sor kerül.

A valódi értékét ennek az oktató könyvecskének persze a gyakorlati tapasztalat adhatja meg, de a kedves kiállítású kiadvány és a hozzá kapcsolódó, DVD-n rögzített filmet (amely a könyvbeli történetet filmesíti meg) talán másoknak is kedvet adhat ahhoz, hogy az általános iskolákban ilyen interaktív módon próbálják meg az – akár már magasabb képzési szintek felé mutató – ismereteket befogadtatni a gyerekekkel. Végezetül hozzátenném, hogy talán nem tévedés azt gondolni, hogy Magyarországon az archeometriával foglalkozó szakemberek között akadnának partnerek egy ilyen vállalkozáshoz.

*Szilágyi Veronika*  
geológus, MTA Izotópkutató Intézete

### ***Alkalmazott ásvány- és kőzettan.*** ***Az ásványok és az ember a mai Magyarországon területén a XVIII. század végéig.***

Tud. konf. 2007. március 2. Bányászat  
Geotudományok. A Miskolci Egyetem  
Közleménye. A sorozat 74.  
Miskolc Egyetemi Kiadó, 2008 pp. 1-253  
Szerk. Szakáll Sándor

2007.03.02-án Miskolcon előadótudást rendeztek "Az ásványok és az ember a mai Magyarországon területén a XVIII. század végéig. Fókuszban az ásványi anyag" címen a Miskolci Egyetemen. Az ülésen elhangzott előadásokat példamutató gyorsasággal jelentették meg a rendezők (Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara, Társrendezők: Herman Ottó Múzeum, Magyarhoni Földtani Társulat Ásványtan-Geokémiai Szakosztálya és az OMBKE Egyetemi Osztálya)

Az előadótudást szervezte és a kötetet szerkesztette Szakáll Sándor. Ajánljuk mindazok figyelmébe, akik a Magyarországon használt történeti és régészeti korok nyersanyagainak kutatásával foglalkoznak.

### **Tartalom**

#### ***Tanulmányok / Papers***

Kőeszköz-nyersanyagok Magyarországon területén /  
Raw materials for stone tools in Hungary – T. Biró  
Katalin

Ásványi eredetű festékek Magyarországon területén /  
Mineral paints in Hungary – Sajó István

Kerámia nyersanyagok, kerámiák Magyarországon területén a neolitikumtól a XVIII. század végéig /  
Ceramic raw materials, ceramics in Hungary from the Neolithic to the end of the 18<sup>th</sup> century –  
Szakmány György

Érc, salak, fémek / Ores, slags, metals –  
Molnár Ferenc

Üvegkészítés Magyarországon a kezdetektől a XVIII. századig /  
Glass-making in Hungary from the beginnings till the 18<sup>th</sup> century – Főrizs István

Építészeti kőanyagok előfordulása és felhasználása Magyarországon területén a XVIII. századig /  
Occurrence and use of building stones in Hungary until the 18<sup>th</sup> century – Török Ákos

Az 1800 előtt ismert drágakövek – áttekintés /  
Precious stones known before 1800 – Papp Gábor

Ásványok a gyógyszerkincsben / Minerals in the pharmacy – Grabarits István

#### ***Kivonatok / Abstracts***

A Miskolc-avasi paleolitikumi kovakőbányászat földtani-ásványtani háttere / Geological-mineralogical background of the Paleolithic flint mining on the Avas Hill, Miskolc – Hartai Éva, Szakáll Sándor

A Kárpát-medence V-VI. századi berakásos díszítésű ötvöstárgyainak ékkőanyaga / Gems of the inlaid goldsmith's works from the 5<sup>th</sup>-6<sup>th</sup> century in the Carpathian Basin – Horváth Eszter

Történeti habarcsok datálási lehetőségei a „hidraulikus tényező” alapján / Dating possibilities of historical mortars based on the “hydraulic factor” – Kelemen Éva, Rózsa Péter

Terepfelszín-rekonstrukció célú fúrások és anyagvizsgálatok a Szederkény, Kukorica-dűlő

(M60-95-ös) lelőhelyen (Baranya megye) / Drillings and analyses for the reconstruction of ancient topography in Szederkény, Kukorica-dűlő (locality M60-95, Baranya County)– Kovaliczky Gergely, Dezső József

Balatonöszöd (Temetői dűlő) lelőhely késő rézkori kőeszközeinek kőzettani vizsgálata / Petrographic examination of the stone tools from Balatonöszöd (Temetői dűlő), Late Copper Age – Péterdi Bálint, Horváth Tünde, Szakmány György, Kasztovszky Zsolt

A fehérvárcsurgói üveghomok bányászata és ásvány-kőzettani jellemzői / Mining and mineralogical-petrographical characteristics of the glass-sand of Fehérvárcsurgó – Thamóné Bozsó Edit, Balogné Bozsó Judit