

# MÁGNESES SZUSZCEPTIBILITÁS MÉRÉSEK - ÚJ MÓDSZER ALKALMAZÁSA CSISZOLT KŐESZKÖZÖK VIZSGÁLATÁBAN

BRADÁK BALÁZS<sup>1,2</sup> – SZAKMÁNY GYÖRGY<sup>2</sup> – JÓZSA SÁNDOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ELTE Természetföldrajzi Tanszék, [brada@primposta.com](mailto:brada@primposta.com)

<sup>2</sup>ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, [gyorgy.szakmany@geology.elte.hu](mailto:gyorgy.szakmany@geology.elte.hu)

Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

„A kőkorszaki emberek minden testi és lelki erejüket felhasználták arra, hogy a sziklák országának urai lehessenek, és hogy a legkisebb kavicsból a legfinomabb eszközöket készítsék;... A kő nekik mindenük volt, annak felhasználása egész életük feladata vala.” (Rómer F. 1866).

## Abstract

*Magnetic susceptibility (MS) measurement has been used in geoscience since '50s of the last century. This method is successfully used for example in climatic reconstruction of the Quaternary or in volcanological investigations. This paper presents a new application of magnetic susceptibility measurement. We used kappameter KT-5 low field magnetic susceptibility meter to measure about 360 polished stone tools of the Mihálydy collection, a set of prehistoric stone axes in the possession of the Veszprém regional museum. This artefacts represent well the Neolithic, Copper- and Bronze Age polished stone axes in Northern and Central parts of Transdanubia.*

*Each stone tool was measured three times. The magnetic susceptibility value considered was the average of the measured results. We used correction factors to get real magnetic susceptibility values, due to the different size, thickness and surface of the artefacts. The correction for surface unevenness and correction for the size of stone tools were investigated. We elaborated model experiments to determine the thickness correction factor. The change of MS values were significant under 2 cm thickness.*

*Apart from the polished stone tools we made MS measurements on samples originated from the outcrops of possible provenance of polished stone artefacts.*

*With the application of this new, non-destructive method, the MS values of the most important raw materials types of the Mihálydy stone tools were determined, and together with the macroscopic description we could achieve a more precise determination of the raw material.*

*Statistical analysis of MS values of greenschist stone artefacts of the Mihálydy collection yielded three main groups of raw material sources: 1. Greenschist stone tools with the lowest MS value, between  $0.25 \cdot 10^{-3}$  SI and  $0.8 \cdot 10^{-3}$  SI unit, originated from Felsőcsatár, Hungary; 2. Stone artefacts with higher MS value ( $0.2 - 3.3 \cdot 10^{-3}$  SI unit) originated from Velké Hamry outcrop, near Železný Brod, Czech Republic; finally 3. polished stone tools with extremely high magnetic susceptibility ( $30 - 130 \cdot 10^{-3}$  SI unit) originated from Želešice, Czech Republic. Moreover there are some greenschists, which cannot be fit to these three main groups.*

## Bevezetés

Az archeometriai kutatások egyik kiemelt kutatási területe az emberek által készített tárgyak anyagvizsgálatát és eredetkutatása. Az ember és környezet kapcsolata itt egy pontban, a nyersanyaglelőhelyben csomósodik. Az archeometriai kutatások egyik fő célja ennek a pontnak (pontoknak) a meghatározása, melyre a geológia, a (geo)fizika, a (geo)kémia és más kapcsolódó tudományágak számos lehetőséget kínálnak. Ebben a munkában a *mágneses szuszceptibilitás* (MS,  $\kappa$ ) vizsgálatok archeometriai

alkalmazási lehetőségét mutatjuk be. Vizsgálataink során a veszprémi Laczkó Dezső Múzeum Mihálydy-gyűjteményét vizsgáltuk. Ez a régészeti, archeometriai módszerekkel jól feldolgozott gyűjtemény Horváth (2001), Szakmány et al. (2001) mintegy 360 db csiszolt kőeszközt tartalmaz. Méreténél fogva tehát statisztikailag is alkalmas az MS mérések hatékonyságának felmérésére. Vizsgálatainkat modell-kísérletekkel valamint a feltételezett nyersanyaglelőhelyekről származó terepi minták MS méréseivel egészítettük ki.

A mágneses szuszceptibilitás értékek a kőzetekben megtalálható mágnesezhető ásványok mennyiségét tükrözik. A különböző MS értékek alapján, különböző szinten csoportokat különíthetünk el az eszközök között. A mérési módszerből adódóan roncsolásmentes vizsgálatokat végezhetünk, mely a régészeti tárgyakon végzett vizsgálatok esetében különösen fontos. A kőeszközök csoportosítása mellett, a feltételezett nyersanyag-lelőhelyek kőzetanyagának mérésével és statisztikai szintű feldolgozásával párhuzamosításokra is lehetőség nyílt. A mágneses szuszceptibilitás mérését eddig elenyésző mennyiségben alkalmazták csiszolt kőeszközökön végzett archeometriai kutatásokban (Přichystal 2000, Přichystal & Gunia 2001; Přichystal & Trnka 2001).

### ***A Mihálydy – gyűjtemény és kutatásának története***

Mihálydy István, bakonyzentlászlói plébános 1867-től gyűjtött folyamatosan régészeti leleteket. A gyűjtemény jelentős részét a különböző régészeti korokból származó kőeszközök képezték (**1. ábra**).



**1. ábra:** Dolerit nyersanyagú csiszolt kőbalta. Mihálydy-gyűjtemény, ltsz. 55.975

Mihálydy rendszeresen publikálta eredményeit (Mihálydy 1870, 1871). A gyűjtemény darabjai 84 község határából, 140 lelőhelyről származnak, ezen belül a csiszolt kőeszközök 49 község határából, több mint 60 lelőhelyről, legtöbbször a Bakony

térségéből (Horváth 2001). A rendszerezett és leltározott gyűjtemény, Mihálydy halála után viszontagságos úton a Veszprém Megyei Múzeumegylethez került, majd később részben erre a gyűjteményre alapozva létrehozták a mai Laczkó Dezső Múzeumot (Veszprém Megyei Múzeumok Igazgatósága, Mithay 1978). A második világháború után a gyűjteményt újraeltárolták, (1955) melynek során az eredeti leltári számokat megváltoztatták, nem vették át a gyűjtő által megadott eredeti számozást, ami megnehezíti, részben lehetetlenné teszi az eszközök azonosítását (Horváth 2001). Emiatt a gyűjtemény darabjai manapság már csak szórványleletnek minősülhetnek.

A gyűjtemény részletes régészeti vizsgálatát, a kőeszközök tipizálását Horváth (2001) végezte el. Az általa megadott vizsgálati szempontok nem csak magára a gyűjteményre, hanem általánosan, más csiszolt kőeszközökre is alkalmazhatóak lehetnek.

A Mihálydy-gyűjtemény eddigi archeometriai vizsgálata során mintegy 55 db vékonycsiszolat és ezek közzétani elemzése készült el (Füri & Szolgay 2000, Szakmány et al. 2001). A bazalt és zöldpala alapanyagú eszközök típuspéldányaiból Prompt Gamma Aktivációs Analízissel (PGAA) kémiai elemzések is készültek. A bazalt nyersanyagú eszközökön ásvány-kémiai vizsgálatok (Füri 2003, Füri et al. 2004, Szakmány & Kasztovszky 2004), illetve a szerpentin anyagú eszközökből röntgen-pordiffrakciós vizsgálatok történtek (Füri & Szolgay 2000).

Az eszközök nyersanyagát nézve a legtöbb eszköz zöldpala (legalább négy változat) és bazalt (két változat), jelentős számú szerpentin, nefrit, valamint kisebb számban mészkő, dolerit – mikrogabbró és ezek metamorf változata, alkáli gabbró, fonolit, homokkő, valamint kvarcit és kontakt metamorf. A nyersanyag származási helyének meghatározása a jelenleg is folyó kutatások egyik célja, „félhipotetikus” szinten említhetőek. A lehetséges nyersanyag lelőhelyek részben lokális, a Bakony közvetlen környezetében elhelyezkedő, részben regionális, a Kárpát-medence és környékén fellelhető „forráspontokként” jelennek meg (Füri 2003; Füri et al. 2004, Szakmány et al. 2001). A mágneses szuszceptibilitás vizsgálatok szempontjából kiemelten jelentős zöldpala lehetséges lelőhelyei között szerepelnek a felsőcsatári kibukkanások, illetve ezek környéke (Rohonci-ablak). Lehetséges nyersanyaglelőhelyként a Cseh–masszívum is erősen valószínűsíthető (Szakmány et al. 2001, Szakmány & Kasztovszky 2004).

Az eddigi feldolgozások alapján a gyűjtemény példányai jól reprezentálják a Dunántúlon eddig fellelt és feldolgozott neolitikus kőeszközök nyersanyag típusait. Az elképzelések szerint a

Mihálydy-gyűjtemény képezhetné az egyik alapját egy olyan adatbázisának, mely a továbbiakban fölbukkanó régészeti emlékek leíró, illetve tipológiai alapon történő azonosítását és a lehetséges nyersanyaglelőhelyek meghatározását tenné lehetővé. A további geológiai, archeometriai vizsgálatok a régészeti megfigyelések alátámasztását, pontosítását segítenék.

### ***Vizsgálati módszerünk elvi alapjai: a mágneses szuszeptibilitás (MS, $\kappa$ (kappa))***

A „kristályok mágneses sajátosságainak” vizsgálatok Koch S. a mágneses szuszeptibilitás jelenségét valamely mágneses erőter és az általa adott kristály  $1 \text{ cm}^3$ -ben létrehozott mágneses momentuma hányadosaként definiálja (Koch & Sztrókay 1989). Leegyszerűsítve a kőzetekben előforduló mágnesezhető ásványok arányát mutatja meg. A mágneses szuszeptibilitás dimenzió nélküli mérőszám, nincs mértékegysége, jelölésekor az SI megjelölést alkalmazzák.

A mágneses szuszeptibilitás fizikájának alapjairól, a jelenség ásvány és kőzettani háttéréről részletesen Koch & Sztrókay (1989) és Egerer & Kertész (1993) műveiből szerezhet az érdeklődő olvasó ismereteket.

### **Mágneses szuszeptibilitás mérés – az analitikai módszer bemutatása**

A különböző kőzetek és kőeszközök vizsgálata során Kappameter KT-5 típusú mágneses szuszeptibilitás mérőt használtunk (2. ábra).



**2. ábra:** Kappameter KT-5 mágneses szuszeptibilitás mérő műszer és működési elve

### **(Egerer & Kertész 1993 alapján)**

A 65 mm széles és 187 mm hosszú, 0,35 kg súlyú, 60 mm kör alakú érzékelőfejjel ellátott,  $1 \cdot 10^{-5}$  SI érzékenységgű, 10 kHz frekvencián működő műszer a méréskor automatikusan változó maximális érzékelési határa 9,99; 99,9; illetve  $999 \cdot 10^{-5}$  SI egység. A műszer  $-10$  és  $+55$  °C fok között alkalmas mérésre. Ez a kézi, hordozható műszer egyszerűen és gyorsan kezelhető, akár terepi vizsgálatokra is alkalmas, érzékenysége azonban a laboratóriumi eszközökétől elmarad. Erre a pontosságra azonban ezekben a vizsgálatokban nem volt szükség.

A mérések során a műszer aktivizálása után az érzékelő fejet közvetlenül a kőzetmintához, vagy kőeszközhöz tartjuk, majd a kijelzőről leolvassuk az SI egységben értelmezhető mágneses szuszeptibilitás értékeket. A vizsgálat során minden egyes kőeszközt a lehető legnagyobb takarást biztosító felületen háromszor mértük meg. A mért értékek átlaga adja a kőzethez tartozó „mért mágneses szuszeptibilitás” értékeket. Ellenőrzésképpen számos eszköz több oldalán is végeztünk méréseket. Megállapítható volt, hogy általában az eszközök mágnesezhető ásvány tartalom szempontjából meglehetősen homogén, egyenletes eloszlásúak voltak, a mágneses szuszeptibilitás értékek - ugyanazon eszköz esetén, több oldalról mérve - maximum 5–10% -os eltérést mutattak.

Fontos kiemelni, ami a mérések során is kiderült, hogy a műszer pontos illeszkedése a mért felületre, illetve az érzékelőfej takarása fontos kritérium, az MS érték pontos meghatározásához, ha ez nem teljesül, a mért és a tényleges szuszeptibilitás közti korrekcióra van szükség (lásd alább).

### ***A mágneses szuszeptibilitás alkalmazási lehetőségei a csiszolt kőeszközök vizsgálatában***

#### **Fedési és egyenetlenségi korrekciók**

A kőeszközök különböző morfológiai tulajdonságai különbözőképpen befolyásolhatják a mért mágneses szuszeptibilitás értékét.

A kőeszközök mért felülete gyakran nem fedi le teljesen a kappaméter érzékelő felületét. Ahhoz, hogy a „tényleges szuszeptibilitás” értékeket megkapjuk, a mért szuszeptibilitás értéket a lement felület nagyságához tartozó korrekciós faktorról kell megszorozni. Ha a kőeszközök mért felülete kisebb, mint a 60 milliméter átmérőjű érzékelő fej felülete, a műszer leírásának adatsorából készített diagram pontjaira illesztett görbe egyenletének segítségével, adott felszínagságra megállapított szorzószámokat kell használni.

Általában a csiszolt kőszközők pattintott kőszközőkhöz képest simának mondható felülete sem fekszik teljesen rá a mérőfejre, ezért egyenetlenségi, érdességi szorzószámot kell alkalmazni az értékek korrigálására. Az egyenetlenségi korrekció értékeit a műszer leírása adott mélységű egyenetlenségre határozta meg. Ezekhez az értékekhez az érintkezés mértékét kifejező százalékos értéket rendeltünk.

A fentebb említett két korrekciós érték meghatározására a Kappameter KT-5 műszer leírásában szerepelnek értékek, ezért ezeket nem vizsgáltuk, hanem az értékeket átvettük a műszer leírásából.

A korrekciós értékek meghatározásánál elengedhetetlen tehát a kőszköző pontos méreteinek ismerete. A kőszközők méretét három egymásra merőleges értékkel jellemezhetjük. A felület két jellemző átmérője mellett az átlagos vastagság értéket használtuk. A vastagság és a fedettség (a kőszköző mért felületének a mérőfejre eső függőleges vetülete) korrekcióját általában a minta jellemző szélső átmérő értékeihez rendelt korrekciós számok adják, az érdességétől függő illeszkedés mértéke százalékos értékben is meghatározható. Ehhez hozzárendelhetők a megadott korrekciós számok. A korrekciós értékek felhasználásával meghatározott érték adja a „tényleges” mágneses szuszceptibilitás értékét, ezért a mérések során a minta vastagságát, illeszkedését, illetve a mérőfej fedettségét a korrekciós értékek meghatározása miatt dokumentálni szükséges!

### Vastagsági korrekciós értékek meghatározása – Modellkísérletek

A kappaméter leírásában foglaltak szerint a mágneses szuszceptibilitás mérések csak egy meghatározott mintavastagság, 50 mm fölött mutatnak megbízható értékeket. A csiszolt kőszközők jelentős hányada azonban nem haladja meg ezt a vastagságot, és a leírás erre vonatkozóan nem tartalmaz korrekciós szorzószámokat. A lehetséges korrekciós értékek meghatározására az ELTE Közettani és Geokémiai Tanszéken kísérleti méréseket végeztünk. A mérések során terepbejárások során begyűjtött kőzetmintákat meghatározott kiindulási méretre vágtuk (6 cm élhosszúságú kocka) és a mintatest vastagságát fokozatosan csökkentve mágneses szuszceptibilitás méréseket végeztünk Kappameter KT-5 típusú kézi mérőműszerrel (3. ábra).

Kezdetben 4 cm vastagságig hozzávetőleg centiméterenként, körülbelül 2 cm vastagságig mintegy 0,5 centiméterenként, majd 2 cm alatt sűrítve, a lehetőségekhez mérten milliméterenként, 1-2 mm-ig csökkentve a minta vastagságát. A

modellkísérlethez elsősorban olyan kőzettípusokat vizsgáltunk, amelyek - a korábbi vizsgálatok



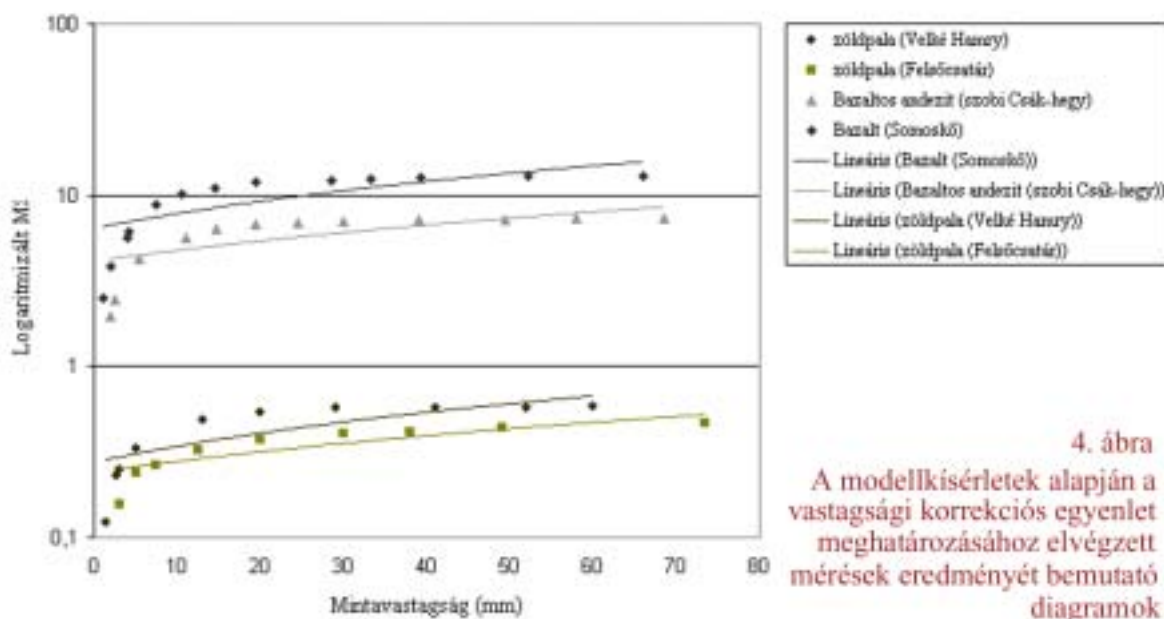
**3. ábra:** Kísérleti mérések a vastagság korrekció meghatározásához

alapján - a Mihály-gyűjtemény, vagy más gyűjteményből származó csiszolt kőszközők gyakori nyersanyaga lehet. Zöldpalából két típust, egy, a felsőcsatári zöldpala-bányából, és egy másik, a Cseh-masszívum északi részéből, Železný Brodhoz közel eső Velké Hamry-ból származó anyagot vizsgáltunk. Ezen kívül egy somoskői, pliocén bazaltmintát, illetve egy, a szobi Csák-hegyről származó bazaltos andezit kőzetmintán végeztük el a kísérletet.

A vizsgálat eredményeit feldolgozó diagramon (4. ábra) a vastagság függvényében csökkenő logaritmizált mágneses szuszceptibilitás értékeket tüntettük fel.

Az elemzések minden típus esetén igazolták, hogy a műszer leírásában minimális vastagságként megadott 50 mm-nél *vastagabb* mintákon már gyakorlatilag nem változik a mágneses szuszceptibilitás értéke. Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy az 50 mm-es vastagságnál *vékonyabb* minták esetén a mágneses

szuszeptibilitás értékekben 25 – 30 mm  
vastagságig nem, vagy csak alig történt változás.



4. ábra  
A modellkísérletek alapján a vastagsági korrekciós egyenlet meghatározásához elvégzett mérések eredményét bemutató diagramok

A 20 mm-nél vékonyabb minták esetén már ugrásszerű csökkenés figyelhető meg (4. ábra). A pontokra illesztett lineáris trendvonalak közel párhuzamos lefutása szemlélteti, hogy bár az egyes minták MS értékei a közettani különbségek miatt különböző nagyságrendűek, a vastagság csökkenésének függvényében az MS értékek minden minta esetében hasonló ütemben változnak. Ez azt jelenti, hogy az MS értékek vastagságtól függő csökkenése nem függ a kőzet típusától.

A modellkísérletek eredményei alapján egy, bármely kőzettípusra alkalmazható *általános vastagság korrekciós szorzószámot* az alábbiakban adhatunk meg:

$$\text{Vastagsági korrekció} = \sqrt[3]{\ln(50 \text{ (mm)} - \text{Az adott minta vastagsága (mm)})}$$

A korrekciós szorzó felső vastagság határa 50 mm-ben adtuk meg. Ez az érték a modellkísérletekben alkalmazott Kappameter KT-5 mágneses szuszceptibilitás mérő műszerre vonatkozik, és a műszer leírásában meghatározott szám. Ezt a vastagsági értéket modellkísérleteink is alátámasztották.

Az általános vastagsági korrekciós egyenlet megalkotása során a modellkísérletekben használt mérések eredményeit vettük alapul. Fontos azonban megjegyezni, hogy számos esetben a kőzetek típusából, a mágnesezhető ásványok inhomogén eloszlásából fakadóan kiugró, az átlagostól eltérő eredményeket kaphatunk. Ezek a statisztikai elemzés során megjelennek és külön figyelmet igényelhetnek. (Például a mészkövek esetén mért alacsony mágneses szuszceptibilitás közettani sajátosságokra, a mágnesezhető ásványok

hiányára vezethető vissza, s csak alig változik a vastagság változásával).

Az általános vastagsági szorzó kísérleti jellegű, fejlesztésére további modellkísérletek elvégzését tervezzük.

A korrekciós szorzóval történt beszorzás után kapott „tényleges” mágneses szuszceptibilitás értékek már felhasználhatóak a makroszkópos, adott esetben a vékonycsiszolatos petrográfiai vizsgálatok kiegészítésére, a minták kőzetcsoportok szerinti elkülönítésére, illetve azok pontosítására. Továbbá az egyes kőzektípusokra behatárolt MS értékek iránymutatóak lehetnek olyan kőszközök pontos meghatározására, melyekből nem állnak rendelkezésre mikroszkópos petrográfiai adatok.

### ***A Mihálydy – gyűjtemény kőszközzeinek mágneses szuszceptibilitás vizsgálati eredményei***

A gyűjtemény feldolgozása során először a jellegzetes kőzetanyagú és a jelentős példányszámú kőszközök átlagos mágneses szuszceptibilitás értékét határoztuk meg (1. táblázat). Az átlag mellett az adott anyagú eszközcsoportok esetén mért minimum és a maximum MS értékeket is feltüntettük. A legalacsonyabb átlagértékekkel a kvarcit ( $0,11 \cdot 10^{-3}$  SI egység), a mészkő ( $0,25 \cdot 10^{-3}$  SI egység), illetve a nefrit ( $0,27 \cdot 10^{-3}$  SI egység) kőzetanyagú eszközök rendelkeztek. Magas mágneses szuszceptibilitást mutattak a bazalt ( $\sim 30 \cdot 10^{-3}$  SI egység átlag) és a szerpentinit ( $56 \cdot 10^{-3}$  SI egység átlag) anyagú eszközök, továbbá az egyik zöldpala csoport mintái. A

szerpentinit anyagú eszközök esetében azonban jelentős szórás mutatkozott a mért MS értékekben. Ez akár többféle eredetű nyersanyagra is utalhat (Přichystal & Gunia 2001). Az egyes kőzettípusokra jellemző értékek iránymutatóak a makroszkóposan nehezen meghatározható kőeszközmaradványok esetében. Ezáltal a Mihályd-gyűjteményben korábban kizárólag makroszkópos tulajdonságai alapján meghatározott néhány kőbalta nyersanyagát sikerült pontosítanunk.

Az átlagértékek meghatározása mellett az adott kőzettípushoz tartozó mágneses szuszceptibilitás adatok relatív szórás értékeit is meghatároztuk. Ez az érték az adatok átlaghoz viszonyított eltérését mutatja meg százalékban. Minél nagyobb az érték, annál nagyobb az adatok eltérése az átlagos értékhez képest (**1. táblázat**).

Kőzettípusok (vizsgált darabszám)	vizsgált darabszám	átlag	min	max	szórás	relatív szórás (%)
amfibolit, amfibolpala	7	1,01	0,37	2,07	0,65	64,85
andezit	3	9,42	6,07	11,51	2,40	25,43
bazalt 1.	51	30,03	1,23	63,04	12,47	41,53
bazalt 2.	6	29,27	2,73	63,28	18,96	64,77
dolerit, metadolerit	7	0,88	0,39	1,73	0,43	48,36
homokkő, kvarchomokkő	9	0,78	0,00	3,20	1,12	144,37
zöldpala I., III., IV.	160	1,01	0,22	3,35	0,49	48,16
zöldpala II.	13	0,57	0,24	0,81	0,15	26,86
zöldpala XI.	6	90,89	31,52	130,33	35,62	39,19
kovás márga, mészkő	22	0,25	0,00	2,96	0,60	238,97
metagabbro	6	1,88	0,43	6,93	2,31	123,13
kontakt metamorfitek (szaruszirt, kontaktpala, stb.)	15	6,67	0,10	90,77	21,75	326,20
nefrit	12	0,27	0,09	0,52	0,14	50,84
szerpentinit	17	56,22	20,54	85,62	21,14	37,60
kvarcit	8	0,11	0,00	0,39	0,12	104,92
fonolit	2	-	0,75	2,09	-	-
tefrit	2	-	10,75	34,87	-	-
zöldpala (egyéb)	12	-	0,39	3,81	-	-

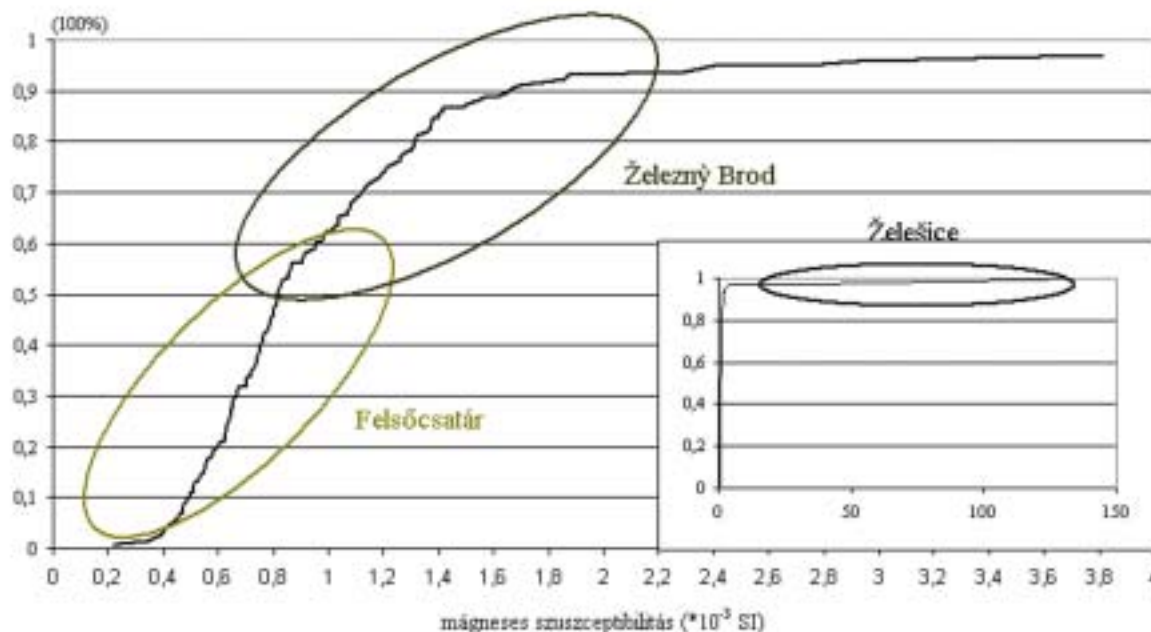
**1. táblázat:** A korrigált mágneses szuszceptibilitás értékek átlaga és szórása kőzettípusok szerint a Mihályd-gyűjtemény kőeszközeinek vizsgálata alapján

Az előzetes petrográfiai és kémiai elemzések (PGAA) a zöldpala nyersanyagú eszközök több csoportját különítették el a Mihályd-gyűjteményben (Füri & Szolgay 2000, Szakmány et al. 2001), ezért erre a kőzettípusra külön figyelmet fordítottunk. A gyűjteményben azonosított zöldpalákat makroszkópos megjelenés

alapján korábban négy nagyobb csoportra osztották, ezenfelül néhány zöldpala eszköz az „egyéb zöldpala” kategóriába került. A vizsgálatok a fenti négy csoportból hármat a Csehmasszívumból származó eredetűnek határozták meg, a negyediket felsőcsatári eredetűnek feltételezték. A zöldpala alapanyagú eszközök

vizsgálatánál az egyes szuszceptibilitás értékeket összegző görbén (5. ábra), illetve gyakoriság

görbén (6. ábra) ábrázoltuk.



5. ábra: A zöldpala kőeszközök MS értékeinek feldolgoása összegző görbével

Az összegző görbén a meredekebb szakaszok nagyobb gyakoriságú, az enyhébb lejtésű görberészek kisebb előfordulású értéktartományokat mutathatnak. Az eszközök feltételezett forrásterületéről származó kőzetanyagoknak a diagramra felvitt szuszceptibilitás értékeit tükröző ellipszisek pedig a lehetséges párhuzamosításokat, a nyersanyaglelőhely-vizsgálatokat alapozhatják meg. (A lehetséges nyersanyaglelőhelyekről származó kőzetminták mágneses szuszceptibilitás értékeit a 2. táblázat tartalmazza).

A gyakoriság görbén történő elemzéshez (5. ábra) a zöldpalákat az MS értékeik alapján csoportokba soroltuk. A diagramon az adott csoportba tartozó zöldpala kőeszköz darabszámot tüntettük fel. A diagramon szereplő körrel a nyersanyaglelőhelyek MS értékei alapján Felsőcsatárról, vagy akár Železný Brod területről származó alapanyagú kőeszközök értékcsoportját jelöltük (0,5-0,75\*10<sup>-3</sup> SI MS értékű csoport). Az ennél alacsonyabb értékek inkább a feltételezett felsőcsatári, magasabb értékek a Železný Brod-ból eredő alapanyagú kőeszközökre jellemzőek. A jelentősen magasabb értékekkel rendelkező, valószínűsíthetően Želešicéből származó alapanyagú csoport mágneses szuszceptibilitás értékeit a 4,5\*10<sup>-3</sup> SI< értékcsoport jelenti.

A feltételezhetően Želešice-ből származó, magas szuszceptibilitású kőeszközök értékeit külön tüntettük föl az ábrán, mert ezek jelentősen

eltorzították volna a diagram lefutását. A kérdéses kőeszköz csoport értékeit a 3. táblázat mutatja.

Lelőhely	Mért mágneses szuszceptibilitás (*10 <sup>-3</sup> SI)			MS átlag (10 <sup>-3</sup> SI)	Valódi mágneses szuszceptibilitás (*10 <sup>-3</sup> SI)
Želešice	41,9	42,5	42,9	42,43	61,06
	57,5	55,3	57,9	56,90	81,87
	10	10,2	10,1	10,10	14,53
	28,1	27,8	26,3	27,40	39,42
Felsőcsatár	0,14	0,13	0,13	0,13	0,19
	0,12	0,12	0,17	0,14	0,20
	0,23	0,21	0,21	0,22	0,31
	0,25	0,27	0,28	0,27	0,38
	0,37	0,37	0,36	0,37	0,53
	0,37	0,37	0,37	0,37	0,53
	0,4	0,41	0,41	0,41	0,59
	0,4	0,42	0,42	0,41	0,59
	0,43	0,44	0,44	0,44	0,63
	0,43	0,45	0,45	0,44	0,64
	0,46	0,46	0,45	0,46	0,66
Válke Hanury	0,51	0,51	0,54	0,52	0,75
	0,73	0,75	0,73	0,74	1,06
	0,5	0,5	0,48	0,49	0,71
	0,51	0,51	0,53	0,52	0,74
	0,59	0,62	0,65	0,62	0,89
	0,66	0,7	0,66	0,67	0,97
	1,11	1,07	1,08	1,09	1,56
	1,21	1,23	1,25	1,23	1,77
1,63	1,62	1,55	1,60	2,30	

2. táblázat: A feltételezett zöldpala nyersanyaglelőhelyekről származó kőzetminták MS értékei



A mágneses szuszeptibilitás alapján a Mihály-gyűjteményben található zöldpala eszközök szuszeptibilitás értékeinek elemzése három lehetséges csoportot különített el.

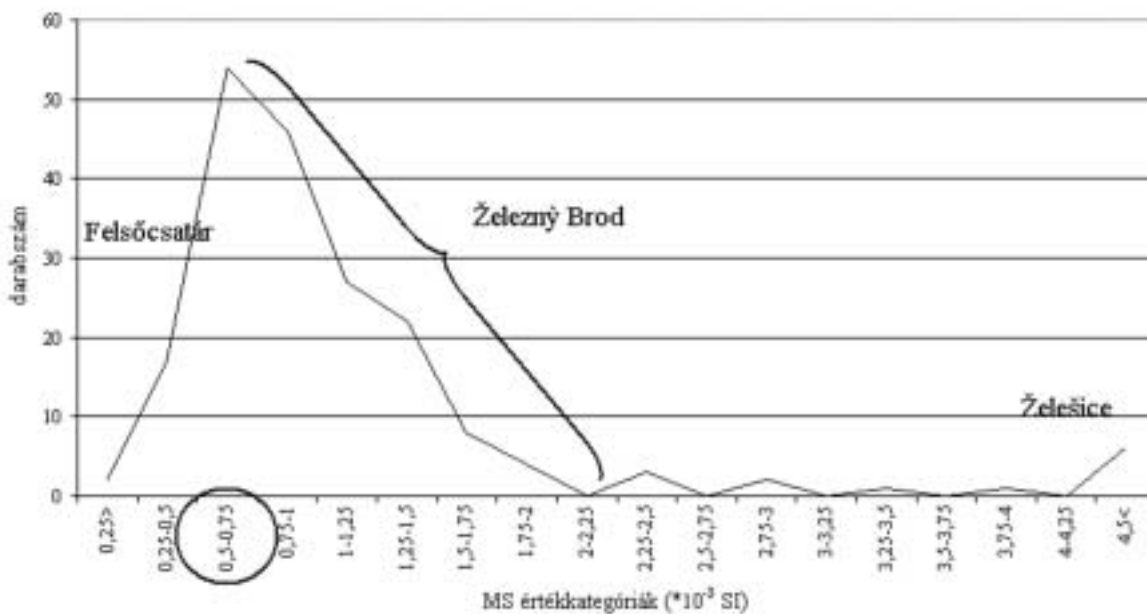
Leltári szám	Valódi MS ( $\cdot 10^{-3}$ SI)
55.986	31,52
55.909	60,59
55.1111	118,51
55.1115	119,43
55.1215	84,97
55.1059	130,33

**3. táblázat:** A Mihály-gyűjtemény feltehetően Želešice-ből származó zöldpala alapanyagból készült köeszközök mágneses szuszeptibilitás értékei

A legkisebb, átlagosan  $0,5 \cdot 10^{-3}$  SI egység körüli mágneses szuszeptibilitás értékeket mutató csoportba 13 darab eszköz sorolható. Ettől elkülönülő 160 példányszámú csoportot jelenthetnek az átlagosan  $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  SI egység átlagos mágneses szuszeptibilitást mutató köeszközök. E között a két utóbbi csoport között nehéz pontos határt húzni, alapjául a feltételezett nyersanyag származási helyek természetes feltárásaiból (Felsőcsatár:  $0,2 - 1,1 \cdot 10^{-3}$  SI; Železný Brod terület, Velké Hamry:  $0,7 - 2,5 \cdot 10^{-3}$  SI) származó kőzetminták átlag MS értékei szolgáltak. Ugyanezért ennek a két csoportnak a

kőzetei már makroszkóposan is jól elkülöníthetők egymástól. A harmadik köeszköz csoport, amely makroszkópos tulajdonságai alapján nagyon hasonló a Železný Brod terület kőzeteihez, feltűnően magas (átlagosan  $\sim 90 \cdot 10^{-3}$  SI egység) mágneses szuszeptibilitás értékeivel könnyen elválasztható a másik két alcsoporttól. Ez jól egyezik a Želešiceből származó kőzetminták magas ( $15 - 90 \cdot 10^{-3}$  SI) mágneses szuszeptibilitásával.

Az eszközök mágneses szuszeptibilitás értékei jól egyeznek Přichystal & Trnka (2001) által zöldpalákon mért, korrekció nélkül megadott különböző MS értékekkel, így lehetőség nyílt összehasonlító elemzésekre. Két eszköz esetén (Kamegg 124, 1024) alacsony, az általunk elkülönített első csoport értékeit közelítő eredményt kaptak ( $0,27; 0,31 \cdot 10^{-3}$  SI). Egy kőbalt – ütő (kalapács) (Strass 11) magasabb,  $3,52 - 3,56 \cdot 10^{-3}$  SI értéket mutatott. A negyedik, feltehetőleg Želešice, nagy magnetit tartalmú zöldpalájából készített eszközön (Kamegg 584) mérték a legmagasabb MS értékeket ( $21,2 - 22 \cdot 10^{-3}$  SI) (Přichystal & Trnka 2001). Ezek a kiugró értékek a Mihály – gyűjtemény MS értékek alapján „harmadik zöldpala alcsoportként (zöldpala XI.)” elkülönített, magas mágneses szuszeptibilitású köeszközök értékeihez hasonlíthatók. A fenti eredmények alapján Felsőcsatárról, Želešice-ből (Dél-Csehország) és Železný Brod (Észak-Csehország) feltárásaiból származó zöldpalák MS értékei jó egyezést mutatnak e három típus mágneses szuszeptibilitás értékeivel. Ezzel a másik két lelőhely mellett először sikerült kimutatnunk Želešice-ből származó zöldpalát a Mihály-gyűjteményben.



**6. ábra:** A zöldpala köeszközök MS értékeinek gyakoriságát bemutató diagram

## Összegzés

Vizsgálataink során nagy mennyiségű mágneses szuszceptibilitás mérést végeztünk a veszprémi Laczkó Dezső Múzeum tulajdonát képező Mihálydy-gyűjtemény csiszolt kőeszközein, illetve a kőeszközök feltételezett nyersanyaglelőhelyeiről származó mintákon. A valódi mágneses szuszceptibilitás értékek meghatározásához és a módszer gyakorlatban történő alkalmazhatóságához modellkísérleteket végeztünk. A vastagság korrekció kísérleti úton történő megállapításával, illetve az adott műszer (Kappameter KT-5) paramétereinek figyelembevételével meghatároztuk azokat a korrekciós értékeket, melyekkel egy konkrét kőeszköz valós MS értéke meghatározható.

A zöldpala anyagú eszközök esetén a korábban más módszerek (petrográfiai mikroszkópos vizsgálatok, PGAA kémiai elemzések) alapján elkülönített csoportok mágneses szuszceptibilitás értékeinek alapján is hasonló alcsoportokat kaptunk. Ezek jó egyezést mutatnak a feltételezett nyersanyaglelőhelyek értékeivel. Továbbá a petrográfiaiag nagyon hasonló dél- csehországi (Želešice) és észak- csehországi (Velké Hamry feltárás, Železný Brod terület) zöldpalák az MS

## Irodalom

EGERER F. & KERTÉSZ P. (1993): A kőzetek mágneses tulajdonságai in: Bevezetés a köztetfizikába, Akadémia Kiadó, pp. 309-322.

FÜRI J. (2003): Magyarországi bazalt kőeszközök archeometriai vizsgálata, Diplomadolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Közettani és Geokémiai Tanszék, Budapest, 67 p.

FÜRI, J., SZAKMÁNY, GY., KASZTOVSZKY, ZS. & T. BIRÓ, K. (2004): The origin of the raw material of basalt polished stone tools in Hungary. - *Slovak Geological Magazine*, **10**. pp. 97-104.

FÜRI J. & SZOLGAY ZS. (2000): A Mihálydy-gyűjtemény csiszolt kőeszközeinek petrográfiai vizsgálata, Tudományos Diákköri Dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Közettan – Geokémia Tanszék, Budapest, 58 p.

HORVÁTH T. (2001): Polished stone tools of the Mihálydy-Collection, Laczkó Dezső Museum, Veszprém (Archeogeological investigation), (A Mihálydy-gyűjtemény csiszolt kőeszközei (régészeti feldolgozás), in: Sites and stones: Lengyel culture in Western Hungary and beyond – review of current research, Veszprém, pp. 47-107.

KASZTOVSZKY, ZS. & SZAKMÁNY, GY. (1999): Prompt Gamma Activation Analysis of

értékek alapján határozottan elkülöníthetők, tehát sikerült kimutatnunk, hogy a Mihálydy-gyűjteményben a Cseh-masszívum mindkét jelentős zöldpala nyersanyaglelőhelyéről származó kőbalták egyaránt megtalálhatóak.

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a roncsolásmentes MS mérések jól kiegészítik, sok esetben pontosíthatják a kőeszközök makroszkópos petrográfiai meghatározásán alapuló csoportosítását. A feltételezett nyersanyaglelőhelyeken, illetve az adott feltárásokból vett mintákon mért, megfelelő korrekcióval feldolgozott MS értékek egy lehetséges kőeszköz – alapanyag – nyersanyaglelőhely kapcsolatrendszer feltárását segíthetik elő.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani Lipovics Tamásnak (ELTE TTK, Geofizika Tanszék) a Kappameter KT-5 kézi szuszceptibilitásmérő-műszer „kölszönzéséért”, Horváth Erzsébetnek (ELTE Természettudományi Tanszék) és a veszprémi Laczkó Dezső Múzeumnak a Mihálydy-gyűjtemény rendelkezésre bocsátásáért.

Neolithic greenschist polished stone tools. - Abstract of Archaeological Conference on the Research of the Lengyel Culture, October 11-13. 1999., Veszprém pp. 30-31.

KOCH S. & SZTRÓKAY K. 1989: Ásványtan I., Tankönyvkiadó, Budapest, IV.kiad., 405 p.

MIHÁLDY I. (1870): Jelentések. *Archeológiai Értesítő*, pp. 184-186.

MIHÁLDY I. (1871): Jelentések *Archeológiai Értesítő*, pp. 163-164.

MITHAY S. (1978): Mihálydy István régészeti gyűjtőtevékenysége (1833 - 1901), *Veszprém megyei Múzeumok Évkönyve XIII.*, pp. 7-15.

PŘICHYSTAL, A. (2000): Stone raw materials of Neolithic-Aeneolithic polished artefacts in Czech Republic: The present state of knowledge, *Krystalinikum* **26**. pp. 119–136.

PŘICHYSTAL, A. & GUNIA, P. (2001): Magnetic properties of Lower Silesian serpentinites and some serpentinite artefacts from SW Poland and Moravia *Slovak Geological Magazine* **7/4**, Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava, pp. 421-422.

PŘICHYSTAL, A. & TRNKA, G. (2001): Raw materials of polished artefacts from two sites in Lower Austria - *Slovak Geological Magazine* **7/4**, Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava, pp. 337-339.

RÉCSEY V. (1903): Egy értékes régiséggyűjteményről a Bakonyban, *Archaeológiai Értesítő* **23**. pp. 64-66.

RÓMER F. (1866): Műrégészeti kalauz, Magyar Tudományos Akadémia, Archaeológiai Bizottság, Pest.

SZAKMÁNY, GY., FÜRI, J., & SZOLGAY, ZS. (2001): Outlined petrographic results of the raw materials of polished stone tools of the Mihályd-collection, Laczkó Dezső Museum, Veszprém (Hungary). in: Regenye, J. (ed.): Sites and Stones: Lengyel Culture in Western Hungary and beyond. - Directorate of the Veszprém county Museums, Veszprém, pp. 109-118

SZAKMÁNY, GY. & KASZTOVSZKY, ZS. (2004): Prompt Gamma Activation Analysis: a new method in the archaeological study of polished stone tools and their raw materials. – *European Journal of Mineralogy*, **16**, pp. 285-295.

T. BIRÓ, K. & SZAKMÁNY, GY. (2000): Current state of research on Hungarian Neolithic polished stone artefacts. – *Krystalinikum* **26**. pp.21-37.

**Melléklet:** A Mihályd gyűjtemény kőeszközeinek közzétípusai és MS vizsgálati eredményei ([melléklet-táblázat](#))