

# A visegrádi királyi palota — egy archeomágneses esettanulmány<sup>1</sup>

MÁRTON PÉTER<sup>2</sup>, BUZÁS GERGELY<sup>3</sup>, SZŐKE MÁTYÁS<sup>3</sup>

*A visegrádi királyi palota területén 1934 óta folynak ásátások. Ezek nyomán több olyan objektum került napvilágra, amelyek archeomágneses vizsgálatra kínálkoznak még mai, esetleg részleges műemléki helyreállítás utáni állapotukban is. Összesen kilenc objektumon (három kemence, öt kandalló és egy szemeskályha maradvány) végeztünk ilyen vizsgálatokat, amelyek során egyrészt adatokat nyertünk az egyes objektumok eredetiségére, illetve rekonstrukciós állapotára, másrészt a földmágneses tér irányára vonatkozóan, nevezetesen az 1323–1366. és az 1544–1570. periódusokban.*

**P. MÁRTON, G. BUZÁS, M. SZŐKE: The royal palace of Visegrád — an archaeomagnetic case history**

*Excavations in the Royal Palace of Visegrád have been carried out since 1934. Several archaeological structures have come to light which lend themselves to archaeomagnetic studies even in their present state some of them after partial reconstruction. Such studies were carried out on a total of nine structures (three ovens and six fireplaces) as a result of which data were obtained for the full direction of the local geomagnetic field for two periods, namely 1323–1366 and 1544–1570 AD, as well as the geomagnetic inclination alone probably for the fourteenth century.*

## Bevezetés

A visegrádi királyi palota a XIV.—XV. századi magyar királyok egyik legfontosabb lakóhelye volt. A kor történelme és művészettörténete szempontjából oly nagy fontosságú épületegyüttes maradványainak minden részletét régészeti ásátások tárták fel. Az 1934 óta folyó ásátások kutatástörténetét, a feltárt épületek leírását, az építés és pusztulás történetének rekonstrukcióját, valamint a leletanyagot bemutató monográfiák közül egyelőre az első készült el, amely a palota kápolnájával és északkeleti épületével foglalkozik [BUZÁS 1994]. A délkeleti és az északnyugati épületek monografikus feldolgozása (még) folyamatban van.

A palota régészeti feltárásai során több „in situ” kandalló- és kemencemaradvány került napvilágra. Ezek részben a helyi vulkáni kőzetekből, andezitből, andezittufából, részben habarcsba vagy agyagba rakott téglákból és cserépedény-töredékekből készültek.

Ezen objektumok archeomágneses vizsgálatára azért kerítettünk sort, mert szerettük volna látni,

hogy jelenlegi állapotukban — némelyik részleges műemléki helyreállítás után — tartalmazznak-e még ma is olyan mágneses jegyeket, amelyek az illető tűzhely rendeltetésszerű használata idején rögződtek, tehát az egykori (XIV.—XV. századi) földi mágneses tér irányára adhatnak felvilágosítást.

## Termoremanens mágnesezettség

A keresett információt az ún. termoremanens mágnesezettség (TRM) hordozhatja.

Termoremanens mágnesezettsége (TRM) a természetes tűzi eredetű kőzeteknek van. Ilyen pl. az a miocén korú andezit, amelybe a visegrádi palota néhány épületét belevágták. A TRM a magmás kőzet nagy hőmérsékletről közönséges hőmérsékletre történő hűlésekor jön létre a kőzetben, a hűlés idején ható földi mágneses tér irányával párhuzamosan. A TRM közönséges hőmérsékleten stabilis mágnesezettségi forma, azaz hosszú ideig változatlanul megmarad. Méréseivel így képet alkothatunk a földi mágneses tér irányáról, illetve annak változásairól minden olyan földtani időben, amelyet a felszínen magmás kőzetek reprezentálnak.

A TRM mint fizikai tulajdonság szerencsére nem korlátozódik a tűzi eredetű kőzetekre, hanem velejárója szinte minden, eredetileg agyagból készült tárgynak, eszköznek, objektumnak, amelyet vala-

<sup>1</sup>Beérkezett: 1996. január 22-én

<sup>2</sup>ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.

<sup>3</sup>Mátyás király Múzeum, H-2025 Visegrád, Fő u. 23.

mikor kiégették, sőt azoknak is, amelyek pl. egy tűzvészben esetleg véletlenül égtek ki. Ilyenek egy-egy régészeti ásatás nyomán tömegesen kerülnek napvilára. Ezen leletek közül a legértékesebbek a helyben maradt objektumok, objektum részletek, mivel ezek TRM-jének iránya közvetlenül azonosítható az egykori földmágneses tér irányával. A hazai archeomágneses adatok szinte teljes mértékben a különféle rendeltetésű kemencék és tűzhelyek TRM-jeinek mérésével keletkeztek [MÁRTON 1995]. Egy ilyen, kettős tapasztású sütőfelülettel rendelkező kemence Visegrádon is előkerült és a beszámolóban szerepelni fog. A következő említésre méltó csoportot a különféle rendeltetésű téglák alkotják. A téglák eredeti TRM-jüket a kiégetést követő hűlés idején nyerték. A maitól nem nagyon eltérő alakú téglákat valószínűleg az egyik hosszú élükre állítva égették ki és utólag bárhová is kerültek beépítésre, az égetés nyomán keletkezett TRM-jüket mindaddig megőrizték, amíg hasonló felmelegítés hatásának nem voltak kitéve. Más kérdés, hogy téglák esetében a földmágneses tér irányát közvetlenül csupán a téglák éleihez képest tudjuk rekonstruálni. A Visegrádon feltárt kandallók, és a fürdő kemencéi is részben vagy teljesen téglából épültek. Az objektumok használatakor a tűztérben nagy hőmérsékletet tartottak fent. Ha a hőmérséklet elérte a téglák eredeti égetési hőmérsékletét, akkor azok korábbi TRM-jüket teljesen elfelejtették és az egész struktúra új TRM-et vett fel a használat idején ható mágneses térben. Amennyiben a használat során a hőmérséklet a kemence vagy kandalló belsejében mindig kisebb volt, mint a téglák égetési hőmérséklete, akkor az égetéskor nyert TRM-nek azon része helyébe, amelyet a téglák az eredeti égetést követően e hőmérséklet alatt vettek fel új, ún. parciális TRM lépett. Pl. egy kandallóba épített téglá esetében, amelyet eredetileg nagy hőmérsékleten ( $T_1 \geq 600 \text{ }^\circ\text{C}$ ) égették ki, majd a kandalló használatára csupán  $T_2 = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig hevült fel, a téglá ma mérhető TRM-je ( $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on) egyenlő lesz az eredeti égetéskor  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  és  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  között rögződött, valamint a használat nyomán  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  és  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  között felvett parciális TRM-ek vektori összegével. A parciális TRM-ek additivitása teszi lehetővé ezek szétválasztását és azonosítását. Ha a vizsgált mintát  $T_2 \leq T_1$  hőmérsékletre hevítjük, majd a földi mágneses tér kizárásával szobahőmérsékletre lehűtjük, akkor a minta TRM-jének  $T_2$  és  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  között felvett részét elveszti, míg a  $T_1$  és  $T_2$  között képződött részt megtartja. Ha a kísérletet kellően sok lépésben végezzük és a  $T_2$  hőmérsékletet fokozatosan emeljük, vagyis

$$T_0 < T_2^1 < T_2^2 < \dots < T_2^n = T_1 (= 600^\circ\text{C}),$$

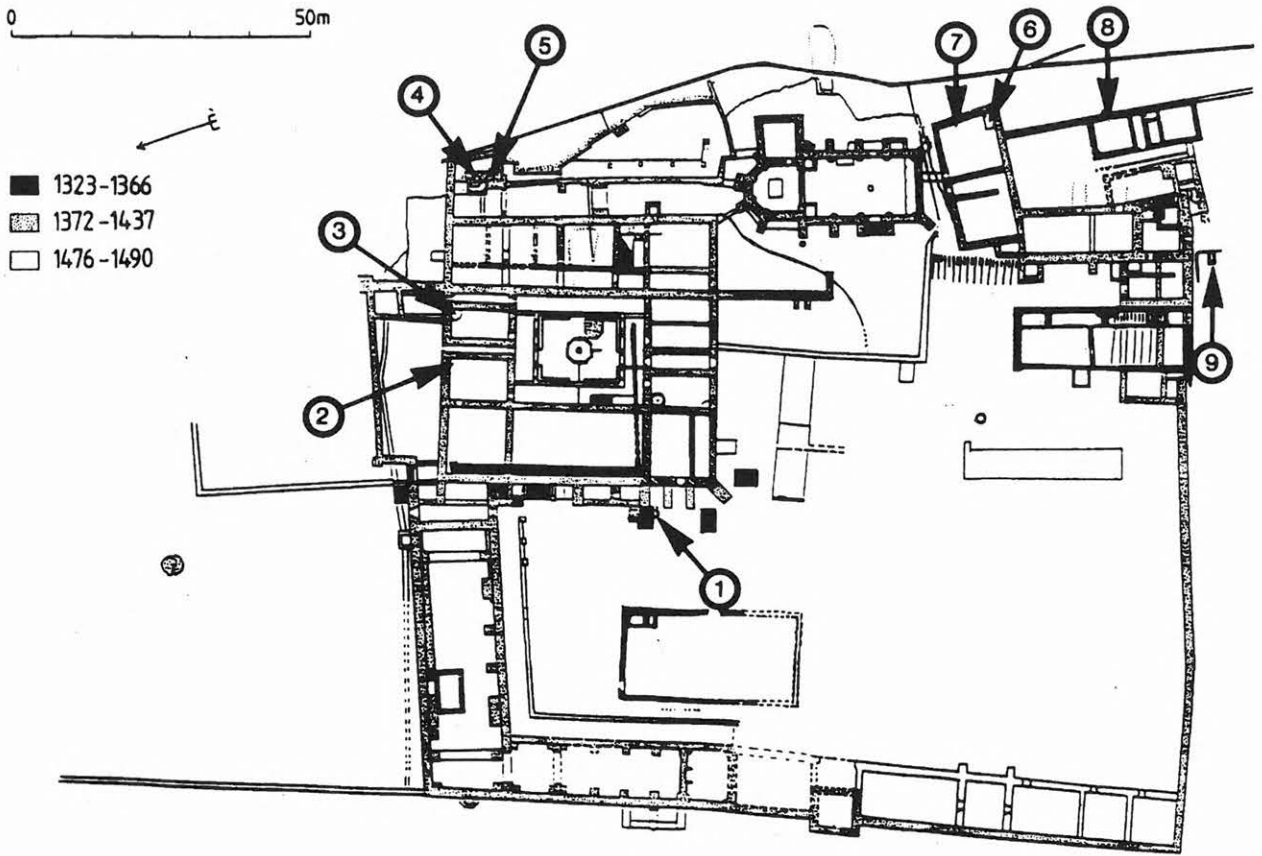
akkor a teljes TRM spektrum feltárható, illetve kedvező esetben a parciális TRM-ek irányai is meghatározhatók. Példánkra visszatérve világos, hogy a  $T_2 \leq 400 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig eltávolított komponens iránya az utolsó használatkor ható földmágneses tér irányával azonosítható, a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  fölött megmaradó komponens pedig a téglá eredeti kiégetésével került a mintába. Következtetéseinket objektumonként, több minta vizsgálatára alapozzuk. Az eredményeket, vagyis az azonosított TRM komponens(ek) átlagos irányát az ún. földmágneses koordináta-rendszerben a deklináció és az inklináció szögekkel adjuk meg. A deklináció ( $D$ ) a TRM vízszintes komponensének északi iránnyal bezárt szöge, az inklináció ( $I$ ) a TRM irányának vízszintessel bezárt szöge. Minthogy egy-egy izolált és azonosított TRM párhuzamosnak vehető az indukáló (létrehozó) földmágneses tér irányával, ezek a szögek egyben az egykori földmágneses tér irányának becslését is jelentik. A becslés statisztikai jellemzésére FISHER [1953] nyomán a pontosságot ( $k$ ), illetve a szögek 95 %-os megbízhatósági intervallumait használjuk ( $\pm dD^\circ$ ,  $\pm dI^\circ$ ). A statisztikát egy-egy csoporton belül a függetlenül orientált minták számára alapozzuk. A  $N = 6/12$  jelölésben az első ezt a számot mutatja, a törtvonal utáni szám pedig azt, hogy hány mintán végeztünk részletes méréseket.

## Mintavétel

A visegrádi palota területén feltárt kemence és kandalló maradványok közül archeomágneses mérések céljából kilenc darab került megmintázásra; öt az északkeleti, négy a délkeleti palota területéről. A minták orientálását minden esetben mágneses tájolóval végeztük el.

*Az északkeleti palota területén a következő maradványokból vettünk mintákat (1. ábra):*

1. Kb. 1,5 m átmérőjű kenyérsütő(?) kemence tapasztott sütőfelületei. A felső, megújított sütőfelületből 6, az alsó, edénytöredékekre épített sütőfelületből 11 mintát vettünk. A kemencét 1323 és 1366 között használhatták.
2. Sarokkandalló az É/1 (ld. [BUZÁS 1994] 48. old.) helyiség északkeleti sarkában. Eredetinek látszó vakolatban rögzített 8 db téglaminta plusz 1 db vakolatba ragadt andezitminta a kandalló északi függőleges falából. A kandallót 1470 és 1490 között szüntették meg.



1. ábra. A visegrádi királyi palota periodizált alaprajza az archeomágneses mintavételi helyekkel. A számozott nyilak a mintavételi helyekre mutatnak

Fig. 1. Periodized plan of the Royal Palace of Visegrád with the archaeomagnetic sampling sites. Arrows point to the sampled objects

3. Sarokkandalló az É/3 (1. [BUZÁS 1994] 48. old.) helyiség északkeleti sarkában. Padkáját egy műemléki helyreállítás alkalmából felújították. Az első mintavételkor a padkából (3 tégl), valamint a felmenő falakból eltávolítható andezit (2 db) és téglamintákat (3 db) gyűjtöttünk, majd amikor ezek közül négy minta eredménytelennek bizonyult, akkor az újabb mintavételt a keleti falnak egy  $0,3 \times 0,5$  m-es szakaszára koncentráltunk, amelyből 5 db, eredetinek látszó vakolatban rögzített téglamintát távolítottunk el. A kandallót a palota pusztulásáig használhatták, amely 1544 és 1570 közé keltezhető.
4. Kerek alaprajzú, téglából épített vízmelegítő kemence. A Fürdő északi kemencéje. Jelenleg 14 téglasor látszik. Mintáinkat a nyílástól eltekintve, körben egyenletesen elosztva az alulról számított 2.–12. téglasorokból gyűjtöttük, összesen 19

darabot. A kemencét a palota pusztulásáig használhatták.

5. Szabálytalan téglalap alakú, téglából épített kemence. A Fürdő déli kemencéje. Jelenleg 12 téglasor látszik. Mintáinkat az alulról számított 2.–12. téglasorokból a hegyoldali (keleti) (5 db) és vele szemben lévő (nyugati) (3 db) falból vettük. A kemencét a palota pusztulásáig használhatták.

Mintavétel a délkeleti palota területén:

6. Sarokkandalló az északi, ún. Kandallós terem délkeleti sarkában. A kandalló téglából készített padkájából 8 db mintát gyűjtöttünk. A kandallót a palota pusztulásáig használhatták.
7. Kandalló az északi, ún. Kandallós terem keleti falának középső részén. Az Anjou-korban működhetett. 1390 után lerombolták és levakolták.

A 7 falból kivett mintából 2 andezit, a többi pedig téglá.

8. Kandalló a felső udvar déli épületéből. A kandalló padkája habarcsba rakott téglákból áll. A téglák alatt mintegy 2 cm vastag habarcsréteg található. A habarcs alatti föld is vastagon átégett. Mintáinkat (6 db) a padkából vettük. A kandallót a palota pusztulásáig használhatták.
9. XIV. századi 3 periódusú nagy szemeskályha maradványai. Az utolsó megújítás tűztér alatti tégláépítményéből vettünk 8 db mintát. A struktúra pusztulása a XIV. század végére tehető.

### Az archeomágneses vizsgálat eredményei

A mintavételi helyek sorrendjét tartva, a következő eredményekre jutottunk.

1. A kemence mindkét sütőfelülete megőrizte a használat idején felvett mágnesezettségét. A megújított, azaz a felső sütőfelület kevésbé égett át, mint az eredeti, alsó réteg. Ennek köszönhető, hogy az alsó réteg a felső használat idején nem mágneseződött át. Az alsó réteg TRM-je 300 °C (500 °C-ig) után

$$N=11/11, D=16,3\pm 2,9^\circ, I=59,1\pm 1,5^\circ, \\ k=874,$$

a felső rétege 200 °C, illetve 130 °C után

$$N=6/12, D=10,7\pm 4,5^\circ, I=59,5\pm 2,5^\circ, \\ k=713.$$

A deklináció kismértékű időbeli csökkenése összhangban van eddigi ismereteinkkel, noha a két sütőfelület használata között nem sok idő telhetett el.

2. Sarokkandalló, É/1 terem. A téglaminták közül egyedül a legfelső mutat olyan, viszonylag kis hőmérsékletű mágnesezettségi komponens, amely a kandalló használatához kapcsolható. A többi téglaminta mágnesezettségét nem a kandalló működésének idején vette fel, hanem valószínűleg még a téglák eredeti kiégetésekor, ui. mindegyik TRM-je gyakorlatilag egyetlen komponensből áll, ami nagy hőmérsékletű felmelegítés hatására sem változtat irányt. Ugyanakkor az „in situ” mágnesezettségi irányok egymástól és a földi mágneses tér várható irányától is nagymértékben eltérnek. Az andezit-minta mágnesezettsége kétkomponensű, azonban a kandallóhoz köthető kis hőmérsékletű összetevő a

mágnesezettség zömét adó geológiai (harmadkori) komponenshez képest olyan kicsiny, hogy pontos meghatározására nincs mód. Mindezek alapján állítható, hogy a kandalló a megmintázott falszakaszon ásatás utáni rekonstrukció. A felhasznált téglák eredeti égetéskor felvett TRM-jei konzisztensek és korábbi középkori, (korai Anjou?) kiégetésre utalnak:

$$N=8/8, D=\text{ismeretlen}, I=54,9\pm 2,9^\circ, \\ k=728.$$

3. Sarokkandalló, É/3 terem. A mérések egyértelművé tették, hogy a padkából vett téglaminták valóban műemléki helyreállításakor kerültek a helyükre és valószínűleg az egyik, falban lévő téglá is. A többi minta TRM-je kétkomponensű. A használathoz köthető összetevő az

$$N=9/18, D=10,4\pm 5,6^\circ, I=66,7\pm 2,2^\circ, \\ k=548$$

paraméterekkel jellemezhető. Ez a komponens a téglában 100° és 400 °C között, az andezitekben 400—500 °C-ig maradt meg. A téglák égetési komponensével irányát nem analizáltuk, miután a mintavételkor a téglák éleit nem tudtuk egyértelműen orientálni.

4. Kerek alaprajzú kemence, fürdő, északi medence. A kemence keleti feléből kilenc téglamintát vettünk. E minták közül három kétkomponensű TRM-et hordoz. A nagy hőmérsékletű komponens a téglák égetésekor blokkolódott. A kis hőmérsékletű, használati komponens viszont tisztán csak két mintában volt elkülöníthető 100° és 300 °C között. A további hat mintában a TRM egyetlen komponensből áll, ami oly mértékű használati felmelegedésről tanúskodik, hogy az eredeti égetési komponens teljesen felülíródott. A kemence nyugati oldalából vett 10 téglaminta közül háromnak olyan a mágnesezettsége, hogy sem az eredeti égetéssel, sem a használattal nem hozható kapcsolatba. E minták az égetés után a jelenlegitől eltérő helyen és pozícióban kerültek újból felmelegítésre. A többi hét mintát viszont mai helyükön vagy egyáltalán nem érte hőhatás, vagy csak jelentéktelenül kicsiny. Úgy tűnik tehát, hogy a nyugati oldal archeomágnesesen vizsgált középkori téglái műemléki helyreállítás során kerülhettek a kemencébe.

Így a használati TRM a kemence keleti oldalára kapott eredmények figyelembevételével



$$N=8/8, D=6,2\pm 7,7^\circ, I=67,7\pm 2,9^\circ, \\ k=362,$$

az égetési komponens pedig két nyugati oldali és nyolc keleti oldali rekonstrukciós téglaminta alapján

$$N=10/10, D=\text{ismeretlen}, I=58,1\pm 2,5^\circ, \\ k=2776.$$

5. Szabálytalan téglalap alakú kemence. Fürdő, déli kemence. Használati TRM komponens egyetlen, a kemence alsó részéből (2 sor) vett mintában nyomozható. Ebben és további öt mintában viszont konzisztens égetési TRM-et mértünk, amely az

$$N=6/6, D=\text{ismeretlen}, I=58,2\pm 3,5^\circ, \\ k=2270$$

adatokkal jellemezhető. Itt újra — ugyanúgy, mint a kerek kemence nyugati oldalán — műemléki helyreállítás nyomaival állunk szemben, amelynek mértékéről további részletes mintavétellel és archeomágneses méréssel szerezhetünk bővebb információt.

6. Sarokkandalló az északi ún. Kandallós terem délkeleti sarkában. A kandalló használatához minden mintában a 130° és 420 °C között távozó TRM-komponens rendelhető, amely a következő:

$$N=8/8, D=7,2\pm 8,0^\circ, I=66,5 \pm 3,2^\circ, \\ k=303.$$

A 420 °C felett megmaradó TRM mintánként változó erősségű égetési komponens lehet, de ennek analizálására nincs mód, mivel mintavételkor a téglák éleinek orientációját a padkában nem rögzítettük.

7. Kandalló az északi, ún. Kandallós terem keleti falának középső részén. A két andezitminta eredeti, geológiai TRM-jét a kandalló használata alig érintette. Annyira biztosan nem, hogy a használati komponens egyértelműen definiálható legyen. A téglák közül kettő rekonstrukciós, a maradék három viszont egy 100 °C és 500 °C között eltávozó konzisztens TRM-et hordoz, amelynek paraméterei

$$N=3/6, D=5,2\pm 8,0^\circ, I=68,8\pm 2,9^\circ, \\ k=1848.$$

E mágnesezettség eredetére nézve mind az utolsó használat idején felvett TRM, mind pedig a palota pusztulását előidéző 1544-es tűzvész hatására létrejövő TRM szóba jöhet (1. Értékelés).

8. Sarokkandalló a déli terem északkeleti sarkában. Három mintában 300 °C alatt, a többiben — amelyek a használat során jobban átégtek — 300 °C és 500 °C között lehetett ugyanazt a TRM komponens izolálni, amelynek paraméterei

$$N=6/8, D=5,0\pm 8,0^\circ, I=65,7\pm 3,3^\circ, \\ k=423.$$

Az elsőnek említett három mintában a nagyobb hőmérsékletű komponens nyilván az égetéskor jött létre, de ennek irányát, miután a téglák éleit mintavételkor nem orientáltuk, nem tudjuk reprodukálni.

9. XIV. századi három periódusú nagy szemeskályha maradványai. Összhangban azzal, hogy a kályha maradványa a tűztér alatti alépítmény, amely a használat folyamán nem melegedett fel, egységes kis hőmérsékletű TRM nem volt mérhető. 200 °C felett azonban minden mintában megmutatkozott az eredeti égetési TRM. Egyetlen, kissé kiugró adattól eltekintve ez az

$$N=9/9, D=\text{ismeretlen}, I=56,7\pm 2,7^\circ, \\ k=2604$$

paraméterekkel jellemezhető, míg az összes mintából

$$N=10/10, D=\text{ismeretlen}, I=55,5\pm 2,5^\circ, \\ k=911$$

statisztikailag azonos eredmény adódik.

## Értékelés

A visegrádi archeomágneses vizsgálatok nyomán új földmágneses adatokat nyertünk, amelyek hasznosan egészítik ki a tér évszázados változására vonatkozó ismereteinket.

Az Anjou-kori kemence (1. mintavételi hely) archeomágneses irányai összhangban vannak a Csongrád-Várhát-i, 1300 körülre datált [LŐRINCZI G., szóbeli közlés] nagy téglaegető és az óbudai Clarissa-kolostor területén feltárt, 1350 körül műkö-

dő [ALTMANN J., szóbeli közlés] mészégető kemencék archeomágneses irányával.

Az, hogy a visegrádi kemence felső sütőlapjából meghatározott deklináció néhány fokkal kisebb, mint a korábban használt alsó sütőfelület mérésével kapott érték, szintén összhangban van a deklináció csökkenő trendjével a XIV. század folyamán.

A kemence után korban az 1390-ben megszüntetett kandalló (7. mintavételi hely) és nagy szemeskályha (9. mintavételi hely) következnek. A szemeskályha aljzatát képező téglák, amelyeken a méréseket végeztük, kiégetése ennél nyilván korábban történt; adataink a kiégetés időpontjára a palota építésének kezdetét sugallják. A kandalló archeomágneses inklinációja ( $I \sim 69^\circ$ ) viszont túlságosan meredek ahhoz, hogy a XIV. század végére lenne keltezhető, de erre a kérdésre még visszatérünk.

A Mátyás-korban megszüntetett kandalló (2. mintavételi hely) megmintázott téglái akkor kerültek mai helyükre, amikor a kandallót már nem használták, és a tüzeléstől sérült hátfalát kijavították. A felhasznált téglák kiégetése a palota építésének kezdetére tehető.

Az eddig fel nem sorolt objektumokat (3., 4., 5., 6., 8. mintavételi helyek) a palota pusztulásáig használták, ami az 1544 és 1570-es évek közé tehető. Ezen kemencék és kandallók közül csak az 5. mintavételi helyen nem sikerült használathoz köthető TRM-et kimutatni, ami egy későbbi részletesebb mintavétellel valószínűleg orvosolható lesz. A 3., 4., 6. és 8. objektumok használati TRM irányai meglehetősen egyveretűek, tehát közel egyidejű keltezésre utalnak. Jellemzőjük a XIV. századinál mintegy  $10^\circ$ -kal meredekebb inklináció. Ennek alapján feltelezhető, hogy a 7. mintavételi hely mágneszettsége is a palota pusztulásával datálható és tűz-

vésznek köszönhető. Ez utóbbi öt objektum mágneszettségének átlagos irányát az

$$N=5, D=6,8 \pm 3,6^\circ, I=67,1 \pm 1,4^\circ, \\ k = 3026$$

paraméterek jellemzik, vagyis 1544 és 1570 között a földmágneses tér Visegrádon feltehetően ilyen irányú volt.

A fürdő téglából épített kemencéiben (4. és 5. mintavételi helyek) kimutatott eredeti égetési TRM inklinációja  $58^\circ$ -nak adódott, amely néhány fokkal nagyobb érték, mint az eddig említett égetési inklinációk. Az égetési komponens inklinációjának növekedésében korszakok tükröződnek; a nagyobb inklináció az égetést kissé későbbre keltezi.

Összefoglalásként megállapítható, hogy a visegrádi romok, még mai — esetleg részbeni rekonstrukció utáni — állapotukban is tartalmaznak olyan objektumokat, amelyek archeomágneses vizsgálatra alkalmasak és amelyek gondos analízisével adatok nyerhetők egyrészt a földmágneses tér történetére, másrészt maguknak az objektumoknak az állapotára (eredeti vagy rekonstruált) vonatkozólag.

## HIVATKOZÁSOK

- BUZÁS G. (szerk.) 1994: A visegrádi királyi palota kápolnája és északkeleti épülete. Visegrád régészeti monográfiái I. Visegrád 1994
- MÁRTON P. 1995: A földmágneses tér irányának változásai Magyarországon az archeomágneses mérések szerint. Magyar Geofizika **36**, 121–124
- FISHER R. A. 1953: Dispersion on a sphere. Proc. R. Soc. London, Ser. A. **217**, 295–305