

TERRAKOTTA MŰALKOTÁSOK EREDETISÉGVIZSGÁLATA ÉS KORMEGHATÁROZÁSA TERMOLUMINESZCENS MÓDSZERREL, SZÉPMŰVÉSZETI MÚZEUM, BUDAPEST

SIPOS GYÖRGY¹, PAPP SZILÁRD²

¹Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

E-mail: gyuri@earth.geo.u-szeged.hu

²Szépművészeti Múzeum, Régi Szobor Gyűjtemény, 1146 Budapest, Dózsa György út 41.

E-mail: szpapp@szepmuveszeti.hu

Abstract

The Collection of Old Sculptures, Museum of Fine Arts, Budapest owns a widely acknowledged selection of terracotta sculptures. In our research we investigated the age of 22 artefacts with the means of thermoluminescence. The main question was whether the studied sculptures are of Renaissance, Baroque or Modern age.

Equivalent dose values were determined by using the Multiple Aliquot Additive Dose Protocol. Environmental dose rate was calculated on the basis of μ XRF and ICP-AES measurements and estimation of material parameters. As a consequence the error of the received ages was around 20%. However, modern copies could be filtered with great confidence, and in most of the cases thermoluminescence enabled the differentiation of Renaissance and Baroque artworks.

Kivonat

Termolumineszcens (TL) vizsgálatainkat a Szépművészeti Múzeum Régi Szobor Gyűjteményének 22 db terrakotta műalkotásán végeztük. A lumineszcens mérések elsődleges célja annak meghatározása volt, hogy a vizsgált műtárgyak eredetiek-e, azaz reneszánsz, illetve barokk koriak, avagy a XIX. században keletkeztek.

Méréseink során az ún. hozzáadott dózis módszert alkalmaztuk, végeredményeink 20% körüli hibát mutattak, ami lehetővé tette a reneszánsz és a barokk alkotások elkülönítését is. A lumineszcens módszer és a művészettörténeti meghatározás az esetek döntő többségében (17 db tárgy) összeesngött, ami igazolta mérés-technikai megközelítésünk helytállóságát. A fennmaradó tárgyak kapcsán a TL vagy a művészettörténeti háttér felülvizsgálata hozhat eredményt.

KEYWORDS: TERRACOTTA, TL DATING, MULTIPLE ALIQUOT ADDITIVE DOSE PROTOCOL, RENAISSANCE, BAROQUE

KULCSSZAVAK: TERRAKOTTA, TL KORMEGHATÁROZÁS, HOZZÁADOTT DÓZIS MÓDSZER, RENESZÁNSZ, BAROKK

Előzmények

A terrakotta és felhasználása

Az agyag a legrégebb anyagok közé tartozik, melyet plasztikus formák előállításához felhasználtak. A nedves agyagnak ugyanis számos gyakorlati előnye van a fémhez vagy a kőhöz képest: 1) meglehetősen könnyű a megformálása; 2) a kívánt tárgy elkészítésének ideje előbbi tulajdonsága miatt jelentősen csökkenhet; 3) a formák megváltoztatása, korrigálása a munka közben viszonylag egyszerű; 4) ráadásul az agyag mindig is jóval olcsóbb volt, mint számos más, hasonló célra felhasznált anyag. Az agyag kiegészítése a tárgy tartósabbá, illetve ellenállóbbá tétele céljából egyidős a felhasználásával. Az égetett agyagot terrakottának (is) hívják. Művészettörténeti értelemben elsősorban azon tárgyakat nevezzük terrakottának, amelyek a szobrászat műfajába sorolhatók.

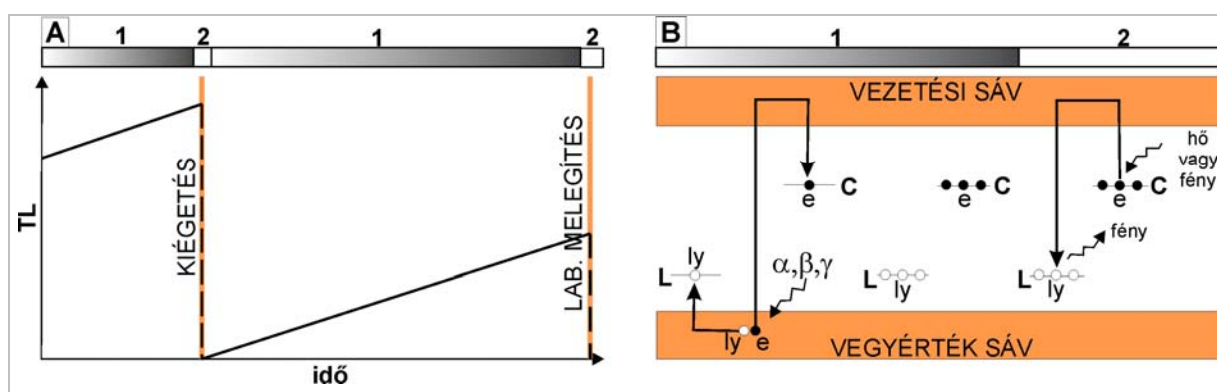
Szobrok előállítása égetett agyagból már az őskortól ismert, s e technika – természetesen helytől és időtől függően eltérő mértékben – egészen napjainkig használatos. Az antikvitásban való széleskörű felhasználása után a terrakotta a középkornak csak a vége felé kezdett kedvelté válni az európai szobrászatban. Már ekkor bizonyosan alkalmazták modellek készítéséhez, sőt valószínűleg sorozatgyártáshoz is, de a fennmaradt emlékek túlnyomó részét festett, sejtetően a fa- és kőszobrok imitálásaként készült egyedi alkotások teszik ki (Kammel 2002). Az anyag és lehetőségei iránti érdeklődés az itáliai reneszánsz szobrászatában jelentősen megnőtt. Szerepe volt ebben a XIV. századtól nem csak az Alpoktól északra, de Itáliában is kimutatható, részben az építészethez kötődő középkori gyakorlatnak, a kerámia használati tárgyak egyre szélesebb körű elterjedésének, és természetesen az antikvitás iránti fokozott érdeklődésnek is.

Terrakotta tárgyak felfedezése az antik emlékanyagban, illetve az agyagnak, mint a szobrászatban használatos anyagnak az említése írott forrásokban (elsősorban id. Pliniusnál) ugyanis szintén hozzájárult ahhoz, hogy egyre nagyobb méretekben használják az anyagot és a technikát (Boucher 2001).

Nem csak arról volt azonban szó, hogy a terrakotta használata mennyiségileg megnőtt, hanem hogy az itáliai szobrászatban a XV. századtól kezdve a korábbiaknál szélesebb felhasználási köre kezdett kialakulni. Természetesen készültek terrakottából ki-, vagy felállításra szánt egyedi szobrok – mindenféle méretű körszobrok és domborművek –, de szerepe lehetett a szobrászok képzésében, ahol az agyag olcsósága és gyors megmintázása miatt a tanulmánydarabok készítéséhez volt célszerű a használata. Gyakran alkalmazták monumentális művek modelljeinél, melyek készülhettek előtanulmányként, de szolgálhattak prezentációs anyagnak is a megrendelő felé. Használata feltűnt kész alkotások kicsinyített formában történő másolásánál, és formába nyomva gyakorta vették igénybe sorozatgyártásnál is. Plasztikus műalkotások reprodukciós eljárással történt előállításánál a fém mellett a másik legfontosabb anyaggá vált. E sokrétű felhasználással együtt járt az anyagkezelés különféle módozatainak az elterjedése is. Kis méretű, nem hosszas használatra szánt agyagszobrokat elég volt kiszárítani, nem kellett feltétlenül kiégetni, ami nagyobb alkotásoknál elengedhetetlen volt, mérettől és megformálástól függően gyakran több darabban is. A szobor felületét lehetett festeni, akár bronz vagy

márványfelületet is imitálva, a XV. század közepén pedig megjelent a mázzal ellátott terrakotta, amely attraktivitása mellett az időjárási körülményektől is jobban védett (Hubbard & Motture 2001). A terrakotta gyakorlati megítélése főleg az anyag olcsósága és a gyorsabb munkamenet miatt a XV. századtól tehát jóval kedvezőbb lett, „részesedése” a szobrászatban belül megnőtt. A márvánnyal vagy a bronzal azonban soha nem vált egyenértékű, „nemes” anyaggá, használatát mindig is inkább a praktikus szempontok, például a piac kibővítésének a lehetősége befolyásolták. Úgy tűnik, reneszánsz terrakotta művek másolásával, és – nyilván a piaci igények felismerésének köszönhetően – hamisításával is, a XIX. század közepén már javában foglalkoztak Itáliában (Kurz 1961; Fleming & Stoneham 1973).

A század második felében a nagy gyűjtemények már egyre kevésbé jutottak főművekhez, melyek ára ráadásul egy részük számára elérhetetlenné vált, így nagyobb mennyiségben kezdtek el „értéktelenebb” anyagokból, köztük terrakottából készült szobrokat is vásárolni. A felmerülő igényt a piac – részben a kínálat beszűkülése miatt – nyilvánvalóan egyre inkább hamisítványokkal is megpróbálta kielégíteni, aminek eredményeként a XIX. században kialakult, vagy akkor is bővített jelentősebb gyűjteményekben ma tucatjával lehetnek modern hamisítványok. Ezek felismerése művészettörténeti eszközökkel a terrakotta felhasználásának sokfélesége, az egykori másolásban betöltött szerepe és a jelentősen ingadozó minőség miatt is számos esetben nem kis nehézségbe ütközik.



1. ábra (A) A lumineszcens (TL) jel változása félvezetőkben (pl.: földpát, kvarc ásványok) az idő függvényében: 1) TL növekedés, 2) TL nullázódás a kiégetés, illetve később a laboratóriumi melegítés hatására. (B) A fenti események során tapasztalható folyamatok a kristályrácsban: 1) a TL jel felhalmozódása során a vegyérték sávban található elektronok a radioaktív ionizáció hatására elmozdulnak, illetve elektron/lyuk párokat képeznek, melynek tagjai a kristályrács hibáihoz kötődve külön-külön csapdázódnak; 2) a nullázódás során, hő vagy fény általi gerjesztés hatására az elektronok kiszabadulnak csapdáikból, és a vezetési sávon keresztül az ellentétes töltésű lyukakkal lumineszcens központokban rekombinálódnak. A folyamat energiavesztéssel jár, amely fotonleadás formájában megy végbe. (e: elektron, ly: lyuk, C: csapda, L: lumineszcens központ) Aitken 1998 és Boetter-Jensen et al. 2003 alapján.

A termolumineszcencia

A termolumineszcencia (TL) jelensége félvezető ásványok (esetünkben a terrakottát felépítő földpátok és kvarc) azon tulajdonságához köthető, hogy az izzáshoz szükségesnél számottevően kisebb hő hatására fényt bocsátanak ki, aminek intenzitása arányos az általuk korábban elnyelt radioaktív dózis nagyságával. A TL módszer segítségével gyakorlatilag az határozható meg, hogy a vizsgált anyagot mikor érte utoljára hőhatás (azaz a terrakotta mikor volt kiégetve), ekkor ugyanis a korábban kialakult TL jel nullázódik, ezt követően azonban újból megindul felhalmozódása (**1a. ábra**) (Aitken 1985, Aitken 1998, Boetter Jensen et al. 2003).

A TL kialakulásában döntő szerepe van a vizsgált kristályokban, illetve a környezetükben található természetes radioaktív elemek (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{87}Rb , ^{40}K) bomlásából származó sugárzásnak, valamint a kozmikus sugárzásnak. Ezek ugyanis a kristályrácsokban található töltéseket magasabb energiaszintre emelik, ahol azok egy része csapdázódik. Ezen folyamat hatására a kristályrács mintegy rögzíti az őt ért összes dózis nagyságát (**1b. ábra**). Az anyagban egységnyi idő alatt elnyelt dózist *dózteljesítménynek* (*dose rate*) nevezzük, amely a radioaktív elemek koncentrációjából, valamint bizonyos anyagminőségbeli paraméterek alapján számítható.

A kristályokban elnyelt dózis összes mennyiségére a TL mérések segítségével indirekt módon következtethetünk, az alábbi összefüggéseket alapul véve: 1) a TL stimulálás során leadott fotonok száma arányos a korábban csapdázódott töltések számával, 2) a csapdázódott töltések száma pedig arányos az elnyelt összes dózissal, vagy *paleodózissal* (*palaeodose*). Miután indirekt módon meghatároztuk a paleodózis laboratóriumi megfelelőjét az ún. *egyenérték dózist* (*equivalent dose*), valamint a dózteljesítményt, a kiégetés óta eltelt idő az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$\text{Kor (ka)} = \frac{\text{egyenérték dózis (Gy)}}{\text{dózteljesítmény (Gy/ka)}}$$

Az első sikeres kormeghatározási kísérletek régészeti tárgyakon, illetve kerámiákon az 1960-as évek végére tehetők (Fleming 1966, Zimmermann 1967, Aitken et al. 1968, Mejdahl 1969). Ezekben a munkákban írták le a TL, majd később az OSL (optically stimulated luminescence) kormeghatározás során alkalmazott két alapvető megközelítést: 1) a polimineralis finom szemcseméret frakción (polymineal fine grain) (Zimmermann 1971), illetve 2) a kvarc anyagú durva szemcseméret frakción végzett vizsgálatokat

(quartz inclusion coarse grain) (Fleming 1966, 1970). A kis mennyiségű anyagot feltételező vizsgálatok esetében legtöbbször az előbbi módszer alkalmazható, bár kétségtelen, hogy nagyobb anyagmennyiség esetén a kvarc szeparálásával több probléma is kiküszöbölhető, így például a földpátok esetében gyakran jelentkező spontán jelvesztés (anomalous fading) jelensége (Wintle 1973, Aitken 1985, Aitken 1998).

Az egyenérték dózis meghatározása terén több eljárást is kidolgoztak. Ezekről Aitken (1998), Boetter-Jensen et al. (2003) és Wintle (2008) ad bővebb áttekintést. A TL archeometriai alkalmazásairól részletesebben többek között Martini & Sibilia (2006) írt. Hazánkban főleg üledékek kormeghatározására koncentrálva, Novothny & Ujházy (2000) publikált nagyon jól használható elméleti és gyakorlati összefoglalót. Magyarországon először TL vizsgálatokat kísérleti jelleggel Benkő (1988) és Erdélyi (1988) végeztek, elsősorban égetőkemencéken, illetve téglakon. Kutatásaik azonban sajnálatos módon megszakadtak.

Égetett agyagtárgyak esetében kezdetben leginkább két módszer, a hozzáadott dózis (additive dose) (Zimmermann 1971, Aitken 1985), illetve az elődózis (predose) (Fleming 1973) segítségével végeztek méréseket. Mindkét eljárást napjainkban is alkalmazzák. A hozzáadott dózis módszerét újabban például, Godfrey Smith et al. (1997), Feathers (2000) Valladas et al. (2001), illetve Zacharias et al. (2005) használta fel észak-amerikai, portugál és görög régészeti feltárásokból származó cseréptárgyak polimineralikus anyagának datálására. A különböző rész-minta csoportokhoz mesterségesen hozzáadott eltérő dózisok alkalmazása - így egy regressziós összefüggés felállítása az additív módon gerjesztett lumineszcens fény intenzitások és az ismert dózisok között - sokáig az egyik legelterjedtebb mérés technikai megközelítés volt a lumineszcens kormeghatározásban (Wintle 2008). Az elődózis módszer a kvarc kristályok érzékenységi változásán alapul a 110°C-os tartományban, így főleg ezen ásványok esetében alkalmazható. Az elődózis módszer leginkább magas égetési hőmérsékletű porcelán tárgyak esetében használható eredményesen (Wang et al. 2006). Az 1990-es évek végétől az üledékek OSL alapú kormeghatározása terén különféle ún. regenerációs technikákat fejlesztettek ki (ezek közül a legelterjedtebb az egymintás regenerációs protokoll, angolul Single Aliquot Regeneration Protocol), melyek keretében egyazon részminta többszöri besugárzásával (regenerációs dózisok) állítható fel összefüggés a dózisok és a lumineszcens fényintenzitások között (Murray & Wintle 2000, Wintle & Murray 2006).

1. táblázat – A vizsgált műtárgyak, Balogh (1975) által hozzájuk kötött mesterek, illetve műhelyeik, és a tárgyak feltételezett készítési ideje.

lab. kód	leltárszám	tárgy megnevezése	alkotó	Készítési idő ¹
OSZ178	1163	Adoráló angyal	ismeretlen é.italiai szobrász	XVI. sz. közepe
OSZ179	1125	Ülő próféta	Jacopo Sansovino	1486-1570
OSZ180	8162	Krisztus-büszk	ismeretlen itáliai szobrász	XVI. sz. v. XIX. sz.
OSZ181	1151	Szt. Jeromos	Alessandro Vittoria	1525-1608
OSZ182	66.7	Ecce homo	Tomasso Amantini	1671 ²
OSZ183	52.54	Atlasz	Leonhard Sattler	1676-1744
OSZ184	52.53	Fekvő férfi akt	Johann Baptist Hagenauer	1732-1811
OSZ185	4972	Szt. Ágoston	Giovanni Minelli dei Bardi	1460-1527
OSZ186	66.4	Krisztus fej	Germain Pilon	1537-1590 v. XVIII. sz.
OSZ187	53.653H	Álló Krisztus	másolat Michelangelo után	XIX. sz.
OSZ188	1191	Krisztus és a számáriai asszony	Benedetto da Maiano	1442-1497
OSZ189	5268	Szt. Anna harmadmagával	ismeretlen német szobrász	XVII. sz. eleje
OSZ190	1233	Dogeportré	Pietro Lombardi	1435-1515 v. XIX. sz.
OSZ191	53.638H	Kiáltó férfi	ismeretlen itáliai szobrász	XVI. sz.
OSZ192	1184	Madonna	Pagno di Lapo Portigiani	1408-1470
OSZ193	6376	Madonna Szt. Jánossal	ismeretlen é.italiai szobrász	XVIII. sz. eleje
OSZ194	84.22	Madonna a kis Szt. Jánossal	Benedetto da Maiano	1442-1497
OSZ195	1374	Agrippina mellszobra	ismeretlen itáliai szobrász	XVI. sz. vége
OSZ196	59.2	Madonna	Bartolomeo Bellano	1440-1496 v. XIX.sz.
OSZ197	1273	Spanyolgalléros férfiportré	ismeretlen itáliai szobrász	XVI. sz. vége
OSZ198	1446	Padlótégla	ismeretlen é.italiai mester	XVI. sz.
OSZ199	1172	Madonna tondó	Andrea della Robbia	1435-1525

¹ Egyrészt a mesterek születési és halálozási évszáma, másrészt a művészettörténeti stíluskritika alapján megadva; a XIX. sz. megjelölés az ez utóbbi alapján már felmerült másolásra/hamisításra vonatkozó gyanút mutatja.

² A készítés dátuma a műtárgy hátulján bekarcolva.

A regenerációs TL mérések eredményeit ugyanakkor Zink & Porto (2005) terrakottán végzett összehasonlító vizsgálataiban nem találta megfelelőnek, és másokkal egyetemben (Feathers & Rhodes 1998) arra is rámutatott, hogy az üledékek esetében oly széles körben alkalmazható OSL sem használható egyöntetűen az égetett agyagtárgyak esetében.

A lumineszcens kormeghatározás másik lényegi pontja a radioaktív elemtartalom mérése, illetve ebből a dózisteljesítmény meghatározása. Műtárgyakból származó minták esetében az általánosan használt technikák (alfa, illetve béta számlálás, gamma-spektroszkópia) a kis anyagmennyiségből kifolyólag igen hosszú mérési időt feltételeznek (Aitken 1985). Eredetiség-

vizsgálatok esetében sok esetben ezért átlag értékekkel számolnak a kutatók (Felming & Stoneham 1973, Aitken 1985, Zink & Porto 2005). Egyre elterjedtebbek ilyen téren a röntgen-fluoreszcens és ICP vizsgálatok (Zink & Porto 2005), amelyekkel azonban a radon szökéséből eredő, egyébként gyakran megfigyelhető radioaktív egyensúlyhiány nem mutatható ki.

Gyűjtemény és célok

A Szépművészeti Múzeum Régi Szoborgyűjteménye ma több mint 60 darab terrakotta szobrot számlál (gyakorlatilag a teljes anyagot ld. Balogh 1975).



2. ábra OSZ182: Ecce homo - Tommaso Amantini, készítési idő a hátlapba karcolva: 1671. TL eredeti.

Ennek nagyjából a fele a gyűjtemény törzsanyagából származik, amely Pulszky Károly 1890-es években történt olaszországi vásárlásaival alakult ki. Pulszky főleg közép- és észak-itáliai, jórészt kora reneszánsz darabokat vásárolt, köztük igen jelentős műveket is. Terrakotta-szerzeményeivel kapcsolatban kiemelendő, hogy azok pontosan tükrözik az anyagra jellemző sokrétű felhasználási formát: az életnagyságú, festett alak mellett előfordul minden bizonnyal másolással készült laposdombormű, vagy kis méretű, modellként szolgáló szoborcsoport is (Eisler 1988). A terrakotta szobrok száma a gyűjtemény későbbi bővülésével is nőtt, a változó tudományos érdeklődést tükrözve részben északi – osztrák, német, francia –, és a barokk korszakból származó darabokkal.

A gyűjtemény terrakotta szobrainak termolumineszcens vizsgálatát két dolog motiválta. Egyrészt az a bizonytalanság, amely egyes tárgyak „eredetiségével” kapcsolatban már a korábbiakban is felmerült, és amely nem tűnt feloldhatónak csupán művészettörténeti eszközökkel; másrészt a gyűjtemény állandó kiállításának 2007 során történt megtervezése, amely kapcsán e bizonytalanságok eloszlása – legalábbis a kiállításra szánt műveknél – gyakorlati szempontból is kívánatosá vált. A szobrok kiválasztását is e két szempont határozta meg, azaz a 22 darab, vizsgálatra került alkotás a valamilyen okból a modern másolat gyanújába került művekből és a kiállításon szerepeltetni kívánt, művészettörténeti szemszögből azonban nem minden esetben problémásnak tűnő alkotásokból állt össze (1. táblázat). Utóbbi körbe tartozott egy hitelesen datált és szignált darab is (OSZ182, 1. táblázat, 2. ábra),



3. ábra OSZ187: Álló Krisztus - feltételezett másolata Michelangelo eredetijének. TL másolat.

melyet a vizsgálati eredmények kontrollálásának céljából választottunk ki, továbbá egy monumentális alkotás kisméretű másolata (OSZ187, 1. táblázat, 3. ábra), ahol a másolás időszakára voltunk kíváncsiak.

A mintavétel során a lista öt tételét újabb darabokra kellett cserélnünk, ezeknél ugyanis kiderült, hogy anyaguk a látszat ellenére nem terrakotta. Hangsúlyozni kell továbbá, hogy ilyen jellegű TL mérésekre Magyarországon korábban nem nyílt lehetőség, így azt is tesztelni kívántuk milyen pontossággal alkalmazható a módszer viszonylag fiatalnak tekinthető műtárgyak eredetiségvizsgálata terén.

Módszerek

Mintagyűjtés, laboratóriumi feltárás

A mintákat 2,8 mm átmérőjű Dremel típusú wolfram-karbid fűrész- és marószárák segítségével gyűjtöttük alacsony fordulatszám mellett, a túlhevülés megakadályozása végett. Az optikai úton történő jelvesztést elkerülendő a műveletet hordozható, kis nyomású Na fényforrások tompított sárga fénye mellett végeztük. A lámpák kibocsátási spektruma 581 nm maximummal igen szűk hullámhossztartományra szorítkozik, így mind a földpát, mind a kvarc kristályok fotostimulációja elkerülhető. A mintagyűjtéskor a felső 2 mm-es réteget 5x5 mm-es területen eltávolítottuk, radioaktív elemtartalom meghatározásra félretettük.



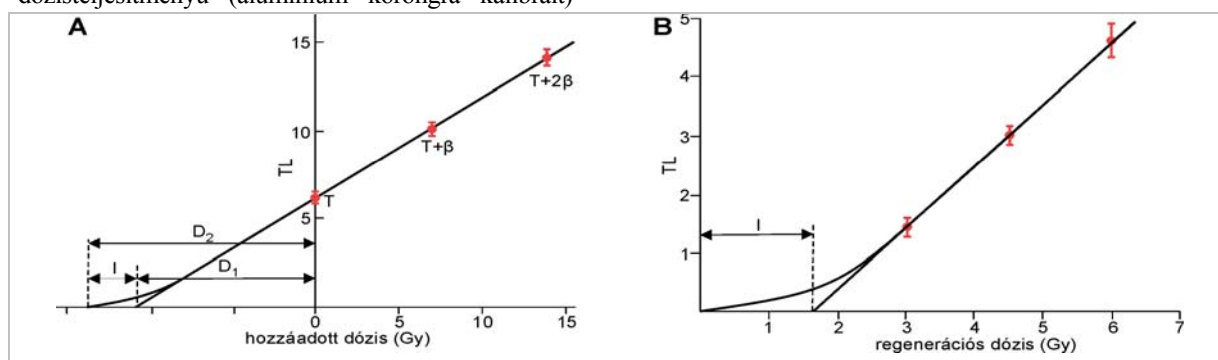
4. ábra Mintagyűjtés volfrám-karbid fűrófejjel, kis nyomású Na fényforrás szűrt fénye mellett

A műtárgyakat ezután 7-10 mm mélységig mintáztuk, így hozzávetőleg 0,3-0,5 g anyagot gyűjtöttünk a részletes lumineszcens vizsgálatokhoz (**4. ábra**).

A laboratóriumi munkák szintén a fent említett fényforrások mellett történtek. Először H_2O_2 , illetve HCl segítségével eltávolítottuk a minták szervesanyag és karbonát tartalmát. Ezután centrifugacsőben, 6 cm-es acetonszlopban az eltérő szemcseméretű különböző ülepedési idejét kihasználva leválasztottuk a 4-11 μm közötti szemcsefrakciót (Feathers & Rhodes 1998, Mauz et al. 2002). A feltárást követően egy-egy mintából átlagosan 50-100 mg anyag maradt. Az így nyert polimineralikus mintát acetonszuszpenzióból 9,8 mm átmérőjű alumínium korongokra ülepítettük úgy, hogy hozzávetőleg 2,5 mg mennyiségű minta jusson egy-egy korongra. Végeredményben 20-30 db részmintát, azaz korongot tudunk előállítani a mérésekhez.

Az egyenérték dózis meghatározása

Az egyenérték dózis meghatározására szolgáló lumineszcens mérésekhez RISOE DA-15 TL/OSL műszert használtunk, mely 0,089 Gy/s dózisteljesítményű (alumínium korongra kalibrált)



5. ábra (A) Összefüggés a TL jelek, valamint a természetes (T) illetve a hozzáadott dózisok ($T+\beta$, $T+2\beta$) között. A függvény extrapolálásával következtetni lehet a természetes TL-t kialakító paleodózis nagyságára (D_1). (B) A TL jel kezdeti szupralineáris növekedésének demonstrálása regenerációs dózisok segítségével (β , 2β , 3β). Ideális esetben a TL/dózis függvénynek az origóba kellene mutatnia, az ettől való eltéréssel (I) kell korrigálni a hozzáadott dózis módszerrel meghatározott egyenérték dózist ($D_2=D_1+I$) (az ábrák Aitken 1985 alapján készültek).

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ béta sugárforrással rendelkeznek. A mérések során a mintából származó lumineszcens fényt Corning 7-59 típusú szűrőn keresztül detektáltuk. Kezdeti méréseink során az optikai stimulációval (OSL-IRSL) történő próbálkozások nem vezettek eredményre a lumineszcens jel kezdeti vagy gyors komponensének (Tsukamoto et al, 2003) gyenge fényintenzitása miatt, ezért végül a mélyebb elektron csapdákat is ürítő termális aktiváció mellett (TL) döntöttünk. A minták viszonylag kis mennyisége és polimineralikus jellege miatt a mérésekhez a hozzáadott dózis módszerét (HDM) választottuk. A HDM lényege, hogy mesterségesen hozzáadott, növekvő nagyságú dózisok segítségével vizsgáljuk a mintában a TL jel növekedését. Elviekben a telítődés szintje alatt a dózis növekmény és az ez által előidézett TL növekmény között lineáris összefüggés van (**5a. ábra**). Amennyiben feltételezzük, hogy a lumineszcens jel növekedése a kezdeti időponttól kezdve lineáris, akkor a TL mérések alapján számítható összefüggés extrapolálásával megadható a minta által a kezdőidőponttól abszorbeált paleodózis nagysága (Aitken 1985, Feathers & Rhodes 1998, Novothny & Ujházy 2000).

Mindazonáltal a természetes besugárzódás kezdetén a lumineszcens jel növekedése sokszor nem lineáris (Fleming 1975, Aitken 1985). Ennek hatása leginkább a viszonylag fiatal minták esetében jelentős, így feltétlenül szükség volt az ún. szupralinearitás mértékének meghatározására. Ezt regenerációs dózisok segítségével végeztük el a természetes lumineszcens jel mérése során felhasznált korongokon. Több rész minta csoportot ismét növekvő dózisokkal sugároztunk be, majd meghatároztuk az általuk előidézett lumineszcens jelek nagyságát (**5b. ábra**). Ha a jelnövekedés kezdetben egyenletes, a felrajzolható regressziós egyenes az origóba tart. Legtöbbször mégis máshol metszi a vízszintes tengelyt, mégpedig a jel kezdeti szupralineáris növekedéséből kifolyólag (**5b. ábra**).

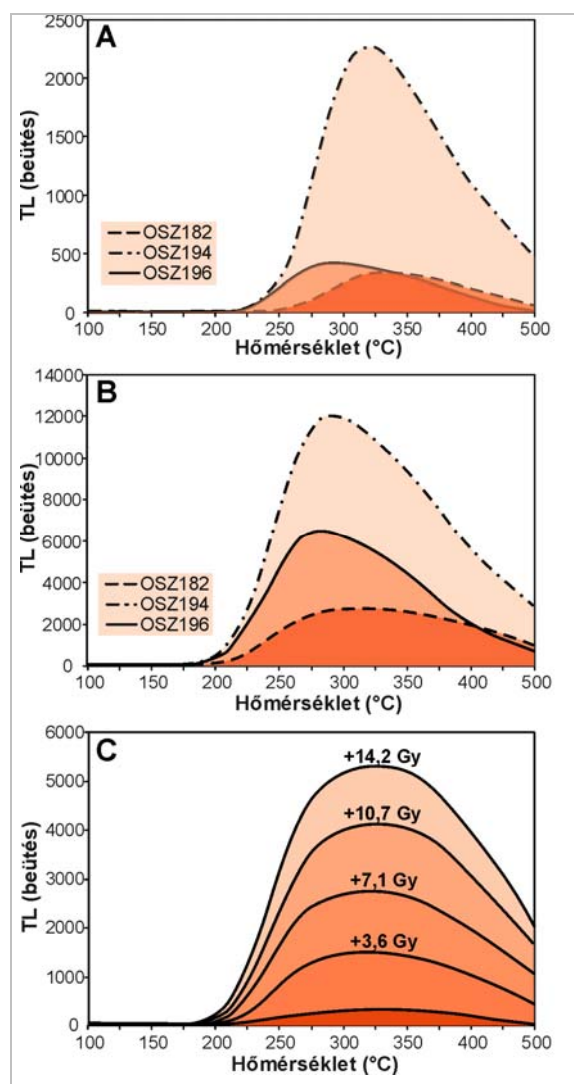


6. ábra OSZ194: Madonna a kis Keresztelő Szt. Jánossal - Benedetto da Maiano. TL eredeti.

Végeredményben az abszcisszán található metszéspont értékét tekinthetjük a szupralinearitás korrekciós faktorának, azaz ennyivel kell kitolnunk a HDM-el meghatározott egyenérték dózis értékét (**5a. ábra**). A HDM során a dózis nagysága és a gerjesztett lumineszcens jel közötti összefüggés (regressziós egyenes) meghatározásához mintánként 5 pontot generáltunk. Egy-egy pont értékét 2-3 korong átlagából számítottuk. Az egyes minták mennyiségétől függően a paleodózis által előidézett természetes lumineszcens jel szintjét 10-14 korong átlagából határoztuk meg. A természetes TL-hez felhasznált 10-14 korongból 4-8 darabot használtunk a regenerációs egyenes 4 pontjának meghatározásához, 6 korongot pedig a spontán elvesztés mértékének vizsgálatához (azonos mértékű besugárzást követően két korongon azonnal, kettőn 3-4 nap múlva, végül az utolsó kettőn 9-10 nap múlva végeztünk TL méréseket). Az eredményeket Risoe Analyst 3.07b és Excel szoftverekkel értékeltük. Az eredményeket 1σ pontossággal adtuk meg, a hibákat gaussi összefüggések alapján propagáltuk.

Dózisteljesítmény meghatározása

A minták radioaktív elemtartalmának meghatározása röntgen fluoreszcencia (XRF), gamma spektroszkópia, és induktív csatolás plazma atomemissziós spektrometria (ICP-AES) segítségével történt. XRF-el a minták K tartalmát vizsgáltuk, gamma spektroszkópiával egyes mintákban a radioaktív egyensúlyhiányt próbáltuk értékelni, míg ICP-AES segítségével egyes minták U-nat és Th tartalmát határoztuk meg. A minták porozitását, nedvesség tartalmát, az átlagos radon veszteséget, illetve az alfa sugárzás hatékonyságát irodalmi adatok alapján adtuk meg (Aitken 1985, Feathers 2000, Bailiff 2007, Vieilleveigne et al. 2007).



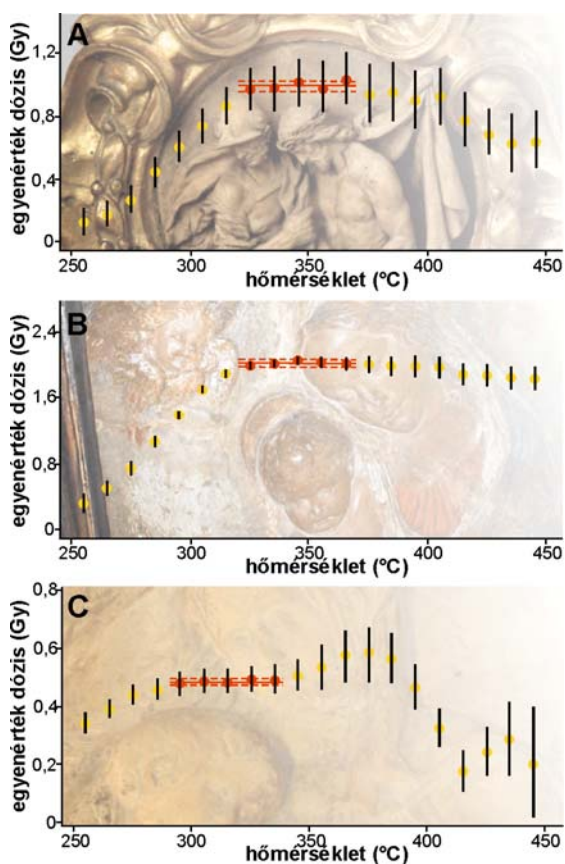
7. ábra (A) Az OSZ182, 194, 196 mintákban mért természetes lumineszcens jel. (B) Ugyanezen mintákban 7,1 Gy hozzáadott dózis esetén mért lumineszcens jel. (C) Az OSZ182 jelű minta TL görbéi különböző mértékű hozzáadott dózisok esetén.

A kozmikus sugárzásból adódó dózisteljesítményt Prescott & Hutton (1994) alapján számítottuk é.sz. 45°-ot és 100 m-es tengerszint feletti magasságot alapul véve.

Eredmények

Egyenérték dózis

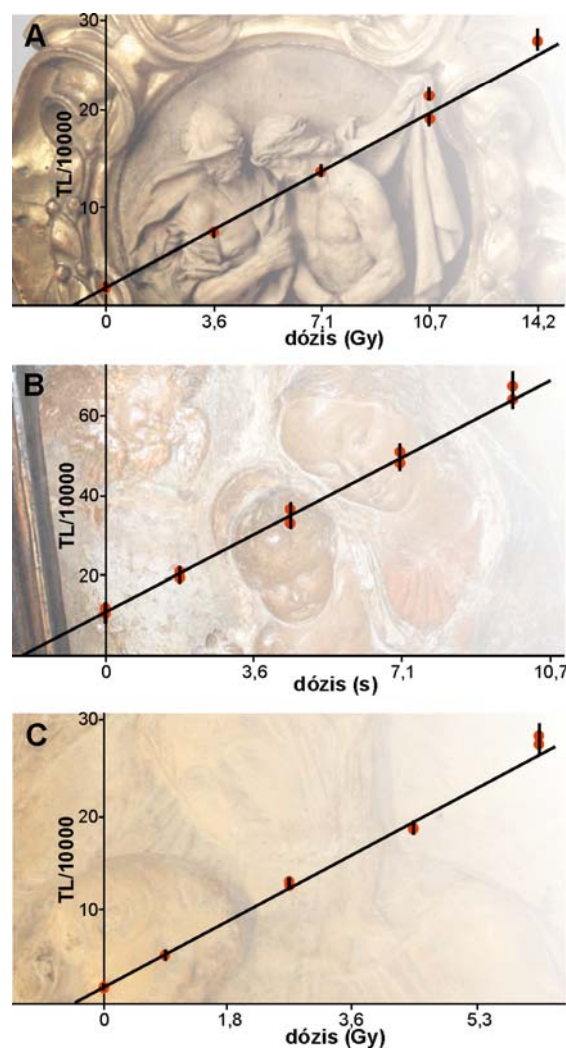
Az egyenérték dózis meghatározása során kapott eredmények az 2. Táblázatban láthatók. Ehelyütt 3 műtárgy vizsgálata során kapott eredményeinket mutatjuk be részletesebben (OSZ182, OSZ194 és OSZ196, lásd **1. táblázat**, **2. ábra** és **6. ábra**).



8. ábra Egyenérték dózis plató-tesztek az (A) OSZ 182, (B) OSZ194 és (C) OSZ196 jelű minták esetében.

A **7a. ábrán** a műtárgyakból vett mintákon mért természetes TL görbék láthatóak. Az OSZ194 jelű műtárgy esetében feltűnően nagy, a másik két minta (OSZ182 és OSZ196) esetében jóval kisebb, közel hasonló mértékű TL jelet detektáltunk (**7a. ábra**). Összevetve a három minta TL jelét azonos dózisok (7,1 Gy) hozzáadását követően az tapasztaljuk, hogy az egyébként hasonló természetes TL jellel bíró minták eltérően reagálnak, azaz az OSZ196 jelű minta több mint kétszer akkora jelet adott, mint az OSZ182 jelű (**7b. ábra**). Ebből arra következtethetünk, hogy előbbi érzékenyebben reagál a radioaktív besugárzásra, és ugyanaz a dózis magasabb TL jelet eredményez. Ezt alapul véve könnyen belátható, hogy bár hasonló természetes jelet kaptunk, az OSZ196-os mintában ezt kevesebb dózis idézte elő, azaz hasonló dózisteljesítmény mellett ez a minta fiatalabb.

A kiégetést követően a minták által elnyelt dózis mértékét a korábban már bemutatott hozzáadott dózis módszerével határoztuk meg (**5. ábra**). A hozzáadott dózisok lumineszcenciára gyakorolt hatását az OSZ182 minta TL görbéi jól szemléltetik (**7c. ábra**). A közel hasonló alakú görbék csúcsa a hozzáadott dózisok növelésével csaknem lineárisan növekszik (**7c. ábra**).



9. ábra Egyenérték dózis meghatározása hozzáadott dózisokkal az (A) OSZ 182, (B) OSZ194 és (C) OSZ196 jelű minták esetében. OSZ182: $1,01 \pm 0,17$ Gy; OSZ194: $2,01 \pm 0,06$ Gy; illetve OSZ196: $0,45 \pm 0,04$ Gy

Azt, hogy a görbék mely régióját vegyük alapul a TL jel-hozzáadott dózis összefüggés meghatározásához minden egyes mintánál egy dózis plató-teszt segítségével határoztuk meg (Aitken 1985, Feathers & Rhodes 1998). Ennek keretében 10°C -onként lépegetve számítottuk ki az összefüggést a TL-növekmények és a hozzáadott dózisok között (**8. ábra**).

Ezután azt a hőmérsékleti tartományt alkalmaztuk a végső összefüggés felállításához, ahol a plató-teszt során közel azonos értékeket kaptunk (**8. ábra**). Az összefüggések alapján minden egyes mintára kiszámítottuk a mintában abszorbeált egyenérték dózis nagyságát (**2. táblázat**). A három minta esetében ezek az értékek az alábbi módon alakultak: OSZ182: $1,01 \pm 0,17$ Gy; OSZ194: $2,01 \pm 0,06$ Gy; illetve OSZ196: $0,45 \pm 0,04$ Gy (**9. ábra**).

lab. kód	Th ¹ (ppm)	U ² (ppm)	K ³ (%)	D* _{kom.} ⁴ (Gy/ka)	WF ⁵	D* _{teljes} ⁶ (Gy/ka)	ED (HDM) ⁷ (Gy)	I ⁸ (Gy)	ED _{kor} ⁹ (Gy)	S ¹⁰	kor ¹¹ (a)	készítési idő
OSZ178	12,7±2,3	1,0±0,3	2,70±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	5,07±0,88	1,44±0,37	0,84±0,06	2,28±0,44	0,98	450±100	1560±100
OSZ179	12,7±2,3	1,0±0,3	2,45±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,75±0,82	1,15±0,13	0,81±0,22	1,96±0,26	1,00	410±90	1600±90
OSZ180	11,9±0,7	1,0±0,3	2,55±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,81±0,84	0,62±0,04	0,41±0,14	1,03±0,14	1,05	210±50	1800±50
OSZ181	12,7±2,3	1,0±0,3	2,34±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,71±0,81	1,33±0,14	1,02±0,04	2,32±0,15	1,03	500±90	1510±90
OSZ182	12,7±2,3	1,0±0,3	2,31±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,68±0,80	1,01±0,17	0,70±0,28	1,71±0,33	0,97	370±90	1640±90
OSZ183	12,7±2,3	1,0±0,3	1,72±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,08±0,69	0,42±0,04	0,23±0,10	0,65±0,11	0,99	160±40	1850±40
OSZ184	12,7±2,3	1,0±0,3	2,23±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,60±0,79	0,96±0,11	0,32±0,17	1,28±0,20	1,01	280±70	1730±70
OSZ185	12,7±2,3	1,0±0,3	2,11±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,47±0,76	1,56±0,10	0,47±0,20	2,03±0,22	1,00	450±90	1560±90
OSZ186	12,7±2,3	1,0±0,3	2,09±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,45±0,76	1,71±0,05	0,23±0,06	1,94±0,08	1,03	440±80	1570±80
OSZ187	12,7±2,3	1,0±0,3	1,51±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	3,88±0,64	0,25±0,05	0,25±0,12	0,50±0,13	1,00	130±40	1880±40
OSZ188	12,7±2,3	1,0±0,3	2,28±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,65±0,80	2,02±0,23	0,66±0,12	2,68±0,26	1,00	580±110	1430±110
OSZ189	10,0±0,1	1,0±0,3	2,41±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,41±0,75	0,88±0,17	0,64±0,13	1,52±0,21	1,04	340±80	1670±80
OSZ190	12,7±2,3	1,0±0,3	2,01±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,37±0,74	0,21±0,04	0,45±0,17	0,66±0,17	0,96	150±50	1860±50
OSZ191	15,4±0,6	1,0±0,3	2,81±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	5,55±0,93	0,10±0,12	1,34±0,21	-	0,73	-	-
OSZ192	12,7±2,3	1,0±0,3	2,07±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,43±0,75	2,12±0,08	0,11±0,07	2,23±0,11	0,95	500±90	1510±90
OSZ193	12,7±2,3	1,0±0,3	2,61±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,98±0,86	1,76±0,06	-0,04±0,14	1,76±0,06	0,96	350±60	1660±60
OSZ194	12,7±2,3	1,0±0,3	2,38±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,58±0,80	2,01±0,06	0,45±0,18	2,46±0,19	0,99	540±100	1470±100
OSZ195	13,4±0,3	1,0±0,3	2,66±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	5,13±0,87	0,83±0,06	0,63±0,18	1,46±0,19	1,10	280±60	1730±60
OSZ196	12,7±2,3	1,0±0,3	2,22±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	5,03±0,87	0,45±0,04	0,08±0,02	0,53±0,04	1,03	120±20	1890±20
OSZ197	12,7±2,3	1,0±0,3	1,81±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,17±0,70	1,52±0,04	0,29±0,01	1,81±0,04	0,97	430±70	1580±70
OSZ198	12,7±2,3	1,0±0,3	2,61±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,98±0,86	0,54±0,03	0,13±0,10	0,67±0,10	0,95	130±30	1880±30
OSZ199	12,7±2,3	1,0±0,3	2,20±0,02	0,18±0,01	0,003±0,001	4,57±0,78	2,29±0,15	0,32±0,05	2,61±0,16	1,04	570±100	1440±100

¹ ICP-AES-el 4 mintára meghatározott Th koncentráció, illetve ezen mérések átlagának kitértsége a további mintákra. A Th hozzájárulása a teljes dózisteljesítményhez átlagos körülmények között kb. 23 % (Th: 10 ppm, U: 3 ppm, K: 3%).

² ICP-AES-el vizsgált 4 minta esetében az U koncentráció minimális volt, ezért önkényesen 1,0±0,3 értéket vettünk. Az U hozzájárulása a teljes dózisteljesítményhez átlagos körülmények között kb. 24 % (Th: 10 ppm, U: 3 ppm, K: 3%).

³ µXRF-el minem minták esetében külön meghatározva. A K hozzájárulása a teljes dózisteljesítményhez átlagos körülmények között kb. 52 % (Th: 10 ppm, U: 3 ppm, K: 3%).

⁴ Koszmikus sugárzából eredő dózisteljesítmény Prescott & Hutton (1994) alapján.

⁵ A becsült medvesegátaralom és az ebből adódó pörmszterfogat (szintén becsült érték) arányos vízteljesítméllel szorozva.

⁶ Teljes dózisteljesítmény.

⁷ Hozzáadott dózis módszerrel (HDM) meghatározott egyenérték dózis (ED).

⁸ TL/dózis görbe kezdeti szakaszán tapasztalható szupralineáris korrekciós értékek regenerációs dózissal meghatározva.

⁹ Korrigált egyenérték dózis.

¹⁰ Spontán jelvésezés értéke: TL_{készítés}/TL_{szennyező} (Késztelés a besugárzást követően általában 10 nap).

¹¹ ED_{kor}/D*_{teljes} 2008-hoz viszonyított kor.

2. táblázat A vizsgált minták dózisteljesítmény, illetve egyenérték dózis adatai, valamint az ezekből számított korok, illetve készítési idők.

A számított egyenérték dózisok hibái egyrészt egy szisztematikusan beépített komponensből (1,5%) (Boetter-Jensen et al. 2003), illetve a regressziós egyenesek pontokhoz való illeszkedéséből adódtak. A megállapított hibák 3-20% között szóródtak, az összes mintát figyelembe véve az átlagos hiba 9% volt.

Regenerációs besugárzások segítségével minden egyes minta esetében meghatároztuk a TL-dózis összefüggés kezdeti szupralinearitásának mértékét is (**2. táblázat**).

Ezt hozzáadva a HDM-mel megadott egyenérték dózishoz megkaptuk a korok kiszámításához alkalmazott korrigált egyenérték dózis értékeket (**2. táblázat**). A fenti három minta esetében így az egyenérték dózis értékek $1,71 \pm 0,33$ Gy-re, $2,46 \pm 0,19$ Gy-re, illetve $0,53 \pm 0,04$ Gy-re módosultak. Jól látható, hogy ha hasonló dózisteljesítményt tételezünk fel, akkor a legidősebb minta az OSZ 194-es, az utána következő az OSZ182-es, míg a legfiatalabb az OSZ196-os. A számítások ezen szakaszán a hibák konzekvens propagálásával az egyenérték dózisok hibáinak átlaga 12%-ra emelkedett.

A földpátásványokra jellemző spontán lumineszcens elvesztés a vizsgálatok alapján mindhárom minta esetében jelentéktelen. Az OSZ182, OSZ194 mintákban 10 napos várakozási idő mellett 1,6 illetve 1,1%-os jelcsökkenést, míg az OSZ 196-os minta esetén átlagban némi TL növekedést tapasztaltunk, de ennek mértéke szintén nem jelentős és a mérések szisztematikusan hibájához közel esik. A minták többségében a fakulásból eredő elvesztés az 1σ határon belül maradt (Zacharias et al. 2005). Jelentős TL intenzitás-csökkenést egy esetben tapasztaltunk (OSZ191: -27%) (**2. táblázat**).

E tárgy tekintetében az igen intenzív fakulás az egyenérték dózis meghatározását végül megakadályozta.

Dózisteljesítmény

A minták összes K tartalmát XRF mérésekkel határoztuk meg (Horiba XGT 5000 μ XRF). Az összes K tartalomból a radioaktív ^{40}K izotóp mennyisége számítható. A minták Th és U tartalmát is megkíséreltük ezzel a módszerrel megmérni, de a koncentrációk a kimutatási határérték alatt maradtak (U: 8 ppm; Th: 15 ppm), ami arra utalt, hogy az U, illetve Th tartalom átlagos, illetve az alatti.

Átlagos koncentrációkat alapul véve (^{232}Th : 10 ppm; U-nat: 3 ppm; K: 3%) a ^{40}K izotóp hozzájárulása a dózisteljesítményhez 52%-os, azaz igen jelentős. A Th és U koncentráció pontosabb mérésére tett gamma spektrószkópiás kísérleteink (Canberra, HP Ge n-típusú detektorral ellátott gamma spektrométer) sikertelennek bizonyultak a minták kis mennyisége miatt.

3. táblázat 4 minta Th és U koncentrációjára vonatkozó mérések ICP-AES segítségével.

lab. kód	Th (ppm) ^{1*}	U (ppm)
OSZ180	11,9 $\pm$ 0,7	< 2 ppm
OSZ189	10,0 $\pm$ 0,1	< 2 ppm
OSZ191	15,4 $\pm$ 0,6	< 2 ppm
OSZ195	13,4 $\pm$ 0,3	< 2 ppm
*3 mérés átlaga, illetve szórása alapján		

Négy minta esetében ezért ICP-AES segítségével további méréseket végeztünk (3. táblázat). Ezek rámutattak arra, hogy a vizsgált anyagok Th tartalma átlagos vagy annál valamivel magasabb, U tartalma, viszont az átlagosnál alacsonyabb, a kimutatási határérték (1-2 ppm) alatti. A Th esetében a négy ICP-AES eredmény átlagát kiterjesztettük a további mintákra is, így azok esetében $12,7 \pm 2,3$ ppm koncentrációval számoltunk. Az U tekintetében mivel mindhárom mérési módszer igen alacsony koncentrációkra utalt végül általánosan 1 ppm körüli értéket feltételeztünk, melyet viszonylag magas, 33%-os hibával terheltünk meg (**2. táblázat**). A fenti értékek kiterjesztése mellett szólt, hogy a K tartalom tekintetében a minták igen hasonló eredményeket produkáltak, így várható volt, hogy a Th és U értékek sem mutatnak extrém eltéréseket.

A koncentrációkból konverziós egyenletek segítségével számítottuk az egyes sugárzási komponensek dózisteljesítményét (Adamiec & Aitken 1998). Az U, illetve Th bomlása során jelentkező alfa sugárzás hatékonyságát irodalmi adatok alapján (Aitken 1985, Feathers 2000) $10 \pm 2\%$ -osnak vettük. A radioaktív egyensúly esetleges hiányát, amely a gáznemű ^{222}Rn urán bomlási sorból történő távozásából adódhat, hosszú idejű (72 órás) gamma spektrometriával igyekeztünk megállapítani. Bár csak hozzávetőleges eredményeket kaptunk, kitűnt, hogy számolnunk kell a radon szökéséből adódó dózisteljesítmény csökkenéssel.

A radon-vesztéseget irodalmi adatok alapján $15 \pm 15\%$ -ra tettük (Bailiff 2007).

A terrakotta nedvességtartalmát (W), amely jelentős abszorpciójával csökkentheti a földpát és kvarc ásványokban elnyelt dózist (Aitken 1985), alacsonyra: 2-3 tömeg % közöttire tettük (Bailiff 2007). A terrakotta maximális vízfelvételét irodalmi adatok alapján 20 ± 5 tömeg %-nak vettük (Kausay 1999, Yang et al. 2005). A fentiek alapján a részleges vízfelvétel (F) a maximális felvétel $12,5 \pm 4,0\%$ -ának adódott.



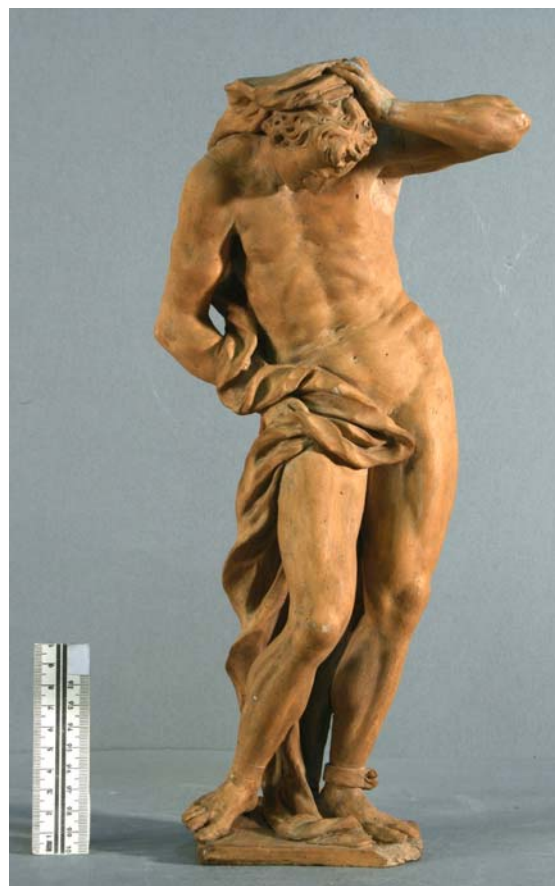
10. ábra OSZ190: Dogeportré - Pietro Lombardi. TL másolat.

A különböző sugárzástípusok dózisteljesítményét Zimmermann (1971) alapján eltérő mértékben korrigáltuk. A nedvességtartalomban rejlő bizonytalanságok jelentős hibával járultak hozzá a számításokhoz (**2. táblázat**). A fentiek alapján meghatározott dózisteljesítmény értékek 17% körüli hibával 3,86 és 5,55 Gy/ka között ingadoztak (**2. táblázat**).

A lumineszcens eredmények művészettörténeti interpretációja

A vizsgált anyagban a mérési eredmények alapján művészettörténeti szempontból több csoportot lehetett megkülönböztetni. Összesen 12 olyan szobor volt (OSZ178, 179, 181, 182, 184, 185, 186, 188, 192, 194, 197, 199), melyek esetében a lumineszcens mérések, és a művészettörténeti háttér információk is a műalkotás eredetiségét támasztották alá (**4. táblázat**). Így a műalkotások közül 10 egyértelműen reneszánsz, további 2 pedig barokk korúnak tekinthető. Megnyugtató módon ebbe a csoportba tartozik a kontrollálásként kiválasztott mű is (OSZ182), melynél az égetési időintervallum középértéke (1640) harminc évvel tért el a készítés időpontját jelölő, bekarcolt évszámtól (1671) (**2. ábra**).

Öt olyan tárgyunk van (OSZ180, 187, 190, 196, 198), melyeknél az eredményként kapott égetési középérték modern kori másolásra/hamisításra utal (**4. táblázat**). Négyenél ez a lehetőség kisebb-nagyobb mértékben már a korábbiakban is felmerült. Közöttük van Michelangelo Feltámadt Krisztust ábrázoló monumentális márvány-szobrának (Róma, Santa Maria sopra Minerva), ezek szerint nagy eséllyel a XIX. században, tehát leginkább a souvenir kategóriájába – erre utal a minősége is – sorolható másolata (OSZ187, **3. ábra**), illetve a korábban Pietro Lombardi (1435–



11. ábra OSZ183: Atlasz - Leonhard Sattler. TL kérdéses.

1515) műhelyének tulajdonított, újabban már XIX. századi másolatként felmerülő Doge-portré (OSZ190) (**10. ábra**).

Noha az ötödik darab (OSZ198) esetében a másolat/hamisítvány kérdés eddig nem vetődött fel, a természettudományos eredmény ismeretében már művészettörténeti szemszögből sem tűnik kizárhatónak a modern kori készítés, amelynek körülményeit további kutatásokkal feltehetően valamelyest tisztázni is lehetne.

A következő csoportban négy olyan szobor található (OSZ189, OSZ191, OSZ193, OSZ195), melyeknél a kapott eredmények az eddigi művészettörténeti datálás határterületére esnek (**4. táblázat**). Ezekkel a darabokkal érdemes tehát még tovább foglalkozni, mégpedig mindkét oldalról. Kíváncos lenne a természettudományos eredmények felülvizsgálata új tényezők bevonásával, az időintervallumok szűkítése érdekében is. Másrészt az eddigi, egyik esetben sem mélyrehatóan tekinthető művészettörténeti keltezés újabb kutatásokkal kellene megerősíteni, vagy átértékelni.

Egyetlen tárgyunk (OSZ183) maradt utolsó csoportként, melynél a természettudományos és a művészettörténeti eredmény nagymértékben eltér egymástól (**4. táblázat**, **11. ábra**).

4. táblázat A vizsgált műtárgyak művészettörténeti és termolumineszcens korának összevetése, valamint a tárgyak eredetiségének értelmezése.

lab. kód	szerző: tárgy	művészettörténeti kor	TL kor	értelmezés
OSZ178	é.italiai szobrász: Adoráló angyal	XVI. sz. közepe	1560±100	eredeti
OSZ179	Sansovino: Ülő próféta	1486-1570	1600±90	eredeti
OSZ180	italiai szobrász: Krisztus-büszk	XVI. sz. v. XIX. sz.	1800±50	másolat
OSZ181	Vittoria: Szt. Jeromos	1525-1608	1510±90	eredeti
OSZ182	Amantini: Ecce homo	1671 ³	1640±90	eredeti
OSZ183	Sattler: Atlasz	1676-1744	1850±40	kérdéses
OSZ184	Hagenauer: Fekvő férfi akt	1732-1811	1730±70	eredeti
OSZ185	Bardi: Szt. Ágoston	1460-1527	1560±90	eredeti
OSZ186	Pilon: Krisztus fej	1537-1590 v. XVIII. sz.	1570±80	eredeti
OSZ187	Michelangelo után: Álló Krisztus	XIX. sz.	1880±40	másolat
OSZ188	Maiano: Krisztus és a samáriai asszony	1442-1497	1430±110	eredeti
OSZ189	német szobrász: Szt. Anna harmadmagával	XVII. sz. eleje	1670±80	kérdéses
OSZ190	Lombardi: Dogeportré	1435-1515 v. XIX. sz.	1860±50	másolat
OSZ191	italiai szobrász: Kiáltó férfi	XVI. sz.	-	kérdéses
OSZ192	Portigiani: Madonna	1408-1470	1510±90	eredeti
OSZ193	é.italiai szobrász: Madonna Szt. Jánossal	XVIII. sz. eleje	1660±60	kérdéses
OSZ194	Maiano: Madonna a kis Szt. Jánossal	1442-1497	1470±100	eredeti
OSZ195	italiai szobrász: Agrippina mellszobra	XVI. sz. vége	1730±60	kérdéses
OSZ196	Bellano: Madonna	1440-1496 v. XIX.sz.	1890±20	másolat
OSZ197	italiai szobrász: Spanyolgalléros férfiportré	XVI. sz. vége	1580±70	eredeti
OSZ198	é.italiai mester: Padlótégla	XVI. sz.	1880±30	másolat
OSZ199	Robbia: Madonna tondó	1435-1525	1440±100	eredeti

Utóbbi azonban elég egzaktnak tűnik ahhoz, hogy ne legyen érdemes elvetni.

Egy gyakorlatilag kizárólag bozzettóként, azaz előtanulmányként értékelhető, kis méretű szoborról van szó, mely alapján a kőből készült, ma is meglévő monumentális alkotást, Leonhard Sattler (†1744) életnagyságnál nagyobb atlaszfiguráját 1712–1713-ban kifaragták a Sankt Florian-i (Felső-Ausztria) bencés apátság egyik kapujához (a bozzetto égetési dátumának 1850±40-et kaptunk). Nem igen találni olyan célt, amely miatt több e kőszobrot érdemes lett volna kis méretben lemásolni, ráadásul ebben az esetben nehezen lennének magyarázhatók azok az apró változtatások, amelyek bozzetto és kivitelezett mű között a méretkülönbség miatt gyakorta, így itt is megjelennek.

Összegzés

A Szépművészeti Múzeum Régiszobor Gyűjteményének 22 db terrakotta műalkotásán elvégzett TL vizsgálatok összességében 17 esetben szolgáltatott művészettörténeti szempontból is megnyugtató eredményt. Az általunk alkalmazott módszerekkel, a szobrok anyagában a kiégetés óta elnyelt dózis értékét átlagosan 9%-os hibával tudtuk megadni. Ezt ki kell egészíteni azzal, hogy az idősebb, főleg reneszánsz korú minták esetében jóval pontosabb eredményeket kaptunk (akár 3-4%-os hiba), mint a modern másolatok esetében (akár 20-25%-os hiba). Ennek oka, hogy a 100-200 éves minták tekintetében a felhalmozódott lumineszcens jel még kifejezetten alacsony, közelebb esik a mérési határhoz, így szükségszerűen a véletlen hibák arányai emelkednek.

A végeredményként megadott korok átlagosan 21%-os hibával terheltek. Ennek hátterében elsősorban a műtárgyak anyaga által meghatározott dózisteljesítményben rejlő bizonytalanság áll. A radioaktív elemkoncentrációk minden tárgyra kiterjedő pontosabb mérése (ICP-MS, illetve alfa, béta-számlálás), illetve az egyes terrakották fizikai paramétereinek meghatározása (pl. pórustérfogat) jelentősen csökkenthetné a végeredmények hibáit. Ilyen irányú méréseket követően a koradatok középértékei ha nem is jelentősen (10-15%-kal), de eltolódhatnak, ami a most még kérdéses műtárgyak esetében elmozdíthatná a mérleg nyelvét. Hozzá kell azonban még azt is tenni, hogy ezen szobrok esetében a hiányos művészettörténeti háttér-információ bővítésével az is beigazolódhat, hogy a most megadott TL korok helyesek.

Összességében megállapítható, hogy a fenti hibák ellenére TL méréseink segítségével megnyugtatóan el tudtuk különíteni a modern kori másolatokat az eredeti műalkotásoktól, sőt majd minden esetben a reneszánsz és a barokk készítési idő között is különbséget tudunk tenni. Egy esetben fordult elő, hogy az anyag igen rossz lumineszcens tulajdonságai miatt (spontán jel fakulás) nem tudunk végeredményt szolgáltatni, míg egy másik esetben a természettudományos és a művészet-történeti kor jelentős eltérést mutatott.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Szépművészeti Múzeum és az OTKA PD73379 számú pályázatának támogatását, illetve az alábbi személyeknek a közreműködést a mintavételezésben, laboratóriumi munkákban és a művészettörténeti elemzésben: Bozsó Gábor, Galambos Éva, Kiss Tímea, May Zoltán, Pattantyús Manga, Páll Dávid Gergely.

Irodalom

- ADAMIEC, G., AITKEN, M. J. (1998): Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL* **16/2**:37–49.
- AITKEN, M. J. (1985): *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London.
- AITKEN, M. J. (1998): *An Introduction to Optical Dating*. Oxford University Press. London.
- AITKEN, M. J., ZIMMERMANN, D. W., FLEMING, S. J. (1968): Thermoluminescent dating of ancient pottery. *Nature* **219**:442–444.
- BAILIFF, I. K. (2007): Methodological developments in the luminescence dating of brick from English Late-Medieval and Post-Medieval Buildings. *Archaeometry* **49/4**:827–851.
- BALOGH, J. (1975): *Katalog der ausländischen Bildwerke des Museums der Bildenden Künste in Budapest. I–II*. Budapest.
- BENKŐ, L. (1988): Thermoluminescence dating of Hungarian archaeological sites (potteries, hearths, calcite). In: Járó, M., Költő, L. eds., *Archaeometrical research in Hungary*. Központi Múzeumi Igazgatóság, 71–81.
- BOETTER-JENSEN, L., MCKEEVER, S. W. S., WINTLE, A. G. (2003): *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*. Elsevier Science, Amsterdam.
- BOUCHER, B. (2001): Italian Renaissance Terracotta: Artistic Revival or Technological Innovation? In: Boucher, B. ed., *Earth and Fire. Italian Terracotta Sculpture from Donatello to Canova*. New Haven – London, 1–31.
- EISLER, J. (1988): Pulszky Károly és Pulszky Ferenc szoborgyűjteménye. Pulszky Károly szoborvásárlásai. In: Mravik L szerk., *Pulszky Károly emlékének*. Budapest, 70–72.
- ERDÉLYI, B. (1988): Thermoluminescence dating in the history of architecture. In: Járó, M., Költő, L. eds., *Archaeometrical research in Hungary*. Központi Múzeumi Igazgatóság, 83–88.
- FEATHERS, J. (2000): Date List 7: Luminescence dates for Prehistoric and Protohistoric pottery from the American Southwest. *Ancient TL* **18/2**:51–61.
- FEATHERS, J. K., RHODES, D. (1998): Luminescence Dating of Protohistoric pottery from the Great Basin. *Geoarchaeology* **13/3**:287–308.
- FLEMING, S. J. (1966): Study of thermoluminescence of crystalline extracts from pottery. *Archaeometry* **9/1**:170–173.
- FLEMING, S. J. (1970): Thermoluminescent dating: refinement of the quartz inclusion method. *Archaeometry* **12**:133–147.
- FLEMING, S. J. (1973): The pre-dose technique: a new thermoluminescence dating method. *Archaeometry* **15**:13–30.
- FLEMING, S. J. (1975): Supralinearity corrections in fine grain thermoluminescence dating: a re-appraisal. *Archaeometry* **16**:91–95.
- FLEMING, S. J., STONEHAM, D. (1973): Thermoluminescent Authenticity Study and Dating of Renaissance Terracottas. *Archaeometry* **15/2**:239–247.
- GODFREY-SMITH, D. I., DEAL, M., KUNELIUS, I. (1997): Thermoluminescence dating of St. Croix Ceramics: chronology building in Southwestern Nova Scotia. *Geoarchaeology* **12/3**:251–273.
- HUBBARD, C., MOTTURE, P. (2001): The Making of Terracotta Sculpture: Techniques and Observations. In: Boucher, B. ed., *Earth and Fire. Italian Terracotta Sculpture from Donatello to Canova*. New Haven – London, 83–95.

- KAMMEL, F. M. (2002): Tonplastik im Mittelalter. Ein Überblick zu Bestand und Verbreitung im deutschen Sprachraum. In: Kammel, F. M. ed., *Die Apostel aus St. Jakob. Nürnberger Tonplastik des Weichen Stils*. Nürnberg, 8–29.
- KAUSAY, T. (1999): Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás. <http://www.betonopus.hu/notesz/viztartalom.pdf>
- KURZ, O. (1961): Falsi e falsari. Venezia, Pozzo 170–175.
- MAUZ, B., BODE, T., MAINZ, H., BLANCHARD, W., HILGER, R., DIKAU, R., ZÖLLER, L. (2002): The luminescence dating laboratory at the University of Bonn: equipment and procedures. *Ancient TL* **20**:53–61.
- MARTINI, M., SIBILIA, E. (2006): Luminescence dating and cultural heritage. *Archeometriai Műhely* **3**/1:3–11.
- MEJDAHL, V. (1969): Thermoluminescence dating of ancient Danish ceramics. *Archaeometry* **11**/1:99–104.
- MURRAY, A. S., WINTLE, A. G. (2000): Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* **32**:57–73.
- NOVOTHNY, Á. UJHÁZY, K. (2000): A termo- és optikai lumineszcens kormeghatározás elméleti alapjai és gyakorlati kérdései a negyedidőszaki kutatásokban. *Földrajzi Értesítő* **49**/3-4:165–187.
- PRESCOTT, J. R., HUTTON, J. T. (1994): Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* **23**:497–500.
- TSUKAMOTO, S., RINK, W. J., WATANUKI, T. (2003): OSL of tephric loess and volcanic quartz in Japan and an alternative procedure for estimating De from a fast OSL component. *Radiation Measurements* **37**:459–465.
- VALLADAS, H., MERCIER, N., FROGET, L., JORON, J. L., REYSS, J. L., AUBRY, T. (2001): TL dating of Upper Palaeolithic sites in the Coa Valley (Portugal). *Quaternary Science Reviews* **20**/5-9:939–943.
- VIEILLEVIGNE, E., GUIBERT, P., BECHTEL, F. (2007): Luminescence chronology of medieval citadel Termez, Uzbekistan: TL dating of brick masonries. *Journal of Archaeological Science* **34**:1402–1416.
- WANG, W., XIA, J., ZHOU, Z. (2006): Thermoluminescence dating of the ancient Chinese porcelain using a regression method of saturation exponential in pre-dose technique. *Science in China* **49**/2:194–209.
- WINTLE, A. G. (1973): Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature* **245**:143–144.
- WINTLE, A. G. (2008): Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry* **50**/2:276–312.
- WINTLE, A. G., MURRAY, A. S. (2006): A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements* **41**:369–391.
- YANG, X. Y., KADEREIT, A., WAGNER, G. A., WAGNER, I., ZHANG, J. Z. (2005): TL and IRSL dating of Jiahu relics and sediments: clue of 7th millenium BC civilization in central China. *Journal of Archaeological Science* **32**:1045–1051.
- ZACHARIAS, N., BUXEDA I GARRIGÓS, J., MOMMSEN, H., SCHWEDT, A., KILIKOGLU, V. (2005): Implications of burial alteration on luminescence dating of archaeological ceramics. *Archaeological Science* **32**:49–57.
- ZIMMERMAN, D. W. (1967): Thermoluminescence from fine grains from ancient pottery. *Archaeometry* **10**/1:26–28.
- ZIMMERMAN, D. W. (1971): Thermoluminescence dating using fine grains from pottery. *Archaeometry* **13**:29–52.
- ZINK, A., PORTO, E. (2005): Luminescence dating of the Tanagra terracottas of the Louvre Collections. *Geochronometria* **24**:21–26.