

A Szegedi várból származó téglaminták korának meghatározása termolumineszcens vizsgálatok segítségével

Készítette: Filyó Dávid

Földrajz BSc, 3. évfolyam

Témavezető: Dr. Sipos György

Egyetemi adjunktus

**Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékcsoport**

Szeged, 2015

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Előzmények	4
2.1. Szegedi vár története	4
2.2. Lumineszcens kormeghatározás	6
2.2.1 Kormeghatározás alapjai	6
2.2.2 Alkalmazott anyagok	7
2.2.3 A mérések fizikai háttere	7
2.2.4 Korszámítás	9
2.2.5 TL alkalmazása téglákon	9
3. Módszerek	11
3.1. Mintagyűjtés	11
3.2. Feltárás	13
3.3. Termolumineszcens mérések	14
3.4. Gamma spektroszkópia	15
4. Eredmények	17
4.1 Egyenérték dózis meghatározása	17
4.1.1. Egyenérték dózis plató tesztek	17
4.1.2. Hozzáadott dózis lumineszcens válasz összefüggések (MAAD)	18
4.1.2. Dózis korrekció regenerációs mérésekkel (REG)	19
4.2 Dózisteljesítmény	21
4.3. Számított korok	22
5. Összegzés	24
6. Irodalomjegyzék	25

1. Bevezetés

A lumineszcens kormeghatározás régészeti alkalmazása az 1960-as évektől kezdődően folynak. Az napjainkban egyre többet alkalmazzák a lumineszcens méréseket, és egyre fontosabb helyet tölt be a régészeti célú (numerikus) kormeghatározásban. TL méréseket nemcsak kerámiákon végeznek, hanem más égetett tárgyakon is. Téglák termolumineszcens mérésére számos külföldi és néhány hazai példát találni (Bailiff 2007, Tóth 2014). Téglák kormeghatározásakor a kiégetés időpontját tudjuk datálni.

A szegedi téglavár a város egyik legfontosabb épített öröksége, azonban maradványai jórészt a föld alatt találhatóak. Ennek oka, hogy a nagy árvíz (1879) után a várat lerombolták és a területét feltöltötték. Ennek köszönhetően jórészt csak írásos emlékek maradtak fent az építményről. Jelenleg a téglavár korával kapcsolatban két elmélet elfogadott, az egyik szerint azt a törökök építették, a másik szerint a középkorban már létezett téglavár Szegeden. Ennek igazolására azonban nem áll rendelkezésre egyértelmű bizonyíték. A szegedi rakpart felújítása során öt darab téglamintát gyűjtöttünk a vár Tisza felőli falából, amelyeken termolumineszcens méréseket végeztünk.

Dolgozat célját az alábbiakban foglalhatóak össze:

1. Téglaminták termolumineszcens tulajdonságainak elemzése, tesztelése.
2. Téglák által a kiégetés óta elnyelt paleodózis közvetett meghatározása, azaz az egyenérték dózis mérése.
3. Dózisteljesítmény becslése korábbi mérések és adatok alapján.
4. Téglák korának meghatározása, az eredmények értelmezése a történelmi adatok fényében.

Az eredmények alapján további mérések szükségesek, amelyek függvényében a vár különböző építési fázisai is meghatározhatóvá válhatnak.

2. Előzmények

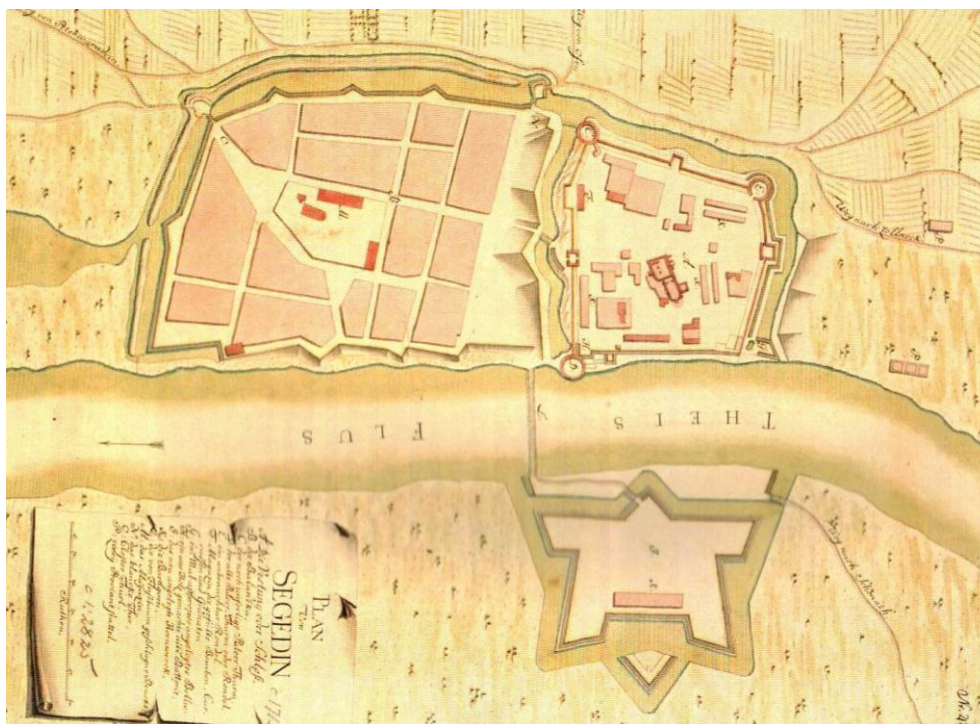
2.1. Szegedi vár története

A téglavárat feltehetően 1261 és 1280 között építhették, erre az időpontra Petrovics István következtetett a várépítési statisztikákból és az uralkodói látogatások gyakoriságából (Horváth et al. 2011). 1879-es szegedi nagy árvíz után a várost teljesen újjáépítették, az újjáépítésnek részét képezte a vár meglévő falainak lebontása és a terület feltöltése. Mivel nincs ma is látható álló fala és a területét több méter vastagon feltöltötték és sűrűn beépítették, így nincs lehetőségük a régészeknek feltárni a területet, ez alól csak az egyes közmű és egyéb építkezési beruházások során végrehajtott régészeti feltárások képeznek kivételt. A vár lerombolása miatt a régészeknek a korábban írott és rajzolt forrásokat kell felhasználniuk a vár rekonstrukciójához és történetének megismeréséhez, ezért a téglavár építésének időpontja vitatott.

Két nézet elfogadott a történészek körében jelenleg, az egyik nézet szerint a téglavárat a törökök építették, míg a másik nézet szerint a középkorban építették a magyarok. Ha a középkori eredetet fogadjuk el, a vár építését 13. század második felére tehetjük. A tatárjárás következtében a csongrádi vár elpusztult, új irányítói központra volt szükség a térségben, ha ehhez hozzávesszük azt, hogy szegedi sóhivatal fontos bevételi forrása volt a kincstárnak (itt rakodták ki a Maroson Erdélyből érkező hajók sószállítmányát) és Szeged királyi város, akkor joggal feltételezzük a vár királyi alapítású mivoltát. A várat 1338-ban említik először meg, Az írott forrásokban castrum vagyis erődített vár megnevezést használják, nem pedig castellum (várkastély) elnevezést. Erődített várak kőből és téglából épültek, fallal erődítettek, a magyar várak közt kővár típusként van számon tartva (Horváth et al. 2011). A török korban többször javítottak és átépítették a vár egyes részeit, ezért is nehéz középkori részeket találni. A későbbi időkben is folytak javítási munkálatok, de szükséges javításokat egyre kevesebbszer végeztek el, ezért is romlott le a vár állapota és döntöttek úgy hogy elbontják.

Akik török eredetűnek gondolják a várat, azok a középkori leírásokban hiányolják a téglavár megjelenését. A vár építését II. Szulejmán építésének, Szinánnak tulajdonítják és a vár felépítését is török stílusúnak mondják (Veress 1986). A régi török korabeli leírások szóhasználatából is arra következtettek, hogy a várat a törökök építették, bár a másik tábor (középkori) azt vallja, hogy félrefordították vagy félreértelmezték a korabeli szövegeket.

A vár alaprajzáról csak a török kor utáni időkben készültek felmérések (1. ábra), ezért is nehéz megállapítani a vár eredeti kinézetét. A török kor idején több bástyának is el kellett tűnnie, és a kapuk egy részét is befalazták. Egyes értelmezések szerint a vízirondella volt a vár úgynevezett öregtornya, ami szintén középkori sajátosság volt (Sebestyén 1928). Az öregtorony szolgáltatta az utolsó védelmi vonalat, a védők ide vonultak vissza, ha a vár többi részét nem tudták tartani.



1. ábra: A vár és a Palánk alaprajza 1698 (forrás: Horváth et al. 2011).

Tisza pusztító hatása végig érvényesült a várral szemben, a folyószabályozás előtt csak időlegesen, míg a folyószabályozás után a megemelkedett vízszint hatására folyamatosan rombolta a falát. Folyamatos javításokat igényeltek a falak, amiket egyre jobban elhanyagoltak az idő előrehaladtával, míg 1692-ben a fal délkeleti oldalának egy része a vízbe nem szakadt, ez is nehezíti a pontos méreteinek és elhelyezkedésének meghatározását (Sebestyén 1928).

A 1714 és 1716 között Gosseau ezredes által vezényelt építkezéseket hajtottak végre, ahol is a várat egy földerőddel és vizesárokkal vették körül (Horváth 2006). A még ma is álló vármaradvány az úgynevezett Mária Terézia kapu (a vár K-i felén) építési kora ismert (Mária Terézia uralkodásának idején, 1751), így ennek téglái alkalmasak lehetnek egy későbbi lumineszcens mérésekre, hogy a mérések pontosabbá váljanak. 1762-1764 között a Tiszába

dőlt keleti várfalat újra megépítették, csak immár 50 méterrel beljebb. Ezek után nagyobb munkálatok már nem történtek, csak a vár végleges elbontása a 19. században.

Bár történtek korábban radiokarbon (vártemplom sírjainak radiokarbon vizsgálata során a feltárt sírok kora 270 és 600 év közöttiek) és egyéb régészeti feltárások, de még mindig kevés kézzelfogható bizonyíték áll a régészek rendelkezésére a szegedi vár pontos történetének és korának meghatározásához (Horváth et al. 2011).

2.2. Lumineszcens kormeghatározás

2.2.1. Kormeghatározás alapjai

Lumineszcens kormeghatározással üledékek vagy égetett edények, kerámiák vagy építőanyagok (tégla, cserepek) mérhetőek. Üledékek kormeghatározásakor a felhalmozódás, pontosabban a betemetődés időpontját, vagyis az utolsó napfénnel való érintkezést (megvilágítást), kerámiák esetén a kiégetés időpontját tudjuk meghatározni.

Lumineszcens kormeghatározásnak két nagy csoportját tudjuk elkülöníteni, megkülönböztetünk Optikailag Stimulált Lumineszcens (OSL) és Termolumineszcens (TL) módszereket (Aitken 1985). A két eljárás nevében hordozza a különbséget, OSL eljárás esetén fény segítségével stimuláljuk a mintát, TL esetén pedig hőt használunk erre (általában 500°C fölé melegítjük a mintát). Mindkét módszer alkalmas üledékek és égetett tárgyak, tehát kerámiák, téglák korának meghatározására, azonban az OSL eljárást szívesebben használják üledékekre, míg a TL módszert inkább kerámiákon használják ma már, bár régebben üledékeken is TL vizsgálatokat folytattak (Borsy et al. 1979, Wintle and Packman 1988).

Lumineszcens mérések időhatárát illetően megoszlik a tudósok véleménye, egyesek szerint 800 000 éves mintákat is megbízhatóan lehet mérni, míg mások csak párszázezer évre teszik ezt a határt (Novothny és Újházy 2000). Pontos felső vagy alsó határt egységesen meghúzni nem lehet, minden mérésnél mások a minták paraméterei. Felső mérési korhatárt két tényező befolyásol: 1. A csapdák ne legyenek telítve töltéssel. 2. Stabil csapdákkal rendelkezzen. Legnagyobb kort kvarc szemcsék csapdáiban lehet mérni (OSL). Az alsó korhatár esetén problémát a lumineszcens jel gyengesége és az üledékek reziduális szintje jelent. A reziduális szint üledékeknél szokott problémát okozni, mert a napsugárzás nem képes teljesen kiüríteni a csapdákat a szállítódás folyamán. Kerámiáknál az előbb említett probléma nem szokott felmerülni, mert a kiégetés folyamán a lumineszcens jel nullázásához elég hőmérséklet éri a kerámiát. A legkisebb korok mérésére földpátásványokat érdemes használni, akár néhány évtized alatt is mérhetőek korok.

2.2.2. Alkalmazott anyagok

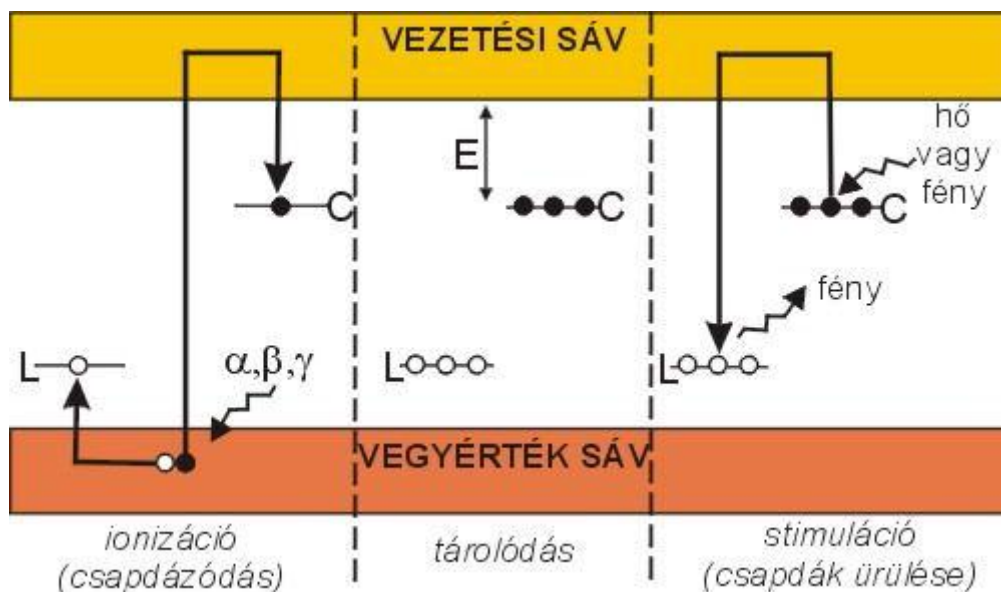
A lumineszcens vizsgálatok lényege, hogy a mérni kívánt anyagnak, vagyis ásványnak rendelkeznie kell megfelelő kristályrács hibával, más néven csapdával (lásd 8. oldal). Kétféle félvezető ásványt mérhetünk kvarcot és földpátot, mindkettő lehet üledék vagy kerámia is. Kvarc előnyei közé tartozik, hogy csak külső dózisérték érvényesül, nem lép fel spontán fakulási jelenség és gyorsabb a természetes kioltódása is (Bozsó et al. 2010). Hátránya, hogy kevesebb lumineszcens csapdával rendelkezik, mint a földpát, ami miatt hamarabb telítődik és ez miatt alacsonyabb korok mérhetőek csak vele. Hátránya még, hogy általában kevésbé érzékeny és ezáltal kisebb mérhető jelet ad. A földpát előnye, hogy több lumineszcens csapdával rendelkezik, mint a kvarc, ami által lassabban telítődik és akár magasabb korok is mérhetővé válnak. A földpát alkalmas fiatalabb korok mérésére is a magas dózisérték miatt (a belső dózisérték is érvényesül). Hátrányát a spontán jelvesztés adja, ami miatt a mért korok a valóságnál alacsonyabbak lesznek (Sipos 2010). Amikor nincs mód az ásványok szeparálására ún. poliminerális mintával dolgozunk, ez akkor szükséges, ha kevés minta gyűjthető, ill. finom szemcseméretű (kerámia).

Attól függően, hogy a mért üledék vagy kerámia milyen anyagból áll beszélhetünk finom és durva szemcseméretű eljárásról (Wintle 2008). Finom szemcseméretű a 4-11 μm nagyságú szemcsék tartoznak, például ilyen a lösz, az ártéri lösz, és az iszap. Előnye, hogy sok szemcsét mérünk, ami magasabb beütésszámot és pontosabb mérést produkál. Ezt az eljárást fiatal kerámiáknál és megfelelő természetes kioltódással rendelkező üledékeknél (eolikus üledék) jól használható. Hátrányát az adja, hogy összetettebb dózis ráta számítás igényel és az ún. α -komponens hatása is számottevő (Aitken 1985). 100-200 μm szemcséméretű eljárásról beszélünk, ebbe a homokos frakcióba tartozik az eolikus homok, folyóvízi homok, a glaciális üledékek és a tengerparti üledékek, de kerámiáknál is használható, ha rendelkezik soványító anyaggal vagy kvarc zárványokkal. Előnye, hogy kevesebb szemcsével dolgozik és ezáltal a nem megfelelő természetes kioltódás kiszűrhetővé válik (reziduális jelek). Előnye még, hogy az α -komponens hatást ki lehet kerülni a kvarc esetében, és így pontosabb korszámítás lehetséges. Kerámiák esetén általában kevés a durva szemcse, ezért nagyon sok anyagot fel kell dolgozni, amire sok esetben nincs lehetőség.

2.2.3. A mérések fizikai háttere:

A kvarc és földpát félvezető ásványok kristályos szerkezetüknek köszönhetően alkalmasak lumineszcens mérésre (Novothny és Újházy 2000), ebben a szerkezetben három

részegységet tudunk elkülöníteni, ezek: vezetési sáv, vegyértéksáv és az úgynevezett "tiltott zóna" (2. ábra). Normál esetén az elektronok a vegyértéksávban helyezkednek el, ilyenkor vannak a legalacsonyabb energiaszinten (Sipos 2010). Környezetből érkező ionizáló sugárzás hatására az elektronok gerjesztődnek és a többlet energia hatására a magasabb energiaszintű vezetési sávba mozdulnak el, eredeti helyükön pedig egy pozitív töltésű lyukat hagynak. Az elektronok számára idővel nem áll rendelkezésre elegendő energia, hogy a vezetési sávban maradjanak, ezért visszatérnek az alacsonyabb energiaszintre, ahol betöltik a hátrahagyott pozitív töltésű lyukat. Az alapállapotba való visszatérés energia felszabadulással jár együtt, ez az energia foton képében szabadul fel, azaz kialakul a fotolumineszcens fény (Sipos 2010). A kristályok többsége rendelkezik úgynevezett kristályrács hibával, ez azt jelenti, hogy az elektronok egy része a gerjesztődés folyamán a tiltott zónában található kristályrács hibáihoz kötődve csapdázódnak. A csapdákból tárolt elektronok kiszabadításához megfelelő mennyiségű energiára van szükség, ez érkezhets fény vagy hő formájában. A csapdából kiszabadult elektron (először a vezető sávba távozik, majd) visszatérve a vegyérték sávba újra egyesül a hátrahagyott lyukkal, azaz rekombinálódik (Sipos 2010). Az elektron visszatérése ebben az esetben is fényhatással jár.



2. ábra: Lumineszcens jelenség energiamodellje (forrás: Sipos 2010)

Az idő múlásával egyre több elektron csapdázódik a környezetből érkező radioaktív sugárzás miatt. Mesterséges gerjesztés hatására ezek elmozdíthatóak, a felszabaduló fény intenzitás pedig mérhető lesz, ami a lumineszcens mérés alapja (Aitken 1998). Alapjában véve minél öregebb a minta annál nagyobb a fényhatás, bár ez az összefüggés különböző minták korának összehasonlítására nem alkalmas, mert az egységnyi idő alatt mintát ért radioaktív sugárzás mértéke eltérő lehet. Ahhoz, hogy kort mérhessünk szükség van egy

nullázódási eseményre, üledékeke esetén ezt kifakulásnak nevezzük. Üledékek kormeghatározásakor a felhalmozódás, pontosabban a betemetődés időpontját, vagyis az utolsó napfénnel való érintkezést (megvilágítást), kerámiák esetén a kiégetés időpontját tudjuk meghatározni.

2.2.4. Korszámítás

Lumineszcens kor kiszámításához alapvetően két paraméter meghatározására van szükség, a paleodózisra és a dózistrátára. A paleodózist vagy más néven egyenértékdózist lumineszcens mérés során határozzuk meg, kiszámítására több protokoll is használható.

A paleodózis kiszámításához a természetes és a laboratóriumi dózisok és az általuk generált lumineszcens intenzitások közötti összefüggés meghatározása és a dózis/lumineszcens válasz összefüggés felállítása szükséges. A protokollt mindig az adott körülményektől függően kell megválasztani, de a leginkább elterjedtek a MAAD és a SAR protokoll. Hozzáadott dózis módszert (Multiple Aliquot Additive Dose, MAAD) leginkább TL vizsgálatoknál használunk, míg az egymintás regenerációs protokollt (Single Aliquot Regeneration, SAR) inkább OSL méréseknél alkalmazzuk (Novothny és Újházy 2000). Üledékek esetében a paleodózis értékét módosítani kell a reziduális szint értékével. Dózisteljesítmény az egységnyi idő alatt mintát ért radioaktív és kozmikus sugárzást jelenti. A radioaktív sugárzás magából a kerámiából és az azt befoglaló üledékből származik. A két tényező összehozásával az alábbi képlet írható fel:

$$Kor (ka) = \frac{Paleodózis (Gy)}{Dózisteljesítmény (Gy/ka)}$$

(Gy=Gray, radioaktív sugárzás hatására az anyag egységnyi tömegében elnyelt energia mennyisége; ka=ezer év (Sipos 2010))

2.2.5. TL alkalmazása kerámiákon

Az 1960-as évektől kezdődően folynak lumineszcens mérések. Kezdetben csak a termolumineszcens technika létezett, majd később a TL alapul véve kifejlesztették az optikailag stimulált lumineszcencia módszert. Az elmúlt 60 év alatt egyre jobban elterjedt és elfogadottá vált a lumineszcens kormeghatározás mind a földtudományi, mind az archeometriai vizsgálatok területén. Magyarországon az első termolumineszcens

kormeghatározást a paksi és mendei löszfeltárások mintáin végezték 1979-ben Borsy Zoltán és társai (Novothny és Újházy 2000). TLormeghatározást archeológiában (kerámiák) és a földtudományokban (üledékek) is egyaránt alkalmazni tudjuk (Warne 1997), de termolumineszcens méréseket leginkább égetett tárgyak korának meghatározására használnak ma leginkább. Ezeknek a vizsgálatoknak a célja és a vizsgálat tárgyát képező anyagok is változatosak lehetnek.

A TL vizsgálatok alkalmasak régészeti ásatásokon előkerült kerámiák korának meghatározására, melyre jó példák a Nusaybin-i (Mardin, Törökország) temetkezési hely feltárása során előkerült cserépdarabok (Meric et al. 2009) és a LUMEA NOUĂ-i (Románia) újkőkorszaki kerámiák (Benea et al. 2007) TLormeghatározása. Az ásatási gödrökben előkerült más tárgyak korának meghatározására is esély nyílik (Sipos et al. 2012) vagy esetlegesen két különböző korú kultúr réteg elkülönítése a megtalált kerámiák segítségével (Merva et al. 2012).

Építőanyagok datálásával az épületek kora is megadható, amire az egyik legalkalmasabb anyagot a különböző téglák nyújtják. Malbork (Lengyelország) Német Lovagrend kastélyából vett öt téglaminta TLormeghatározás (Chruscinska et al. 2008) erre egy kiváló példa. Másik megközelítés, amikor ismert korú téglák datálásával próbálják meghatározni a mérési hibákat, mint például római kori bélyeges téglákon (Tóth et al. 2014), az ilyen jellegű mérésekkel és a technika fejlődésével még pontosabban tudunk korokat számítani a jövőben. Más építőanyagokon is történtek TLormeghatározások, mint például Japánban a Shin-Yakushiji templom tetőcserepén (Nakata et al., 2007), bár a tetőcserepek ritkán maradnak meg érintetlenül hosszú időn át.

Amennyiben mód van rá érdemes a TLormeghatározás eredményeit másormeghatározási módszerek eredményeivel is összevetni, hogy az esetleges hibák kiszűrhetővé váljanak, erre alkalmas a radiokarbonormeghatározás (Benea et al. 2007, Wintle 2008) és a dendrokronológia (Bailiff 2007).

Egy másik felhasználási terület a műtárgyak (szobrok) eredetiségének a vizsgálata, ahol a megállapított kor segítségével kiszűrhetőek a modern hamisítványok (Sipos et al. 2009). Pontos értékre ebben az esetben nincs szükség, és nem is lehet meghatározni, mert a mintát régen körülvevő anyag sugárzását nem ismerjük (bizonytalan dózisteljesítmény) és a mérésre kinyerhető minta mennyisége is korlátozott (Sipos et al. 2010).

3. Módszerek

Fontos, hogy a teljes munkafolyamat sötét laborban zajlik (kivéve a gamma spektroszkópia). A laborban csak speciális világító egységet lehet használni, mert a napfény és egyéb fények jelvestést okoznának a mintában. A vizsgálat során egy tompított sárga fényű kis nyomású Na lámpa fényforrást alkalmaztunk, mivel polimineralikus mintával dolgoztunk. A vizsgálat főbb lépései az alábbiak: mintagyűjtés, minta feltárása és végül a termolumineszcens mérés.

3.1. Mintagyűjtés



3. ábra: Téglák kiemelése a D-i fal maradványából a szegedi alsó rakparton. A) a szegedi vár alaprajzán megjelölt feltárási helyszín, B) C) a szegedi alsó rakparton feltárt falszakasz D) a feltárt téglák.

2014 márciusában a szegedi rakpart felújítása során feltárt várfalszakaszból vett 5db téglá feltehetően nem képezte az alap részét, ezért fennállhat annak az esélye, hogy a téglák egy részét egy későbbi felújítás során építették be a falba (3. ábra).

A mérésre szánt minta meggyűjtése előtt a kerámiák külső 0,2-0,5 mm részét el kell távolítani, mert a téglák külső felszínét érő napfény, a külső α és β sugárzás befolyásolná a mérési eredményeket. Az eltávolított részt a háttér meghatározásához kell később felhasználni. A mintavétel a kerámiák belsejéből történt és megközelítőleg 0,8-1 gramm anyagra van szükség (4. ábra). Négy téglában (OSZ 996, 997, 998, 1000) reszelővel történt a mintagyűjtés, egy téglánál (OSZ 999) viszont a nagy keménységéből fakadóan alacsony fordulatszámú fúrót (wolfram karbid fúrófejjel) kellett használni (Tóth 2014). Lényeges, hogy a porítás/mintagyűjtés során a lehető legkevesebb hőt generáljuk a jelvéstés elkerülése végett (főként fúrásnál kell erre figyelni).





4. Ábra: Gyűjtött minták, OSZ 999 fűrassal, OSZ 996, 997, 998, 1000 reszelővel.

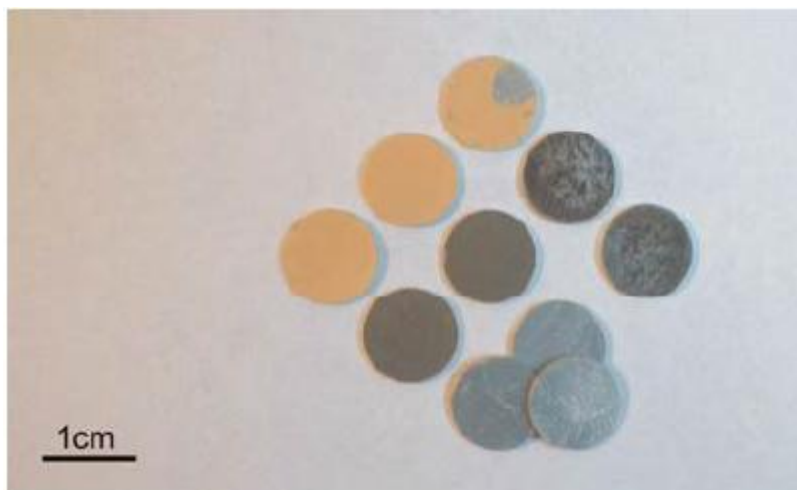
3.2. Feltárás

Mivel csak a kvarc és földpát szemcsékre van szükség, ezért a hamis lumineszcen jel elkerülése végett a polimineralikus mintákat savazással kezeltük. Az eljárás folyamán 10%-os sósavat (HCl) használunk a karbonátok és 10%-os hidrogén-peroxidot (H_2O_2) a szerves anyag eltávolítására, ha ezeket nem távolítanánk el a mintában könnyen hamis lumineszcens jelet eredményezhetnének (Kiss 2014).

A savas kezelést követően a minta szuszpenziójának pH értékét semlegesre állítottuk. A pH beállítását 2M-os NaOH és amennyiben túl lúgossá vált a szuszpenzió 10%-os HCl alkalmaztunk.

A feltárás során a 4-11 μm -es szemcsefrakciót leválasztásra került (finom-szemcsés eljárás). A szeparálás ülepitéssel történt a Stokes törvény alapján. Centrifuga csőben 6 cm acetone folyadékoszlopban 200-300 mg mintát ülepitünk. 1 perces rázás után először 20 perces ülepitéssel a 4 μm alatti, majd egy 2 perces ülepitéssel a 4-11 μm közötti frakciót választottuk le dekantálás segítségével (minden lépést háromszor ismételtünk meg).

A megfelelő szemcsefrakció szeparálását követően mintákat téglacsoportonként 24 db 1 cm átmérőjű korongra ülepitettünk. A korongok üvegcsövekben lettek elhelyezve és minden csőbe 2 ml acetonos szuszpenzió került (a szuszpenziót 50 ml acetone és 60 mg minta alkotja, így hozzávetőleg 2,5 mg mintát vittünk fel az egyes korongokra). A korongok közül csak azokat használtuk, ahol teljes volt a fedettség (5. ábra).



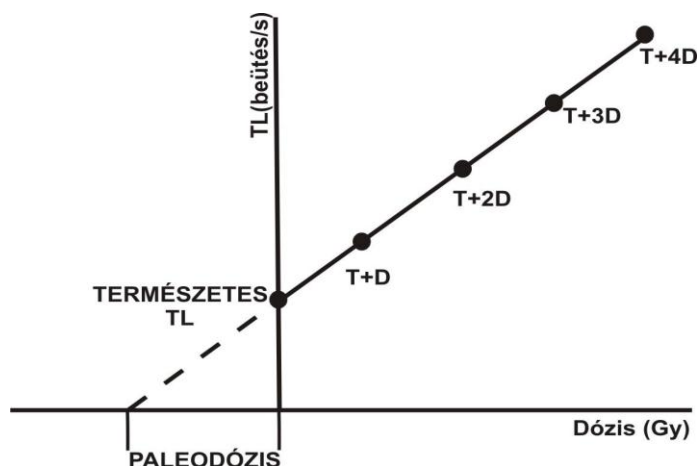
5. ábra: 1 cm átmérőjű alumínium korongok különböző minőségűfedettséggel (forrás: Sipos et al. 2010).

3.3. Termolumineszcens mérések

Mérések RISØ TL/OSL-DA-15 típusú műszerrel történtek, amely $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ béta sugárforrással rendelkezik, a méréshez használt szűrők: Corning 7-59 és Schott és BG-39. A mérések nitrogén atmoszférában zajlanak, mert a más környezetben jelentkezhetnének spontán lumineszcens jelenségek, ami befolyásolhatná a méréseket.

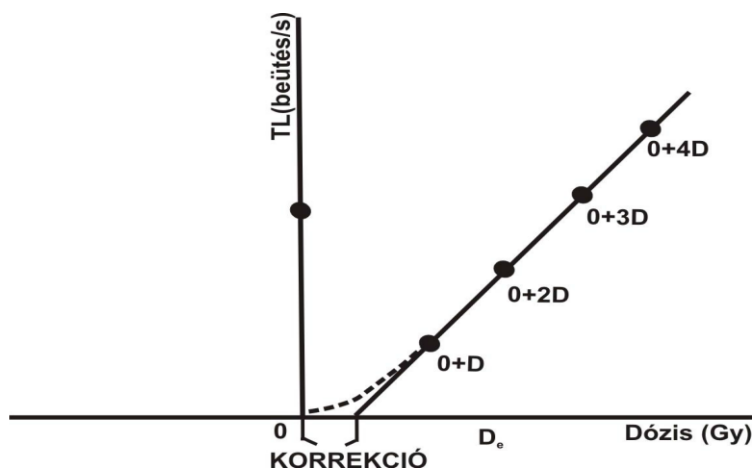
TL mérés során hevítés hatására lumineszcens jelek képződnek, ha a lumineszcencia intenzitását a hőmérséklet alapján ábrázoljuk, akkor egy izzási görbét kapunk. Minél mélyebben van egy csapda a vezetési sáv alatt, annál stabilabb és annál több energia kell az elektron kiszabadításához (lásd 8 oldal), tehát a stabil csapdákhöz magas hőmérsékleti érték tartozik az izzítási görbén (Novothny és Újházy 2000). Az instabil csapdák $250\text{--}300^\circ\text{C}$ alatt találhatók, ezek lumineszcens jelét a kiértékelés során nem használtuk fel. A mérés során az additív módszert alkalmaztuk.

Hozzáadott dózis módszer (MAAD) alkalmával mintákat korongcsoportokra bontjuk, egyik csoportot a természetes jel mérésére, a többi mesterségesen besugározzuk. A csoportok növekvő radioaktív besugárzást kaptak (1,2-2,4-4,8 Gy). Az eredményekből létrehozható a dózis/lumineszcens válasz görbe, amelyen visszavezethető a kezdő időpontban feltételezett zéró lumineszcens intenzitás és az azóta generált természetes intenzitás közötti radioaktív dózisban kifejezhető különbség (6. ábra). Ehhez feltételeznünk kell, hogy a lumineszcens jel növekedése végig lineáris volt, máskülönben nem tudnánk extrapolálni a görbét.



6. ábra Egy elvi hozzáadott dózis/lumineszcens válasz görbe (forrás: Tóth 2014).

Valóságban a kezdeti lumineszcens jel növekedése nem feltétlenül lineáris (ún. szupralinéris a jel növekedése), ezt a jelenséget regenerációs dózis módszerrel lehet vizsgálni. Pontosítani kell a dózis/lumineszcens válasz görbe kezdeti szakaszát. A besugárzás előtt a természetes lumineszcens jelet hevítéssel törölni kell. Hozzáadott dózis módszerhez hasonlóan itt is mintacsoportokat kell létrehozni és ezeket növekvő dózisokkal kell besugározni (0,8-2,4-4,8 Gy). A válaszfüggvény megszerkesztésekor megkapjuk a korrekciót, amit az x tengely metszéspontja és az origó közti különbség ad meg (7. ábra). MAAD mérésre téglánként három korongcsoport volt, csoportonként három koronggal. Regenerációs dózis mérésére is 3 korongcsoport volt, de itt csoportonként 2 korong állt rendelkezésre. A természetes jel mérésére téglánként változóan 3-4 korong jutott.



7. ábra: Egy elvi regenerációs dózis/ lumineszcens jel válasz görbe (forrás: Tóth 2014).

3.4. Gamma spektroszkópia

A dózisteljesítmény a mintát ért kozmikus és radioaktív sugárzás intenzitásából számítható, tehát egységnyi idő alatt mennyi sugárzás érte a mintát. A kozmikus sugárzás esetén a nagyon kicsi ingadozások miatt és a téglák helyzetét alapul véve az érték 0,18 mGy/év-re becsültük. A dózisteljesítmény értékét főként a mintát ért α , β és γ sugárzások határozzák meg, amiknek forrása a mintában és környezetében fellelhető ^{238}U , ^{232}Th , és ^{40}K izotópok. A különböző sugárzás típusok áthatoló képessége nem egyezik meg, ezért fontos tényező a szemcseméret. α részecskék áthatoló képessége néhány tíz μm , a β részecskéké 1-2 mm, a γ részecskéké 30 cm (Novothny és Újházy 2000). Téglák és kerámiák esetén (finomszemcsés eljárás) az α és β sugárzás értékét a minta anyagából, a γ sugárzás értékét a külső (vizsgált tárgyat körülvevő) anyagból vesszük, részben ez miatt nem használjuk a külső 2-3 mm-es részt lumineszcens mérésre. A radioaktív elemtartalom, azaz U,Th,K meghatározásához több mérési módszer is létezik: gerjesztéssel (K: láng fotometria, röntgen fluoreszcencia; U, Th: induktív csatlakozású plazmatömegspektrometria), vagy a minta aktivitásának közvetlen mérésével (gamma spektroszkópia, béta számlálás, alfa számlálás (Sipos 2010)).

Gamma spektroszkópiás mérések a radioaktív anyagok bomlása során keletkező γ – sugarak energiáját és az egyes izotópokhoz köthetően (^{238}U , ^{232}Th , és ^{40}K) lejátszódó bomlások mennyiségét méri. A mérés során Ge detektorral az egyes izotópok (vagy leányelemeik) jól elkülöníthetőek, viszont ezért cserébe hosszabb mérési időre van szükség. Gamma spektroszkópia a Csongrád Megyei Kormányhivatal Népegészségügyi Szakigazgatási Szerv sugárbiológiai laboratóriumában germánium detektoros Canberra típusú gamma spektrométerével lett mérve. Jelen dolgozatban a radioaktív elemtartalmat a várból más alkalommal gyűjtött téglák és üledékminták alapján határoztuk meg, a most gyűjtött téglák gamma spektroszkópiás mérése folyamatban van. Mérésre téglánként 50 ml anyag lett elküldve, amiket 30 napig állni hagytunk a tartóedényében (radon egyensúly beálltaig). Mérési eredményekből a fajlagos aktivitást (Bq/kg) lehet kiszámítani, ebből pedig konverziós együtthatókkal a dózisteljesítményt meghatározható.

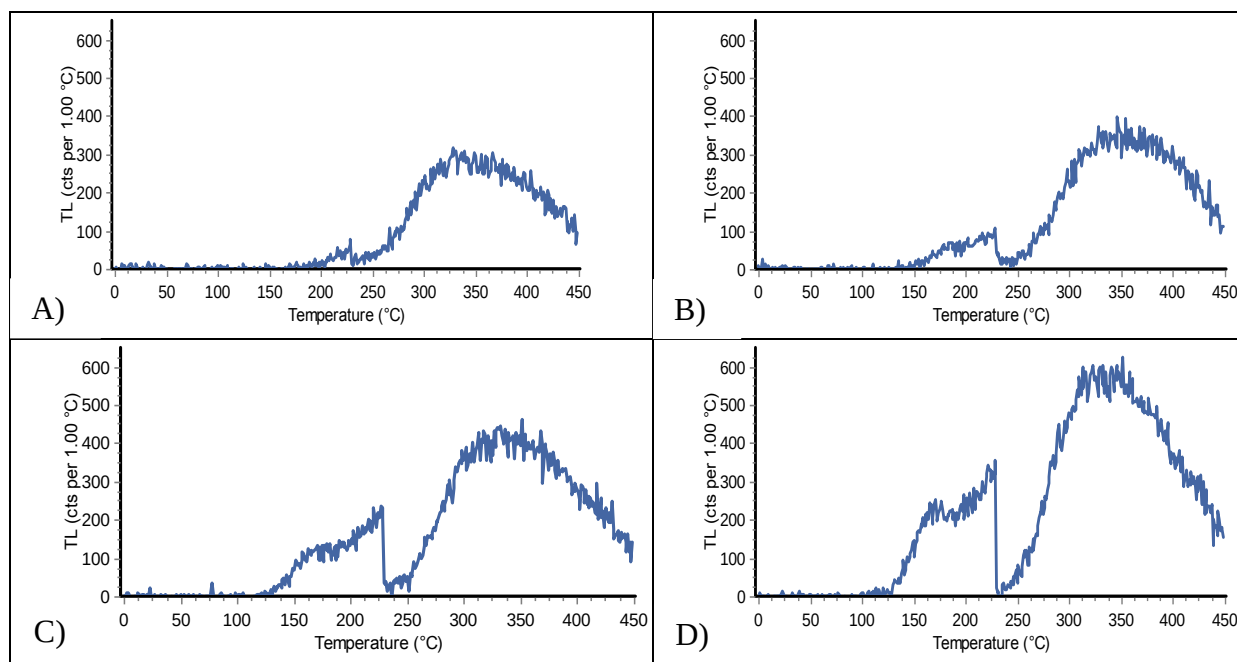
Fontos tényező még a mintának és környezetének nedvességtartalma, mert a víz nagyobb mértékben nyeli el a radioaktív sugárzást, mint a minta anyaga. 1%-os nedvességtartalom a mérésben (korban) 3-4%-os eltérést is eredményezhet, bár azt is mérlegelnünk kell, hogy a minta nedvességtartalma nem állandó érték, a körülmények folyamatosan változhatnak (Sipos 2010). A téglák vízzel telítettek voltak így ezt vesszük alapul számolásnál (a Tisza közelsége miatt folyamatosan kivolt téve a víz hatásának, bár még így is számolnunk kellene némi ingadozással, főleg a folyó szabályozása előtti időszakban).

4. Eredmények

4.1. Egyenérték dózis meghatározása

Az egyenérték dózis (D_e) kiszámolásához meg kell állapítani, hogy melyik értéktartományban integráljunk a TL görbét a hozzáadott dózis/lumineszcens összefüggés meghatározásához. A hozzáadott dózis kiértékelésével kapott eredményt a regenerációs mérések során kiszámított korrekciós értékkel pontosítva kapjuk meg az egyenérték dózist.

Az alábbi ábrán a minták által generált TL görbékre láthatóak példák (8. ábra), ezen adatok kiértékelése történik. A görbék az adott hőmérsékleten kapott beütések számát mutatják. A 230°C körül látható visszaesés egy hosszabb melegítési fázisnak köszönhető, az ettől kisebb hőmérsékleten kapott jeleket instabil csapdák generálták, így csak a 230°C-tól magasabb hőmérsékleten kapott jeleket vizsgáljuk (mert ezeket stabil csapdák generálták).

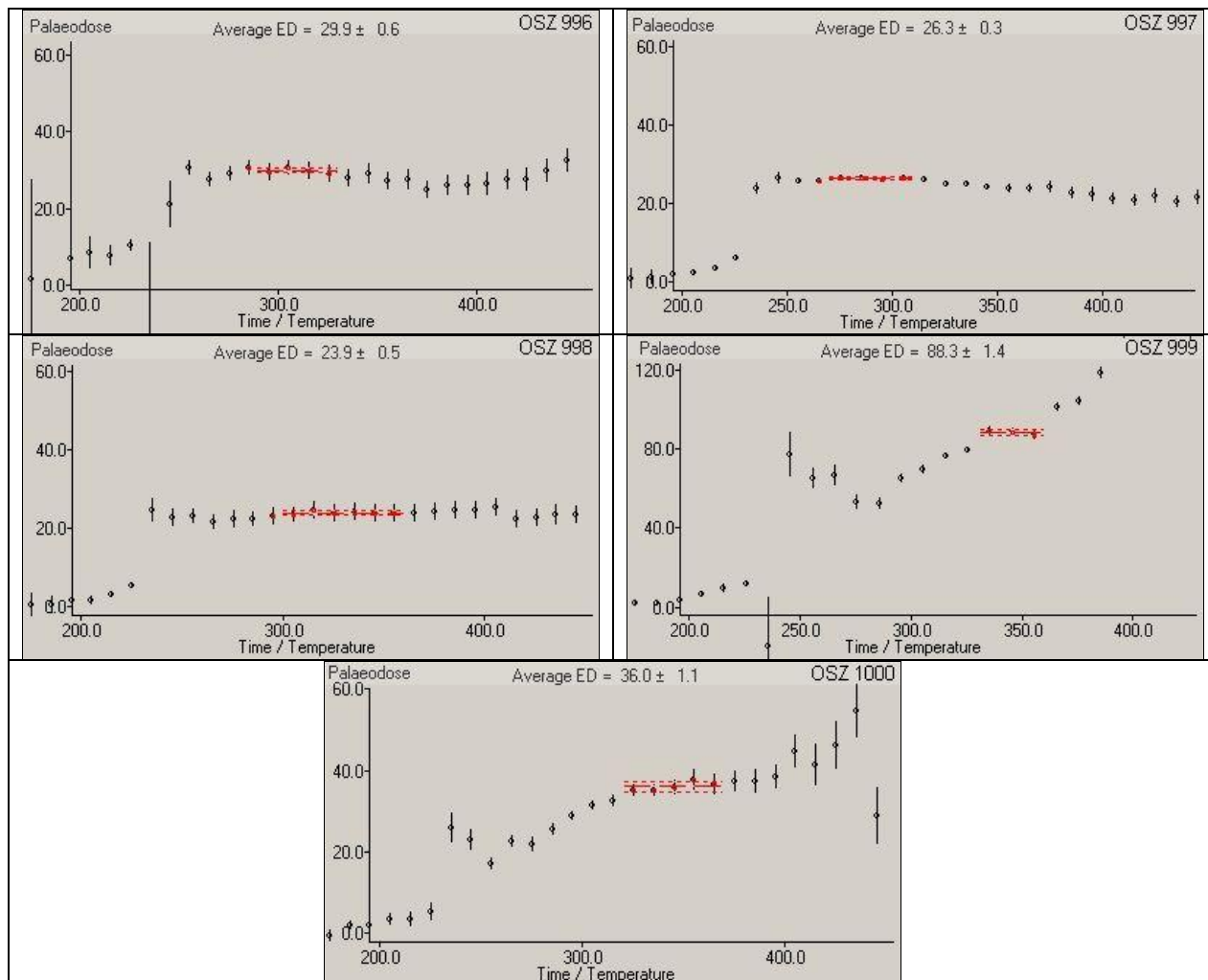


8. ábra: Az OSZ998 minta reprezentatív TL görbéi. A) természetes jel, B) C) D) hozzáadott dózisokra adott lumineszcens válaszok.

4.1.1. Egyenérték dózis plató tesztek

Plató teszt során 10°C-onként vizsgáltuk a mért egyenértékdózisokat, hogy megállapítsuk mely hőmérsékleti tartományban viselkedett a mintánk a legstabilabban, tehát a TL görbe mely szakaszát kell vizsgálni a továbbiak során (9. ábra). OSZ 996-os mintánál 290 - 320°C között, OSZ 997-es 270 - 310°C között, OSZ 998-as 300 - 360°C között találhatóak a platóik, mindhárom minta jól kivehető platóval rendelkezik. OSZ 999 és az OSZ 1000 minták

platói nem mutatnak akkora jel stabilitást, mint az előző három minta, de az OSZ 1000 platója még stabilnak mondható. Az OSZ 999-es minta tűnik a legkritikusabbnak, nagyon rossznak mondható a platója. OSZ 999-es platója 320 - 360°C között van, OSZ 1000-es mintáé 320 - 370°C közt van.

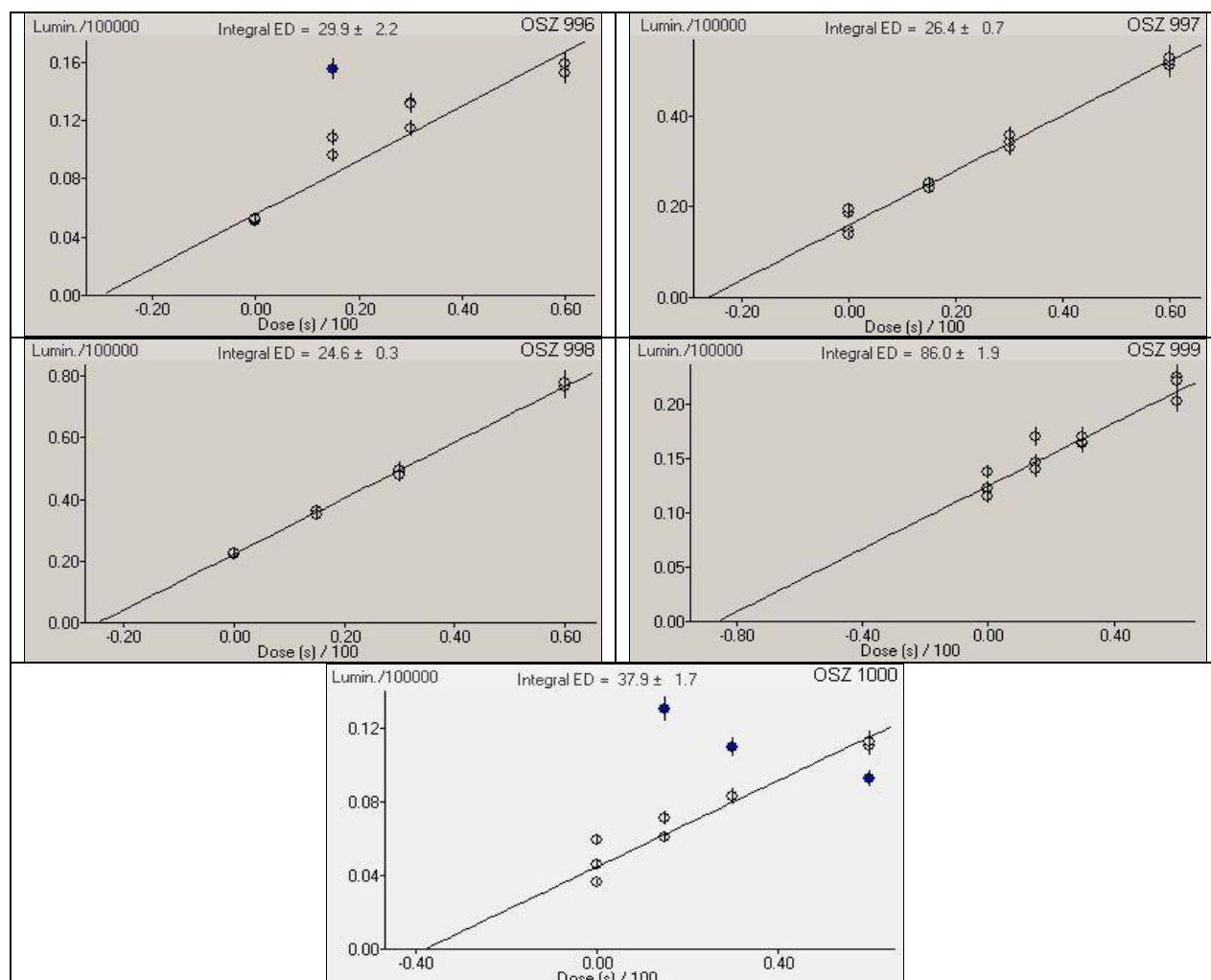


9. ábra: A minták egyenérték dózis platói.

4.1.2. Hozzáadott dózis lumineszcens válasz összefüggések (MAAD)

A plató meghatározásával már a megfelelő tartományban tudjuk vizsgálni a hozzáadott dózisokat (10. ábra). Az eredmények s-ban vannak, ami a besugárzás időtartamát fejezi ki, ha ezt beszorozzuk a sugárforrás teljesítményével, akkor az eredményünket Gray-be (Gy) kapjuk meg. Gray az adott idő alatt mintát ért dózis értékét fejezi ki. Az OSZ 996 esetében megfigyelhető, hogy a mért korongok eredményei nehezen illeszthetők egy egyenesre, ezért a relatív hiba 7% feletti. A kapott egyenérték dózis értéke $2,42 \pm 0,18 \text{ Gy}$. Az OSZ 997 és OSZ 998 esetében mindkét eredmény jól illeszkedik egy egyenesre, ezért a relatív hibájuk is alacsony, 997-nél 3% alatti, a másikonál ez kicsit több mint 1%. Egyenérték dózis értéke a

997-nél $2,14 \pm 0,06 \text{ Gy}$, a 998-nál $1,99 \pm 0,02 \text{ Gy}$. OSZ 999 minta mutat némi szórást, vagyis egy egyenesre nehezen illeszthetőek. Magas egyenérték dózis lett mérve $6,97 \pm 0,15 \text{ Gy}$, a relatív hibája kicsit több mint 2%. Az OSZ 1000 esetében a mért adatok nehezen illeszthetőek egy egyenesre, ezért relatív hibája a mérésnek 5% lett. A kapott egyenérték dózis értéke $2,96 \pm 0,15 \text{ Gy}$.

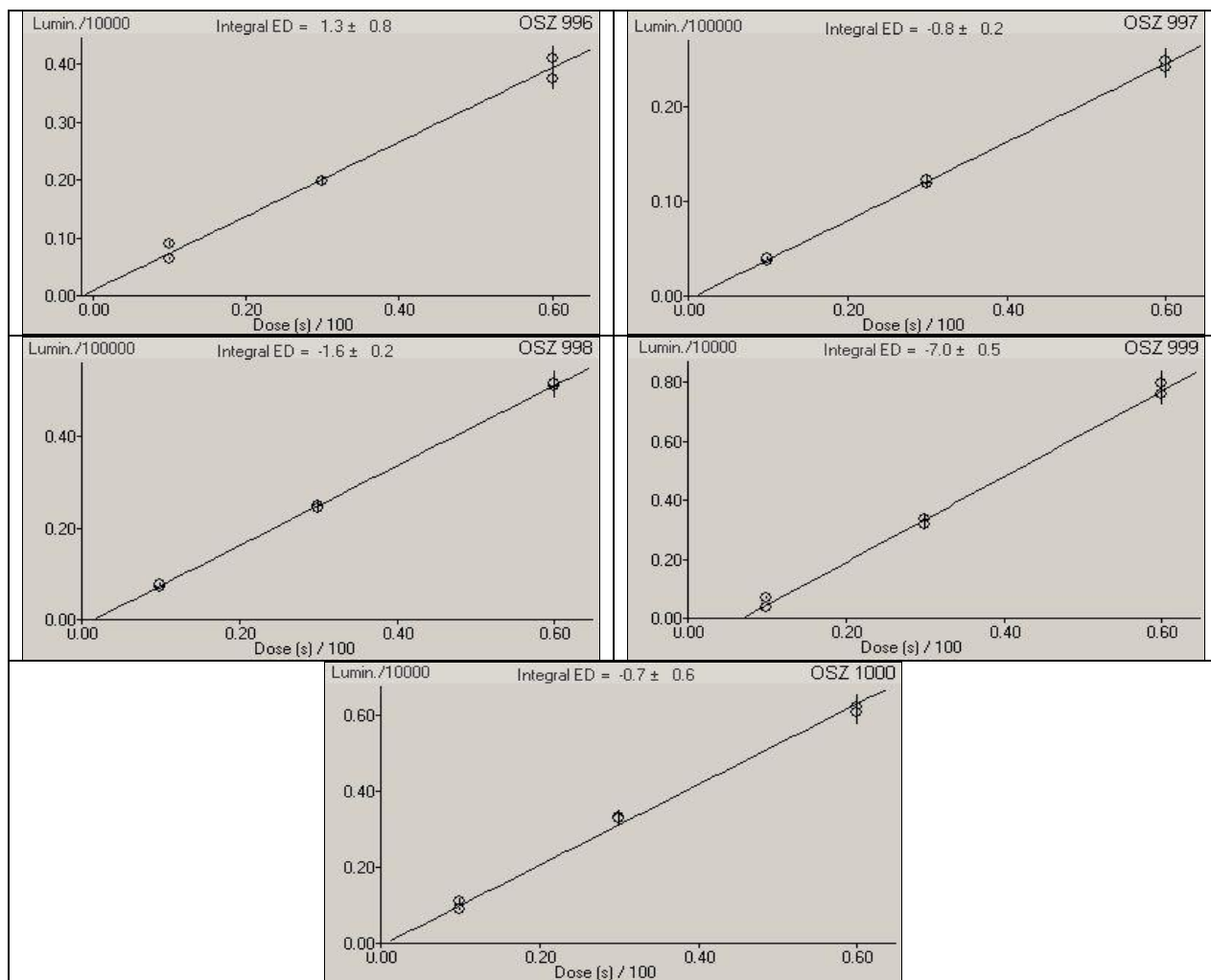


10. ábra: Hozzáadott dózis lumineszcens válasz összefüggések (MAAD), kékkel az elemzésből kizárt korongok vannak jelölve.

Korong kizárása abban az esetben szükséges, ha a mért adat nagyon eltér a többitől. OSZ 996 minta esetében csak egy korongot zártunk ki a mérésből (. ábra). Az OSZ 1000 minta mért adatainál több korong is kizárásra került, így ennél már érdemes további méréseket végezni, hogy miből adódik ez az instabilitás (ezt erősíti a mért magasabb dózis is, ami arra utalhat, hogy öregebb a többinél).

4.1.2. Dózis korrekció regenerációs mérésekkel (REG)

A hozzáadott dózis módszer során kiszámolt eredmények még korrekcióra szorulnak, ezért regenerációs méréseket is végeztünk (11. ábra). A hozzáadott dózisokhoz viszonyítva ezek a korrekciós értékek, a következők: Az OSZ 1000 mintánál a legalacsonyabb 2%-os ez az érték, az OSZ 997 2,8%, OSZ 996 4,5%, OSZ 998 6,5%, a legmagasabb értékkel az OSZ 999 minta rendelkezik 8,1%-al, ami valószínűleg az instabil plató miatt van.



11. ábra: Dózis korrekció értékei regenerációs mérésekkel (REG).

A korrekciót hozzáadva MAAD eredményeihez megkapjuk a egyenérték dózist, (1. táblázat). A táblázatból jól kitűnik a OSZ 999 és OSZ 1000 minta nagyobb paleodózis (D_e) értéke, ami akár egy idősebb korra is utalhat.

1. Táblázat: A minták plató hőmérsékletei, MAAD illet REG értékeiből számolt egyenérték dózisa (D_e) és ennek a relatív hibája.

Minta	Plató (°C)	D_e (MAAD) (Gy)	D_e (REG) (Gy)	D_e (Gy)	relatív hiba (%)
OSZ 996	290-330	$2,42 \pm 0,18$	$0,11 \pm 0,06$	$2,32 \pm 0,24$	10
OSZ 997	270-310	$2,14 \pm 0,06$	$-0,06 \pm 0,02$	$2,20 \pm 0,07$	4

OSZ 998	300-360	1,99±0,02	-0,13±0,02	2,12±0,04	2
OSZ 999	320-360	6,97±0,15	-0,57±0,04	6,40±0,18	3
OSZ 1000	320-370	2,96±0,15	-0,06±0,05	2,90±0,19	7

4.2 Dózisteljesítmény

A dózisteljesítmény kiszámolásához szükséges gammaspektroszkópiás mérések még nem fejeződtek be, ezért korábbi mérési eredményeket kellett használni (ezek a szegedi vár korábban megmért téglái és az azok körül vett üledékek). A mintát ért α és β sugárzás meghatározásához öt darab téglát (OSZ 789, OSZ 790, OSZ 801, OSZ 802, OSZ 803) ^{238}U , ^{232}Th , és ^{40}K átlagát és szórását vettük alapul (2. táblázat).

2. táblázat: Minták becsült U, Th és K tartalma.

Minta	Típus	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)
OSZ 789	tégla	5,87±0,59	16,51±1,65	2,12±0,11
OSZ 790	tégla	5,20±0,52	16,33±1,63	2,30±0,11
OSZ 801	tégla	5,22±0,52	14,69±1,47	2,15±0,11
OSZ 802	tégla	4,95±0,49	13,13±1,31	2,21±0,11
OSZ 803	tégla	4,79±0,48	14,74±1,47	2,14±0,11
átlag	-	5,20±0,41	15,08±1,38	2,18±0,07
OSZ 789	üledék	2,19±0,22	10,16±1,02	1,76±0,09
OSZ 790	üledék	2,46±0,25	8,14±0,81	1,34±0,07
OSZ 801	üledék	2,74±0,27	9,05±0,90	1,54±0,08
OSZ 802/1	üledék	2,47±0,25	10,82±1,08	1,71±0,09
OSZ 802/2	üledék	2,95±0,30	9,87±0,99	1,58±0,08
átlag	-	2,56±0,29	9,61±1,04	1,59±0,16

Víztartalmat viszont a vizsgálat tárgyát képező téglákból mértünk (nedves tömeg- száraz tömeg)/száraz tömeg) (3. táblázat) OSZ 999 téglát alacsony százalékos nedvességtartalma a kevés pórustérrel magyarázható.

3. táblázat: Minták mért víztartalma (H_2O).

Minta	H_2O (%)
OSZ 996	27±5
OSZ 997	16±5
OSZ 998	15±5
OSZ 999	10±5
OSZ 1000	29±5

γ sugárzást korábbi téglák körül vett öt darab üledék (OSZ 789, OSZ 790, OSZ 801, OSZ 802/1, OSZ 802/2) átlag és szórás értékeit használtuk fel a számoláshoz (2. táblázat). Téglák

telítve voltak vízzel, amit a dózisteljesítmény számolásakor figyelembe kellett venni (a víz leárnyékolja a szemcséket ért α , β és γ sugárzást) (4. táblázat).

4. táblázat: a mintákat ért becsült α , β γ nedves értékei (D^*_α , D^*_β , D^*_γ), a kozmikus sugárzás értéke (D^*_{koz}) és az ezekből kiszámított dózisteljesítmény ($D^*_{\text{összes}}$)

Minta	D^*_α (Gy/ka)	D^*_β (Gy/ka)	D^*_γ (Gy/ka)	D^*_{koz} (Gy/ka)	$D^*_{\text{összes}}$ (Gy/ka)
OSZ 996	1,50±0,33	2,13±0,09	0,95±0,11	0,18±0,02	4,76±0,36
OSZ 997	1,70±0,38	2,37±0,10	0,95±0,11	0,18±0,02	5,21±0,41
OSZ 998	1,72±0,38	2,40±0,10	0,95±0,11	0,18±0,02	5,25±0,41
OSZ 999	1,83±0,41	2,53±0,11	0,95±0,11	0,18±0,02	5,50±0,44
OSZ 1000	1,47±0,33	2,09±0,08	0,95±0,11	0,18±0,02	4,69±0,36

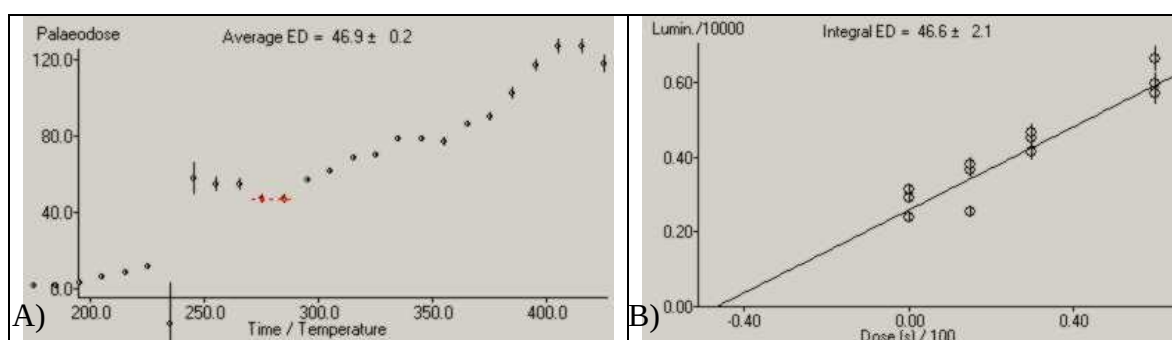
Pontos kormeghatározáshoz szükség van a vizsgált téglák ^{238}U , ^{232}Th , és ^{40}K összetételének meghatározására, mert a mostani értékekkel csak becsülni tudjuk a dózisteljesítményt és ezzel a korukat is, de feltételezhetően hasonló értékeket kapunk, mint a mostaniak, így ezek az adatok alkalmasak nagyságrendi becslésre.

4.3. Számított korok

Paleodózist (D_e) elosztva a dózisteljesítménnyel (D^*) megkapjuk a koradatokat ezer évben (ka). A relatív hiba OSZ 997, OSZ 998 és OSZ 99 esetén 8%, OSZ 1000 10% és az OSZ 996 legnagyobb 13% (5. táblázat). Az OSZ 996 téglá 490±60 éves, az OSZ 997 téglá 420±40 éves és az OSZ 998 téglá 400±30 éves, így ez a három téglá török korra datálható. Az OSZ 999 esetén a mérések alapján a téglá 1370±110 éves, ez az érték viszont régészeti szempontból nehezen értelmezhető, mérési eredményét valószínűleg el kell vetni. A téves koradatot a nagyon rossz plató okozhatta, mert lehetséges, hogy nem a megfelelő hőmérsékleti tartományban (320 - 370°C) integráltuk ki az adatokat. Más plató választásával (270-290°C) ugyan kihozható lenne, hogy a minta 790±70 éves, azaz középkori (1220±70 évek), de az eredmények nem lesznek biztosak, így a minta vagy téglá nem alkalmas TL mérésre (12. ábra). Az előzőektől eltérő eredményt adott az utolsó OSZ 1000 téglá, amely a 640±60 éves, azaz a középkorra tehető a téglá készítése. A régészek ugyan a mért kornál egy évszázaddal korábbra teszik a vár építését, de egy későbbi új TL mérés és saját gammaespektroszkópiás adataival helyesbített dózisiráta akár ezt a kort is kiadhatja.

5. táblázat: Minták paleodózisából (D_e) és a dózisteljesítményéből ($D^*_{\text{összes}}$) kiszámított kor ezer évben (ka) , ennek relatív hibája és évszámban kifejezett értéke.

Minta	D_e (Gy)	$D^*_{\text{összes}}$ (Gy/ka)	Kor (ka)	relatív hiba (%)	évszám
OSZ 996	$2,32 \pm 0,24$	$4,76 \pm 0,36$	$0,49 \pm 0,06$	13	1520 ± 60
OSZ 997	$2,20 \pm 0,07$	$5,21 \pm 0,41$	$0,42 \pm 0,04$	8	1590 ± 40
OSZ 998	$2,12 \pm 0,12$	$5,25 \pm 0,41$	$0,40 \pm 0,03$	8	1610 ± 30
OSZ 999	$7,53 \pm 0,18$	$5,50 \pm 0,44$	$1,37 \pm 0,11$	8	640 ± 110
OSZ 1000	$3,01 \pm 0,19$	$4,69 \pm 0,36$	$0,64 \pm 0,06$	10	1370 ± 60



12. ábra: Az OSZ 999 minta egy másik A) egyenérték dózis platója, és az ezáltal kiszámolt B) hozzáadott dózis lumineszcens válasz összefüggés.

5. Összegzés

Összességében nézve a kapott koradatok és mérési eredmények biztatóak. Az OSZ 996, OSZ 997 és OSZ 998 téglák esetén a plató teszt, hozzáadott dózis és a regenerációs dózis eredmények alapján további vizsgálatokat nem igényelnek. Keletkezésüket a török időkre tehetjük, ami megerősíti azt a tényt, hogy a törökök átépítették, felújították a szegedi várat és összhangban van azzal, hogy a törökök építették a várat. Az OSZ 999 téglá valószínűleg anyagából fakadóan lumineszcens mérésre alkalmatlan. Anyagát tekintve azért is érdekes, mert sokkal keményebb, mint a többi téglá. A plató teszt során instabilitást mutatott, a hozzáadott dózis értéke pedig sokkal magasabb volt, mint a többi mintának, ezért is produkált ilyen nagy koradatot (bár ha máshol vesszük a platót akár értelmezhető eredmény is kapható). Régészeti adatokat is felhasználva egyértelműnek tűnik, hogy ez a koradat nem megfelelő.

OSZ 1000 laborkódú téglá középkori koradattal szolgált, a téglá kiégetésének időpontját az 1370 ± 60 évre tehető. A plató teszt jó, stabil viselkedésre utal és a MAAD mérés eredményében nagyok voltak a különbségek, ami miatt több korongot is ki lett szedve az eredményből, ez pedig bizonyos mértékben változtathat az eredményen. Egyenérték dózist ismétlő méréssel kell kiszámolni, korongcsoportonként 5 koronggal a pontosabb mérés érdekében.

További téglák mérésére lesz szükség a jövőben a pontosabb eredményhez, mert egy téglá mérési eredménye még nem biztos, hogy bizonyító erejű. A mostani eredmények alapján a vár középkori építése biztosra nem vehető, hisz a téglát akár később is beépíthették.

Érdemes lenne még megvizsgálni a Tisza vízszintváltozásait a folyószabályozás előtti időszakban, mert az alacsonyabb vízszint miatt a téglák csak árvizek idején kerülhettek víz alá, így pedig a dózisteljesítményre más értéket kapnánk.

6. Irodalomjegyzék

- AITKEN M.J.** 1985. Thermoluminescence Dating. – Academic Press, London.
- AITKEN M. J.** 1998: An Introduction to Optical Dating. – Oxford University Press. London.
- BAILIFF K** 2007: Methodological developments in the luminescence dating of brick form english late-medieval and post-medieval buildings. – *Archeometry* 49/4. pp. 827-851
- BENEA V., VANDENBERGHE D., TIMAR A., HAUTE P. V. D., COSMA C., GLIGOR M., FLORESCU C** 2007: Lumineszcence dating of neolithic ceramics from Lumea Noua, Romania. – *Geichronometria* 28 pp 9-16.
- BORSY Z., FÉSZERFALVI J., SZABÓ P. P.** 1979: Thermoluminescence dating of several layer of the loess sequence at Paks and Mende (Hungary). – *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 1979, pp. 451-459.
- BOZSÓ G, DEZSŐ J, HORVÁTH Zs, KISS T, KOROKNAI L, NYÁRI D, SCHUBERT G, SIPOS Gy.** 2010: Fotolumineszcens kormeghatározás (OSL). – In *Földrajz határok nélkül/ Geografické poznatky bez hraníc*, Mezei I., Barabas D. (szerk). MTA Regionális Kutatások Központja, Pécs. pp. 22–31.
- CHRISCINSKA A., JESIONOWSKI B., OCZKOWSKI H. L., PREZGIETKA K. R.** 2008: Using TL single-aliquot regenerative-dose protocol for the verification of the chronology of The Teutonic Order Castle in Malbork. – *Geochronometria* 30. pp. 61-67.
- CS. SEBESTYÉN K.** 1928: Szeged középkori vára – *Dolgozatok*, pp. 257-293.
- FEATHERS, J. K. and RHODE, D.** 1998: Luminescence dating of protohistoric pottery from the Great Basin. – *Geoarchaeology* 13. pp.287-308.
- HORVÁTH F.** 2006: A szegedi vár története – *Tanulmányok, Castrum*, 4. pp. 5-30.
- HORVÁTH F. – FOGAS O.** 2011: A szegedi vár és gótikus vártemplomának régészeti kutatása 1999 és 2010 között. – *Archeológiai Értesítő* 136. pp. 237-267.
- KISS T.** 2014.: Geomorfológiai vizsgálati módszerek. – *JATEPress, Szeged*. pp. 164-177.
- MERIC N., ATLIHAN M. A., KOSLA M., YÜCE Ü. R., CINAROGLU A.** 2009: Infrared stimulated luminescence and thermoluminescence dating of archeological samples from Turkey. – *Geochronometria* 34. p. 25-31.
- MERVA SZ., SIPOS GY., TÓTH O.** 2012: Adatok a soproni árpád-kori sánc építését megelőző kora középkori rétegek kronológiai kérdéséhez. – *Archeometriai Műhely* 3. pp. 161-172.
- NAKATA Y., TAMAKI M., HASHIMOTO T.** 2006: Red-thermoluminescence dating using quartz grains extracted from a roof-tile an old Japanese temple. – *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 272/2. pp. 433-438.
- NOVOTHNY Á., ÚJHÁZY K.** 2000: A termo- és optikai lumineszcens kormeghatározás elméleti alapjai és gyakorlati kérdései a negyedidőszaki kutatásokban. – *Földrajzi Értesítő* XLIX./3-4 pp. 165-187.
- SIPOS GY., PAP SZ.** 2009.: Terrakotta műalkotások eredetiségvizsgálata és kormeghatározása termolumineszcens módszerrel, Szépművészeti Múzeum, Budapest. – *Archeometriai Műhely* 1. pp. 61-74.
- SIPOS GY.** 2010: A lumineszcens kormeghatározás régészeti, archeometriai alkalmazása. – *Természet Világa* 141/6 pp. 279-282.
- SIPOS GY., KISS T., PÁLL D. G., TÓTH O., SCHUBERT G. TÓTH M.** 2010: Mintagyűjtés, minta-előkészítés, mintavesztés TL kormeghatározás során. – *Archeometriai Műhely* 2. pp. 131-136.
- SIPOS GY., HORVÁTH T., TÓTH M., MAY Z.** 2012: Adatok Balatonőszöd – Temetői dűlő, késő rézkori rituális álarc keltezéséhez. – *Környezet – Ember – Kultúra: Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde*. pp. 373-384.

- TÓTH O., SIPOS GY., HAVAS Z.** 2014: TL/OSL kormeghatározás tesztelése római kori bélyeges téglákon. – Archeometriai Műhely XI./1. pp. 13-26.
- VERESS D. CS.** 1986: A szegedi vár. – Zrínyi Kiadó, Budapest. 194 p.
- WINTLE, A.G. and PACKMAN, S.C.** (1988): Thermoluminescence ages for three sections in Hungary. – Quaternary Science Reviews 7: pp. 315–320.
- WINTLE, A.G.** 2008: Fifty years of luminescence dating. – Archaeometry 50,2. pp. 226-312.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Sipos Györgynek és Tóth Orsolyának a teljes munka során nyújtott segítségükért.