

# A DOMBÓI VÁR TÉGLÁINAK KORMEGHATÁROZÁSA TERMOLUMINESZCENS MÓDSZERREL

## THERMOLUMINESCENCE DATING OF BRICK SAMPLES FROM THE DOMBÓ CASTLE\*

REKECZKI Kinga<sup>1,2</sup>; FILYÓ Dávid<sup>1</sup>; BERTA Adrián<sup>3</sup>; BARTYIK Tamás<sup>1</sup>; WOLF Mária<sup>2</sup>;  
†TÓTH Mária<sup>4</sup>; El HAMMED, Dīa<sup>1</sup> & SIPOS György<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Szegedi Tudományegyetem, Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, Geomorfológiai és Geokronológiai Kutatócsoport, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

<sup>2</sup>Szegedi Tudományegyetem, Régészeti Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

<sup>3</sup>ELKH Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, Ókori, népvándorlás kori és középkori régészeti osztály, 1097 Budapest, Tóth Kálmán u. 4.

<sup>4</sup>ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

E-mail: [gysipos@geo.u-szeged.hu](mailto:gysipos@geo.u-szeged.hu)

### **Abstract**

*The Castle of Dombó is situated south of the city of Dombóvár, on a hill emerging from the floodplains of the River Kapos. From the former castle, only three mixed brick-stone wall blocks and the remains of a brick pillar can be seen today. The systematic archaeological research of the site started in 2014 and has been going on till the very day. On the basis of the results of the excavations performed so far, five major construction periods can be distinguished from the building of the castle until its perishing in 1702. However, the dating carried out by traditional archaeological methods needs confirmation from more aspects as the findings of dating value did not come forth from their original places, but from secondary or tertiary site raisings due to the intense devastation of the site and the disturbances occurring until recently. As a result of the problematic dating of the castle and considering that the most part of the stronghold was built of brick, the thermoluminescence (TL) dating method seemed to be the most suitable absolute dating method. The aim of our research is to define the chronology of each construction phase by using TL dating and to specify or possibly revise the existing periodization established on an archaeological basis.*

*By the help of the TL dating, we can determine the firing time of ceramics, pottery, terracotta works of art, bricks and other objects related to industrial archaeology. To our investigations, we collected 13 brick samples from the different points of the castle. During the TL measurements, we employed the additive method, and the most optimal settings for the measurements had been established by plateau tests. To achieve even more precise results, we also conducted fading tests and alpha efficiency inspections.*

*We tried to provide our results regarding each construction period on the basis of the average of several samples. The majority of the age data given by the TL measurement suitably adjusted to the ages identified by the archaeological methods, in the case of two construction phases, however, further analyses are necessary because their assessments were solely based on a single sample respectively. Besides the above, our investigations have also highlighted that the direct measurement of the alpha efficiency is of crucial importance and that the measurement results can be made more accurate by preferably collecting more samples from the same phenomenon.*

### **Kivonat**

*A dombói vár Dombóvár városától délre, egy a Kapos folyó árteréből kiemelkedő dombon helyezkedik el. Az egykori várból ma mindössze három vegyes téglakő alapanyagú faltömb és egy téglalapítványú pillér maradványa látható. A lelőhely szisztematikus régészeti kutatása 2014-ben kezdődött, és azóta is folyamatosan tart. Az eddigi*

---

\* How to cite this paper: REKECZKI, K.; FILYÓ, D.; BERTA, A.; BARTYIK, T.; WOLF, M.; TÓTH, M.; El HAMMED, D. & SIPOS Gy., (2021): A dombói vár tégláinak kormeghatározása termolumineszcens módszerrel (Thermoluminescence dating of brick samples from the Dombó Castle). In Hungarian with English abstract, *Archeometriai Műhely* XVIII/2 157–174.

doi: [10.55023/issn.1786-271X.2021-013](https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-013)

ásatások eredményei alapján a vár építésétől az 1702. évi fennállásáig öt nagyobb építési periódust lehet elkülöníteni. A hagyományos régészeti módszerekkel történő keltezés azonban több szempontból is megerősítésre szorul, ugyanis a datáló értékkel bíró leletek, a lelőhely nagyfokú pusztulása és a közelmúltig tartó bolygatások miatt, nem eredeti helyükről kerültek elő, hanem másodlagos vagy harmadlagos feltöltésekből. A vár keltezésének problematikájából kifolyólag, illetve figyelembe véve, hogy az erősség legnagyobb része téglából épült, a termolumineszcens (TL) kormeghatározás tűnt a leginkább alkalmazható abszolút kormeghatározási módszernek. Kutatásunk célja az egyes építési fázisok kronológiájának meghatározása TL kormeghatározás segítségével, illetve a meglévő, régészeti alapon felállított periodizáció pontosítása, esetleges felülvizsgálata.

A TL kormeghatározás segítségével kerámiák, cseréptárgyak, terrakotta műalkotások, valamint téglák és egyéb iparrégészeti vonatkozású objektumok kiégetési ideje állapítható meg. Vizsgálatainkhoz 13 téglamintát gyűjtöttünk a vár különböző pontjairól. A TL mérések során az additív módszert alkalmaztuk, a mérésekhez a legoptimálisabb beállításokat pedig plató tesztekkel állapítottuk meg. Az eredmények pontosítása érdekében fakulási tesztek és az  $\alpha$ -hatásfokra vonatkozó vizsgálatokat is végeztünk. Az építési periódusokra vonatkozó eredményeinket igyekeztünk több minta átlaga alapján megadni. A TL mérés által kapott koradatok többsége megfelelően igazodott a régészeti módszerekkel meghatározott korokhoz, két építési fázis esetében viszont további elemzések elvégzésére van szükség, mivel csak egy-egy minta alapján történt az értékelés. Vizsgálataink mindemellett rámutattak arra is, hogy elengedhetetlenül fontos az  $\alpha$ -hatásfok közvetlen mérése, valamint hogy lehetőség szerint egy jelenségből több minta gyűjtésével a mérési eredmények pontosíthatók.

KEYWORDS: DOMBÓ CASTLE, THERMOLUMINESCENCE DATING, PERIODIZATION, ALPHA EFFICIENCY

KULCSSZAVAK: DOMBÓI VÁR, TERMOLUMINESZCENS KORMEGHATÁROZÁS, PERIODIZÁCIÓ,  $\alpha$ -HATÁSFOK

## Bevezetés

Dombóvár városától délre, a Kapos folyó déli partján, az ártérből szigetszerűen kiemelkedő dombon található a Gólyavár néven ismert középkori erősség maradványa. Az egykori sziget kiterjedése kb. 70x100 méter, tengerszint feletti magassága 117 méter, és kb. 6 méterrel emelkedik ki az ártérből. Az egykori várból ma már mindössze négy falcsont látható a felszínen: az északi oldalon három vegyes téglakő alapanyagú faltömb, a délkeleti oldalon pedig egy téglalapítmény pillér maradványa (Miklós 2007). A lelőhelyen kisebb léptékű, elsősorban roncsolás mentes régészeti kutatások már az 1960-as évektől kezdve történtek, azonban a szisztematikus feltárás megkezdése egészen 2014-ig váratott magára (**1. ábra**).

A 2014 és 2020 között végzett régészeti ásatások során az egykori erősség maradványainak megközelítően a 23%-a lett feltárva (**2. ábra**) (Berta 2020), így az alább vázlatosan ismertett építészeti periodizáció egyelőre még csak egy munkahipotézis, amely a folyamatosan felszínre kerülő újabb és újabb részletek fényében, a terepi munkák befejezéséig még többször is módosulhat. Az egyes falmaradványok egymáshoz való viszonya és relatív kronológiai sorrendje a falcsatlakozások és az azokkal kapcsolatba hozható rétegződések sztratigráfiai elemzésével került meghatározásra. Ennek során még az épületmaradványok építőanyagának (elsősorban a különböző típusú téglák mérete, készítési technikája, stb.) (Eszes 2018) és az építési módnak (falazástechnika, habarcsok, stb.) a jellegzetességeiből levonható következtetéseket sikerült hasznosítani. A falak maradványainak és az

egykori építmények abszolút keltezését eddig csak közvetett módon és építészeti párhuzamok felhasználásával lehetett megkísérelni, mivel a várra vonatkozó ismert írott források száma elenyésző, illetve az épületek pusztulása során és azt követően is jelentős bolygatás érte a területet. A közvetett keltezéshez elsősorban a már lepusztult vagy az eredeti állapotához képest erősen módosult rétegződésekből származó kályhacsempék (Boldizsár 2018) és a kevés számú érme nyújtott némi támpontot (sajnos ezek többségükben nem az eredeti helyükről, hanem másodlagos vagy harmadlagos feltöltésből, bolygatásból kerültek elő). Ezen kívül az abszolút kronológia felállításához, az eddigi feltárások és a 2018-ban végzett geofizikai vizsgálatok során megismert alaprajzi elrendezéséből kiindulva, párhuzamként a hasonló elrendezésű és egykorúnak vélt építmények lettek felhasználva (Berta 2020).

A vár az eddig ismert legkorábbi időszakában, a 14. század végén vagy a 15. század elején felépült formájában egy szabálytalan téglalap alaprajzú téglalapítmény volt, melynek északi és déli végében egy-egy épületszárny kapott helyet. A további feltárásokig feltételeesen ebbe a periódusba soroltuk az ez utóbbinak a várudvar felé néző homlokzati falához csatlakozó bejárati építmény maradványaként értelmezett falszakaszokat is, még ha ezt néhány körülmény (falazástechnika, nem egyértelmű falelválások) erősen megkérdőjelezte is. A vár eredeti bejárata ekkor is már a nyugati oldalon állhatott (a későbbi kaputorony helyén), ennek tisztázásához azonban szintén további terepi munkák lesznek szükségesek (Berta 2018).



**1. ábra:** A dombói vár felszínén lévő falmaradványai, valamint a 2016/1, 2017/1, és 2019/1-es ásatási szelvényekben feltárt felszín alatti falszakaszok

**Fig. 1.:** Dombó Castle wall remains above and below the ground. The later were exposed by the 2016/1, 2017/1 and 2019/1 excavation trenches

Az első eddig ismert nagyobb átépítés során, talán a 15. sz. első felében, a déli épületrész szélességét közel a kétszeresére növelték és a keleti végét három pillérrel megtámogatták. Az épület déli és északi, udvari homlokzati falának ilyen jellegű, a bővítés során történő megerősítésének egyelőre nem kerültek elő a nyomai; az épületszárny nyugati végén azonban a georadaros felmérés során kirajzolódott két további pillér körvonala. Az épület belső elrendezésére, a pinceszint egyes építészeti elemeire és átépítésére vonatkozóan eddig csak töredékes adatok állnak a rendelkezésünkre, ezek tisztázása a további feltárások feladata lesz. Szintén ebben a periódusban épülhetett fel a nyugati oldalon a kaputorony, valamint az északi szárny udvari homlokzati fala elé emelt két belső torony is (Berta 2018).

A harmadik időszakban, a 15. század közepén kerülhetett sor a délkeleti, ma is álló pillér tetején történt utólagos át- és ráépítésre, valamint az északkeleti L-alakú fal kialakítására. Ezek a maradványok talán a 17. század végi forrásokból ismert, azóta már teljesen elpusztult, a keleti várfalon végigfutó folyosóhoz köthetők. Ezeknek a maradványoknak a relatív keltezése viszonylag biztosnak tűnik, azonban a funkciójuk meghatározása és az említett „függőfolyosóval” való kapcsolatuk a feltárási munkák előre haladtával egyre bizonytalanabbá vált (vö. Berta 2020).

A negyedik periódusban, feltételezhetően a 16. század elején az egész építményt egy külső, kőalapozású téglafallal vették körül, melynek

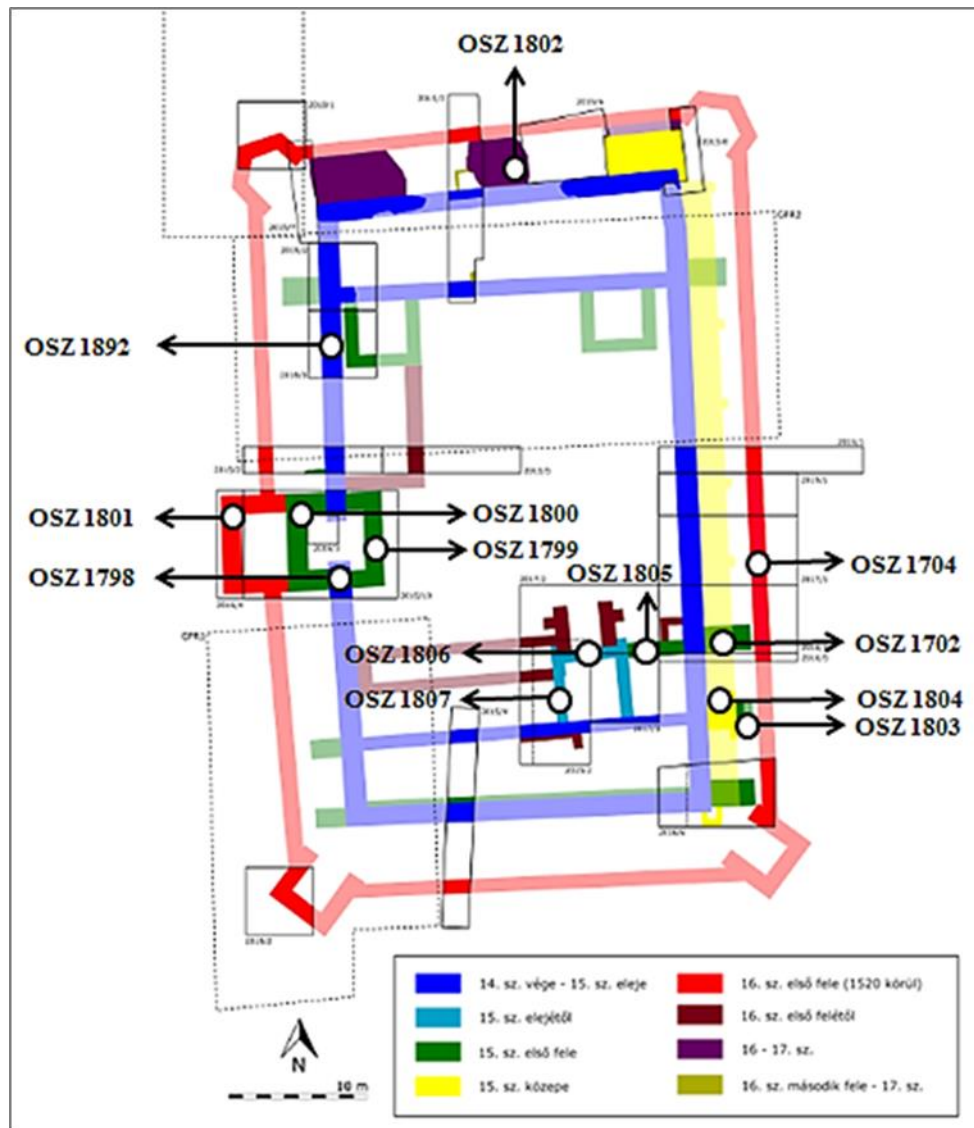
sarkaira négy- és ötszögletű tornyokat emeltek, valamint a vár kaputornya elé egy védművet építettek. A külső kerítőfállal egy időben épülhetett a korábban kibővített déli palotaszárny udvari homlokzati falánál lévő bejárati építmény, melyet kisméretű pillérekkel erősítettek meg. A kaputorony mellett közvetlenül, észak felé, az első periódusú várfalhoz hozzáépített, azzal párhuzamos új épületszárnyat alakítottak ki (Berta 2020).

A vár építésének ötödik periódusára, vagyis a török hódoltság korára datálható építészeti maradványok eddig csak elenyésző mennyiségben kerültek elő. A 16. század második felében vagy a 17. század folyamán keletkezhetett az északnyugati és az északi középső fal, amelyeket az északi falköz megerősítése és feltöltése során alakíthattak ki. A falcsomók közötti feltöltésből viszonylag nagyszámú, 16. századi reneszánsz kályhacsempe-töredék került elő, melyek a török kori kelteztést támasztják alá (Boldizsár 2018, Berta 2020).

A várat 1702-ben robbantották fel, majd a 18. századi bontómunkát követően az egykori épület építőanyagát a helybeliek a 20. századig folyamatosan hordták el és használták fel saját építkezéseikhez (Berta 2017).

A keltezés fentebb ismertetett nehézségei miatt a periodizációban feltételelesen megadott időintervallumok pontosításához más módszerek használatát is meg kellett kísérelni. Mivel a vár legnagyobb hányada, néhány részlettől eltekintve, téglából épült, ezért a termolumineszcens kormeghatározás tűnt a legkézenfekvőbb módszernek e tekintetben.





**2. ábra:** A dombói vár régészeti megállapított építési periódusai, valamint a TL kormeghatározásra gyűjtött téglaminták elhelyezkedése

**Fig. 2.:** Previously identified construction phases of the Dombó Castle, and the location of brick samples subjected to TL dating

A fentiek alapján kutatásunk célja tehát az egyes építési periódusok numerikus időkeretbe helyezése termolumineszcens kormeghatározás segítségével, a meglévő régészeti alapon összeállított periodizáció megerősítése, vagy újraértelmezése, valamint a régészeti viszonylag jól datálható falszakaszok építési idejének esetleges pontosítása.

### **Termolumineszcens kormeghatározás alkalmazása téglákon**

A termolumineszcens (TL) kormeghatározás segítségével kerámiák, cseréptárgyak, terrakotta műalkotások, valamint téglák és egyéb iparrégészeti vonatkozású objektumok kiégetési ideje állapítható meg. Ennek meghatározásához a minta által a természetben elnyelt radioaktív dózis

(paleodózis), valamint az egységnyi idő alatt elnyelt dózis (dózteljesítmény) értékének megadása szükséges. Előbbi megállapításának alapja, hogy az elnyelt, természetből származó radioaktív dózis hatására töltések csapdázódnak a téglá anyagát képező kvarc és földpát ásványokban, melyeket hővel kiszabadítva TL jelenség figyelhető meg. Laboratóriumi mérések segítségével kapcsolat állítható fel a besugárzott radioaktív dózisok és az általuk generált TL intenzitások között, így a kiégetés óta elnyelt dózis nagysága közvetett módon ugyan, de mérhető. A dózteljesítmény nagyságát pedig a téglá anyagában, illetve a környezetében lévő természetes radioaktív elemek koncentrációja határozza meg. A módszert részletesebben Aitken (1985) tárgyalja, magyar

nyelven Sipos & Papp (2009), valamint Tóth et al. (2014) nyújt áttekintést.

A TL módszert számos esetben alkalmazták kerámia építőanyagok kormeghatározására. Ennek során több más keltezési módszerrel is sikerült az eljárás megbízhatóságát tesztelni. Így például égető kemencék esetében több alkalommal is mód nyílt a TL és az archeomágneses korok összevetésére. Ezen vizsgálatok kapcsán Tema et al. (2013) rámutatott arra, hogy akár 100-200 éves téglák is keltezhetők a TL segítségével, illetve az ugyanazon időpontot (kemencék használatának felhagyása) datáló módszerekkel kapott korok közel azonos eredményeket szolgáltattak. Hasonló következtetésre jutott Kondopoluou et al. (2015) pénzérmékkel jól datálható 4-5. századi kemencék vizsgálata során. Az archeomágneses módszerrel pontosabb radiokarbon keltezés alapján is megbízható korok várhatók az építőanyagok TL kormeghatározásának igénybevételével. Erre a megállapításra jutott Blain et al. (2011) egy franciaországi harangtorony építési idejének vizsgálata során, ahol mind a falazatból származó habarcs mintákból, mind pedig a téglákból mért TL korok a torony építésének kezdetét 200 évvel korábbra keltezték (11. helyett 9. századra), mint az írott források, illetve a régészeti bizonyítékok.

Az utóbbi években egyre több kutatásban alkalmazzák egyedüli keltezési módszerként a TL kormeghatározást, és kísérleteznek különböző mérési protokollok (SAR TL, SAR OSL, MAAD – Multiple Aliquot Additive Dose, azaz additív dózis módszer) tesztelésével is. Az alkalmazott mérési eljárások közül Chruścińska et al. (2014) a SAR OSL-t részesítette előnyben, ugyanis az e protokollal vizsgált minták egybehangzó keltezésűek lehetnek. Így a kutatók templom, illetve kolostor építési idejének kezdetét a téglaminták korának átlagolásával a 13. századra datálták, ami alátámasztotta az ismert történelmi adatokat. A különböző minták mérési eredményeiből történő átlagszámítást használta Nakata et al. (2007) is egy Japánban álló templom keltezésénél, azzal a különbséggel, hogy a vizsgálat tárgyát tetőcserepek képezték. Az ily módon kapott eredmények igazolták a régészek azon feltételezését, miszerint a templom az 1258-as évek környékén épült. Ugyancsak a több téglaminta gyűjtésének eljárását fontosságát húzta alá Stella et al. (2014) is, akik egy franciaországi templom 4. századi építési idejét határozták meg a minták eredményeinek összevonásával.

A fentiekből az a konklúzió vonható le, hogy több téglaminta mérésének átlaga ad megbízható eredményt a lumineszcens kormeghatározás során. Ugyanakkor a mérések átlagolása mellett szintén rendkívül fontos szempont a környezeti dózisteljesítmény meghatározása (Baillif et al. 2007), és modellezése (Chruścińska et al. 2014).

A TL kormeghatározás jól alkalmazható az olyan épületek esetében is, amelyek különböző építési/átépítési periódusokkal rendelkeznek, melyek időben egymáshoz közel helyezkednek el. Ezt támasztja alá Stella et al. (2018) vizsgálata is, amiben egy portugáliai kolostor 2 építési fázisát különítették el, téglá és habarcs minták együttes vizsgálatával, az előbbin TL, az utóbbin pedig OSL méréseket végeztek. Az eredmények az elsőként meghatározott periódus idejét a 17. századtól a 18. század első felére, míg a másodikat a 18. század második felétől a 19. század első felére helyezték. Emellett Stella et al. (2018) arra is rávilágítottak, hogy a TL keltezésnél kitűnik, ha a régebbi épületek anyagait újra felhasználták egy-egy új építkezés alkalmával. Ezzel az észrevétellel Guilbert et al. (2009) is egyetértettek, ugyanis az általuk vizsgált franciaországi apátság helyén egy korai kezdetleges/primitív templom állt, ami a Karoling időszakban, a 9. században épülhetett. A TL kormeghatározást 4 különböző laboratóriumban is elvégezték (Bordeaux, Catane, Durham, Milánó), melyek 3 különböző építési időt határoztak meg, ami arra utal, hogy a téglákat nem ugyanazon építési periódusban gyártották.

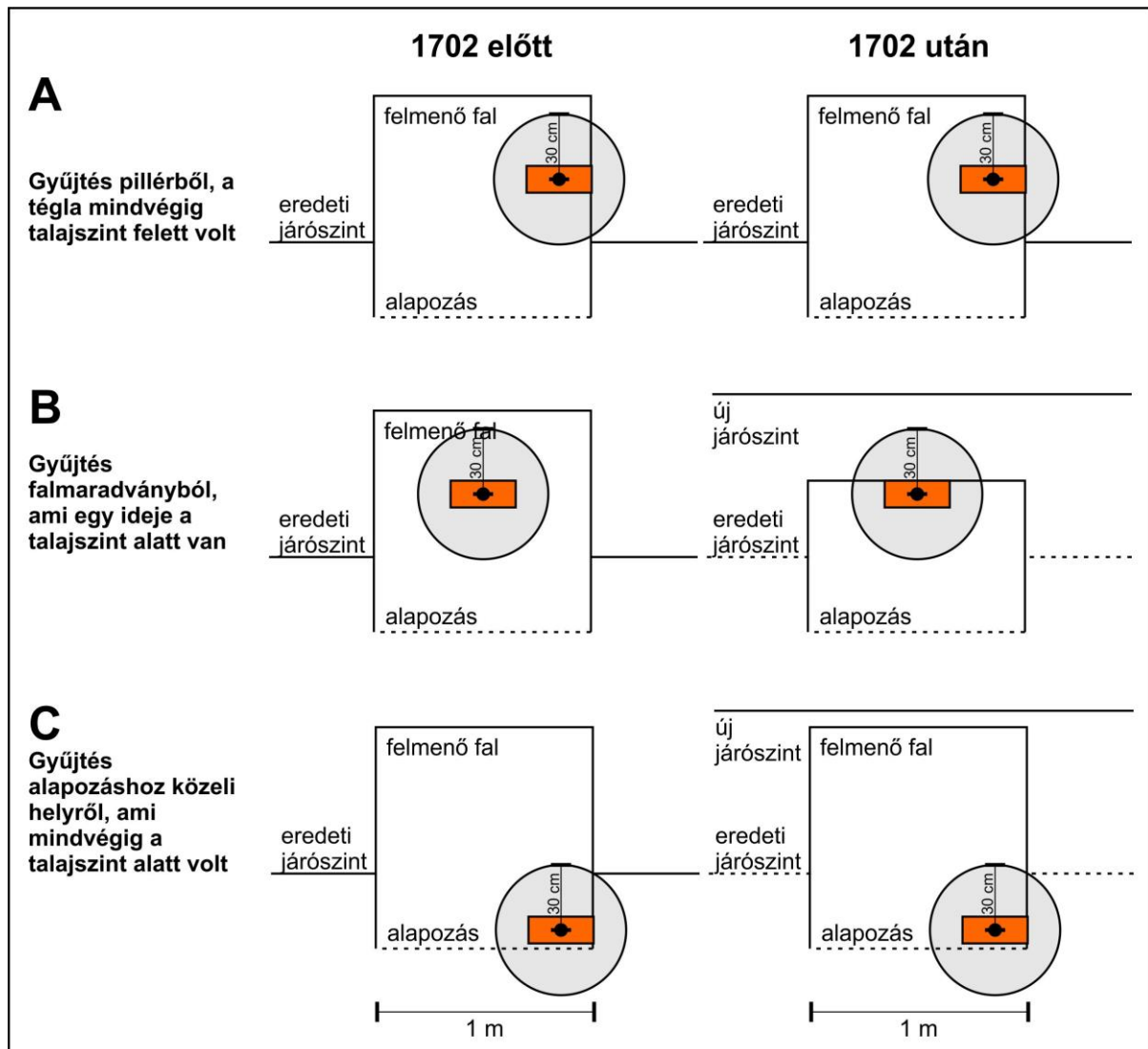
Az előzőekben szemléltetett példákból jól kitűnik, hogy a különböző építési periódusokkal rendelkező épületek esetében gyakori a téglák újrahasonosítása (Bouvier et al. 2014), ez a tény alátámasztja azt az eljárást, hogy a vizsgálni kívánt épületből több téglamintát kell gyűjteni, így az esetleges kiugró koradatokat ki lehet szűrni (Blain et al. 2007).

## **Anyag és módszer**

### **Mintagyűjtés**

A terepi mintavételezés első lépéseként kijelöltük azokat a helyeket, ahonnan később a mintagyűjtés történt. A téglamintákat a vár maradványainak különböző pontjairól, három különböző pozícióból gyűjtöttük: 1.) alapozási szintről, 2.) alapozáshoz közeli felmenő falból, 3.) mindvégig álló faltömbökből és pillérből (**3. és 4. ábra**).

Az utolsó két esetben a környezeti dózisteljesítmény rekonstruálása céljából a falmaradványt befoglaló talajból is gyűjtöttünk mintát. Itt az egyes falszakaszok esetében vagy már az építés ideje óta (alap), vagy pedig a vár lerombolását követően (alapozáshoz közeli felmenő fal) a talajból érkező  $\gamma$ -sugárzás is hozzájárult a külső vagy környezeti dózisteljesítmény értékéhez, mivel a  $\gamma$ -részecskék hatótávolsága földtani közegben nagyjából 30 cm (**3. és 4. ábra**). A mintákat érő  $\gamma$ -dózisteljesítmény időbeli eltéréseit a **3. ábrán** látható koncepcionális modell alapján határoztuk meg, a pusztulás előtti és a pusztulás utáni időszakra számított értékeket időarányosan összegezve.



**3. ábra:** A gyűjtött téglák előtörténete a környezeti  $\gamma$ -dózisteljesítmény vonatkozásában. A szürke körök a minta 30 cm-es környezetét jelölik.

**Fig. 3.:** The environmental  $\gamma$ -dose radiation history of the collected brick samples. Grey circles mark the 30 cm surroundings of the samples

A mintavételezett téglák nagyságukat tekintve eltérőek, de többségük negyed-, illetve féltégla. A kivett téglák esetében megfigyeltük a falban való eredeti elhelyezkedésüket, valamint megjelöltük a téglá azon részét, ami leginkább védve volt a környezeti hatásoktól, ugyanis innen történt a laboratóriumi mintagyűjtés.

A régészeti tárgyak termolumineszcens kormeghatározása kizárólag roncsolásos mintagyűjtéssel lehetséges. Az alkalmazott mérés technikáknak megfelelően poranyag gyűjtése volt a cél. Ezt jelen esetben a téglaminták nagy részénél reszeléssel értünk el, csupán egy mintánál történt fűréssal a mintagyűjtés (**5. ábra**), ugyanis a mintavételezett téglá túlétettnek bizonyult, így rendkívül tömör volt. Utóbbi esetben a mintavétel 2,5, illetve 2,8 mm átmérőjű Dremel típusú

wolfram-karbid fűrészárrakkal történt, alacsony fordulatszám mellett, a túlhevülés elkerülése érdekében. Mindkét esetben a tárgy külső felületének 2–3 mm-ét eltávolítottuk, hogy a kis hatótávolságú  $\alpha$  és  $\beta$  sugárzás csak magából a tárgy anyagából származzon.

A mintavételt hordozható, kis nyomású Na fényforrások tompított sárga fényénél végeztük, ugyanis a lumineszcens jel fény hatására is törlődik. Ezen lámpák kibocsátási spektruma 589 nm hullámhossztartományon helyezkedik el, melynek következtében nem ürítik a csapdákat, vagyis a jelvesztéség lehetősége nem áll fenn.

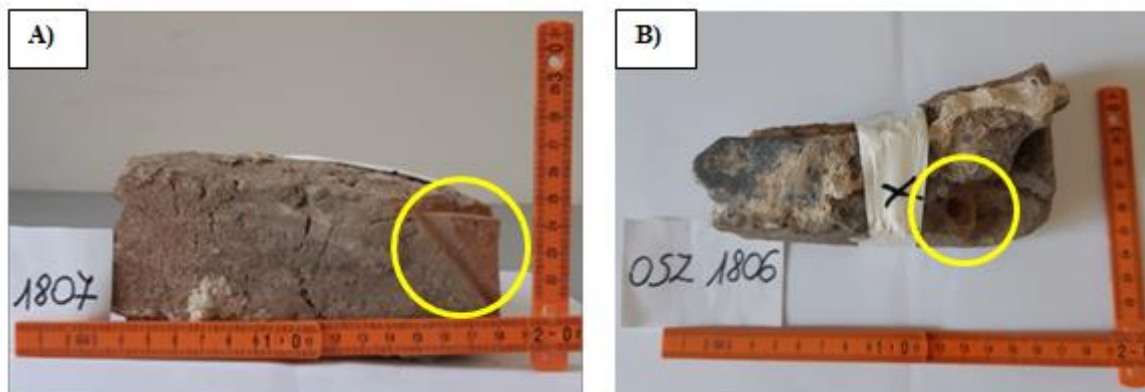
A gyűjtött mintákat több lépésben készítettük elő a termolumineszcens mérésekre. A feltárások során az ún. finomszemcsés eljárást alkalmaztuk (Aitken





**4. ábra:** Mintagyűjtés három különböző pozícióból: A) mindvégig álló pillérből, B) alapozáshoz közeli felmenő falból, mely a vár lerombolása előtt a földfelszín felett, a lerombolást követően pedig a föld alatt helyezkedett el, C) mindvégig földfelszín alatt lévő alapozási szintről.

**Fig. 4.:** Sampling at three different positions: A) pillar standing all the time, B) wall just over the foundations, being above ground before the destruction of the castle and being buried after that, C) foundation being below the ground all the time



**5. ábra:** Mintagyűjtés különböző technikákkal: A) reszeléssel és B) fúró segítségével

**Fig. 5.:** Sampling for TL using either: A) a rasp, or B) a drill

1985; Mauz et al. 2002; Sipos & Papp 2009), először 10%-os HCl hozzáadásával eltávolítottuk a minta karbonát tartalmát, ezt követően ismét 10%-os H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldattal a minta szervesanyag tartalmát is elmarattuk. A savas kezelést a pH semlegesre történő beállítása követte. Következő lépésként a 4–11 µm közötti szemcsefrakciót különítettük el. A szemcseméret szerinti elkülönítés centrifugáción, 6 cm-es acetone oszlopban történt, az eltérő szemcseméretű üledékek idejét figyelembe véve (Sipos et al. 2010). A feltárási folyamat végére megmaradt polimíneralikus anyagból desztillált vizes szuszpenziót készítettünk, melyet néhány percre ultrahang fürdőbe helyeztünk. Ezt követően 9,8 mm átmérőjű alumínium korongokra 0,25 ml szuszpenziót pipettáztunk, így hozzávetőleg 2,0 mg mennyiségű anyag jutott egy-egy korongra. Végeredményben 24 db részmintát, azaz korongot állítottunk elő a mérésekhez.

### Mérés

A lumineszcens mérések 0,0890±0,0004 Gy/s dózisteljesítményű (alumínium korongra kalibrált) <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y β és <sup>241</sup>Am α sugárforrással rendelkező, automatizált RISØ DA-15 TL/OSL műszer segítségével történtek, a minták TL fénylési görbéjét 5°C/s-os hevítés mellett 450°C-ig rögzítettük Corning 7-59 és Schott BG 45 szűrők kombinációját alkalmazva (Sipos et al. 2017).

A polimíneralikus, finomszemcsés kerámiaminták TL vizsgálatához az ún. additív dózis módszert (MAAD) használtuk. Az eljárás során 3-3 részmintából álló korongcsoportokat különítettünk el, melyeket növekvő béta dózissal sugároztunk be. Az erre válaszul kapott TL intenzitásokat használtuk az ún. dózis-válasz görbe felállításához. A természetes lumineszcens intenzitásból és az egyre nagyobb additív dózisok által előidézett lumineszcens intenzitásokból, azaz a dózis és TL növekmény közötti összefüggésből ugyanis meghatározható a minta által a kiegészítés óta eltelt radioaktív dózis nagysága, illetve annak laboratóriumi megfelelője (egyenérték dózis - D<sub>e</sub>). A kezdeti TL növekmény azonban sok esetben nem lineáris, a válaszgörbe ezen kezdeti szakaszát korábban már kisütött részminták regenerálásával lehet vizsgálni (Feathers 1997; Wintle 2008; Tóth et al. 2014). Ez esetben szintén 3-3 részmintából álló korongcsoportokat alakítottunk ki. A mérések alapján felállított regenerációs dózis lumineszcens válasz összefüggésnek ideális esetben az origóba kellene tartania, amennyiben ez nem így van, akkor a dózis tengelyen mért eltéréssel (I) kell korrigálni az additív módszerrel meghatározott egyenérték dózist. Ezután a minták mindegyikén 30 s előmelegítést végeztünk 230°C-on, melyet a minták egy hónapos szobahőmérsékleten történő pihentetése követett.

Mivel a TL méréseket polimíneralikus mintákon végeztük, szükség volt a fakulás (fading) mértékének meghatározására is. Ezt a vizsgálatot szintén különböző korongcsoportok kialakításával végeztük el, amelyeket azonos, 4,5 Gy dózissal sugároztunk be, majd az egyes csoportok TL intenzitását 0, 1, 10, és 100 óra késleltetéssel megmértük, ami alapján logaritmikus fakulási rátát (g-érték) állapítottunk meg, mellyel aztán korrigáltuk az additív dózis módszerrel meghatározott egyenérték dózis értékét (Aitken 1985, Huntley és Lamothe 2001).

A mintában a természetes TL jelet előidéző radioaktív dózisteljesítmény (D\*) két részre bontható, egy a minta anyagából származó belső (α és β) és egy a minta környezetéből származó külső (γ és kozmikus sugárzás) dózisteljesítményre.

A belső dózisteljesítmény meghatározásához szükséges radioaktív elemkoncentrációk (<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) mérését Canberra típusú nagy felbontású, kibővített méréstartománnyal rendelkező koaxiális HpGe detektorral felszerelt gamma spektrométerrel végeztük 100 cm<sup>3</sup> porított mintából. Az α sugárzás határfokának meghatározása céljából további mérésekre volt szükség, amelyhez szintén a MAAD típusú mérési protokollt használtuk. Ennek során a korábban kisütött minta összes részmintáját 14 Gy α dózissal sugároztunk be, majd pedig β additív dózissal vizsgáltuk, hogy az α dózis mekkora effektív β dózissal felel meg. Az így kapott határfokkal (a-érték) korrigáltuk az α dózisteljesítmény értékét a számítások során.

A környezetből származó γ dózisteljesítményt a terepi mintavételezés alkalmával gyűjtött talajminták gamma spektroszkópiás mérése (450 cm<sup>3</sup>), illetve a téglákból korábban meghatározott értékek alapján számítottuk ki.

Mivel a dózisteljesítmény értékét a téglák nedvességtartalma jelentősen befolyásolja, ezért ennek mértékét, illetve változását is igyekeztünk minél pontosabban számszerűsíteni. A nedvességtartalmat utólagosan begyűjtött téglák, illetve talajminták alapján határoztuk meg. A falak anyagából, a talajból, valamint a nyílt felszínnek felől érkező külső γ dózisteljesítményt a téglák helyzete alapján súlyoztuk. Végül az időbeli változásokat is figyelembe vettük azon téglák esetében, ahol a környezet (a falak föld alá kerülése miatt) változott.

A mintákra vonatkozó kozmikus dózisteljesítmény értékét a téglák helyzete alapján számítottuk Prescott & Hutton (1994) módszerét felhasználva, átlagosan 50 cm-es mélységi tényezővel számolva, ugyanis bár a mintákat érő kozmikus sugárzás intenzitása a vár lerombolásával időben szintén változhatott, ennek mértéke elenyészően befolyásolja az össz dózisteljesítmény értékét.



## Eredmények és interpretáció

### Dózisteljesítmény

A környezeti dózisteljesítmény értéke két komponensből tevődik össze (**1. táblázat**). A belső dózisteljesítményt a téglá anyagából vett minta alapján határoztuk meg. Ehhez elsőként a minták  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  és K koncentrációját mértük meg. A  $^{238}\text{U}$ -tartalom 2,78 és 4,27 ppm között váltakozott, az összes mérésből számolt átlagérték 3,56 ppm volt. A  $^{238}\text{U}$ -koncentráció bizonytalansága 0,02 és 0,04 ppm között ingadozott, azaz összességében az értékek átlagosan 1%-os relatív hibával jellemezhetők (**1. táblázat**). A mintákban a  $^{232}\text{Th}$ -tartalom 6,94 és 11,26 ppm közötti értékeket vett fel, az átlagos  $^{232}\text{Th}$ -koncentráció így 9,23 ppm volt, az értékek relatív hibája pedig 2% körülnek adódott. A K-tartalom 1,22 és 2,74% között váltakozott, az átlagérték 1,68 ppm volt, míg a mért értékek átlagosan 3%-os relatív hibával rendelkeztek (**1. táblázat**).

A vizsgált 13 mintában az  $\alpha$ -hatásfok értéke 0,10 és 0,24 közötti tartományba esett, ez alapján az  $\alpha$ -hatásfok átlagértéke 0,18-nak adódott (**6. ábra**). Az egyes minták  $\alpha$ -hatásfokának relatív hibái viszonylag alacsony értékekkel (5–8%) bírtak (**1. táblázat**). A közvetlen mérés fontosságát alátámasztja, hogy amennyiben a legalacsonyabb  $\alpha$ -hatásfokkal ( $a=0,10\pm 0,01$ ) rendelkező OSZ1802 minta esetében a fent megállapított átlagos értékkel számolnánk, akkor a teljes dózisteljesítmény értéke  $4,33\pm 0,12$  Gy/ka-ról  $5,36\pm 0,15$  Gy/ka-ra emelkedne, ami mintegy 24%-os növekménynek felel meg. Ez pedig a kort hasonló mértékben befolyásolná, azaz ez esetben akár egy évszázaddal is eltolhatja az eredményt.

A vizsgált mintákban, illetve a környezetükben mért dózisteljesítmény együttes értékei 3,65 és 6,50 Gy/ka közötti tartományba estek, az átlagos dózisteljesítmény így 5,16 Gy/ka volt. A teljes

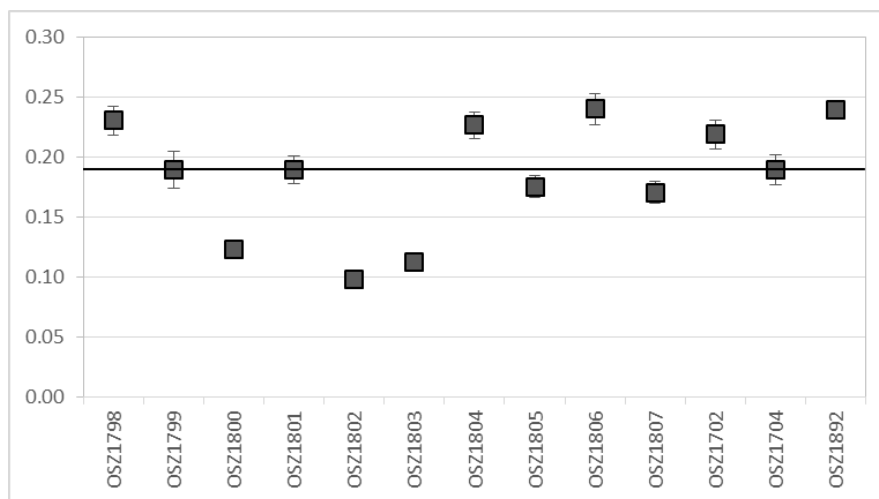
dózisteljesítmény hibahatára 0,12 és 0,16 Gy/ka között váltakozott, ami azt jelenti, hogy a relatív hiba átlagosan 3% volt (**1. táblázat**).

### Egyenérték dózis

A minták alapvető alkalmasságát a lumineszcens mérések szempontjából TL plató tesztekkel vizsgáltuk, melynek során a természetes TL görbe és a legnagyobb additív dózis besugárzását követően mért TL görbe hányadosát vizsgáltuk (**7. ábra**).

Az eredmények alapján elmondható, hogy 300–350°C tartományban a minták mindegyikénél a két görbe hányadosa közel állandó, s van, ahol ez tágabb tartományra is igaz (**7. ábra** - OSZ1798). Ez azt jelenti, hogy a természetes és az additív besugárzás hasonló hatást gyakorol a mintára, azaz ebből a szempontból a minták alkalmasak a TL kormeghatározásra.

A hozzáadott dózisok lumineszcenciára gyakorolt hatását az OSZ1798 minta TL görbéi jól szemléltetik (**8. ábra**). A megközelítően hasonló alakú görbék csúcsa a hozzáadott dózisok növelésével csaknem lineárisan növekedett. Megfigyelhető azonban, hogy a TL görbék csúcsa egymáshoz képest némileg el van csúszva, nem ugyanazon a hőmérsékleten jelentkeznek. Ennek hátterében a műszeres mérés bizonytalanságai (pl. Duller 2007), esetleg a minták radioaktív besugárzás hatására bekövetkező eltérő mértékű TL érzékenységváltozásai állhatnak (Zimmerman 1971). Ezért is fontos, hogy a dózis/TL összefüggésekhez a TL intenzitást ne egy pontból vegyük, hanem a görbék egy hosszabb szakasza alapján integráljuk. Azt, hogy a görbék melyik szakaszának értékeit kell alapul venni a TL jel és az additív dózis összefüggések meghatározásához, minden mintánál dózis-plató tesztek elvégzésével állapítottuk meg.



**6. ábra:**

A vizsgált minták  $\alpha$ -hatásfoka (a-érték) és a mérések standard hibái

**Fig. 6.:**

The  $\alpha$ -efficiency (a-value) of the investigated samples and the standard error of measurements

**1. táblázat:**

A téglaminták belső és külső dózisteljesítmény értékei, az ezek meghatározásához szükséges radioaktív elem-koncentrációk, valamint az  $\alpha$ -dózisteljesítményt módosító a-érték

**Table 1.:**

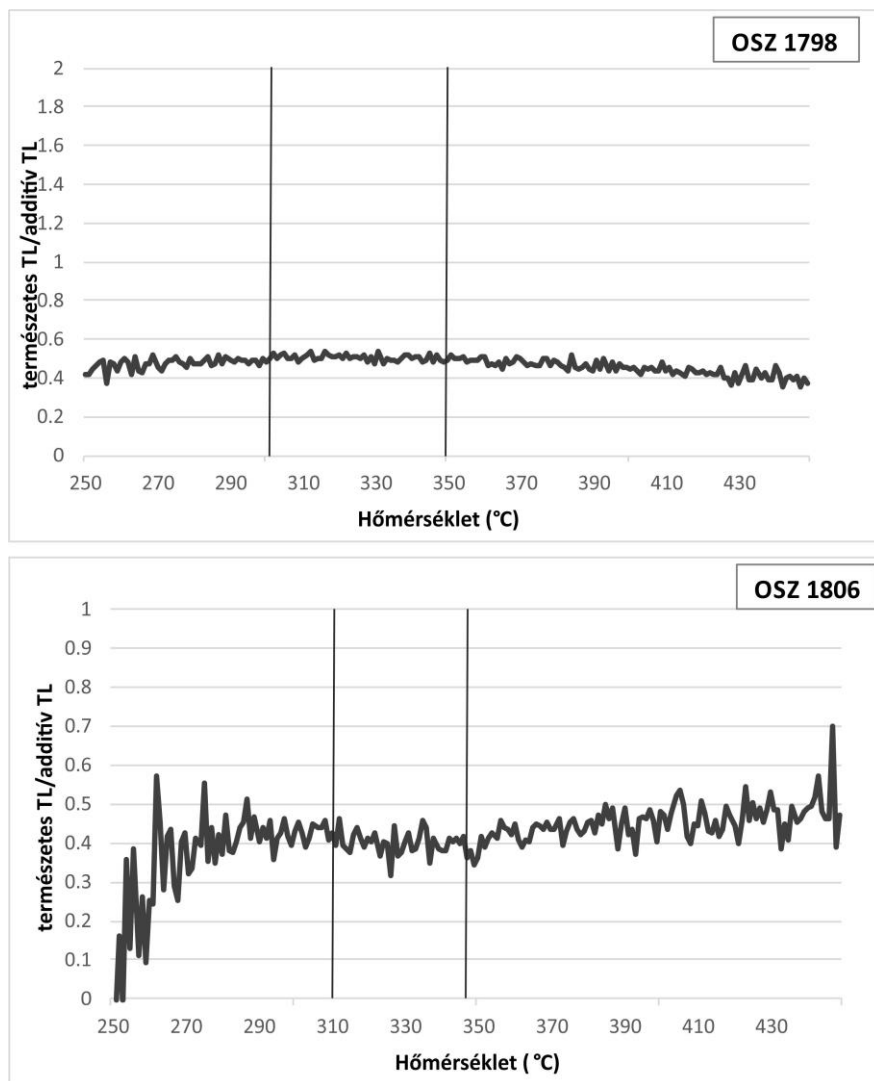
Table 1.: Internal and external dose rates of brick samples, radioactive element contents used for dose rate calculation, and a-values used for  $\alpha$ -dose rate correction

Terepi azonosító	Laboratóriumi azonosító	D*belső <sup>1</sup>						D*külső <sup>3</sup> (Gy/ka)
		<sup>238</sup> U (ppm)	<sup>232</sup> Th (ppm)	K (%)	a-érték <sup>2</sup>	$\alpha$ (Gy/ka)	$\beta$ (Gy/ka)	
M06	OSZ 1702	4,27±0,03	10,60±0,17	1,63±0,05	0,219±0,012	2,99±0,13	1,88±0,07	0,90±0,07
M04	OSZ 1704	3,81±0,04	10,04±0,17	1,63±0,05	0,190±0,012	2,42±0,13	1,84±0,07	0,90±0,07
DB-2015/10-1	OSZ 1798	4,08±0,03	10,37±0,16	1,77±0,05	0,231±0,012	3,16±0,13	2,01±0,07	1,33±0,05
DB-2015/10-2	OSZ 1799	2,78±0,02	6,94±0,12	1,22±0,04	0,190±0,015	1,76±0,12	1,37±0,07	1,00±0,05
DB-2015/10-3	OSZ 1800	2,95±0,02	7,44±0,13	1,26±0,05	0,123±0,008	1,19±0,08	1,42±0,07	1,04±0,05
DB-2015/10-4	OSZ 1801	3,48±0,04	9,08±0,16	1,62±0,05	0,190±0,011	2,21±0,11	1,77±0,07	1,20±0,05
DB-2015/3-5	OSZ 1802	3,38±0,04	9,41±0,16	1,77±0,05	0,098±0,005	1,23±0,08	1,99±0,08	1,11±0,05
DB-DK-PILLER-6	OSZ 1803	3,30±0,04	9,14±0,17	2,74±0,07	0,113±0,007	1,38±0,09	2,68±0,09	1,25±0,05
DB-DK-PILLER2-7	OSZ 1804	3,77±0,04	9,33±0,16	1,71±0,06	0,227±0,011	3,01±0,13	2,00±0,08	1,13±0,05
DB-2017/3-8	OSZ 1805	4,27±0,03	11,26±0,17	1,47±0,04	0,176±0,009	2,46±0,11	1,78±0,07	1,22±0,05
DB-2017/3-9	OSZ 1806	3,53±0,03	8,99±0,14	1,60±0,04	0,240±0,013	2,74±0,12	1,73±0,07	1,13±0,05
DB-2016/2-10	OSZ 1807	4,08±0,04	10,35±0,16	1,68±0,05	0,171±0,009	2,25±0,10	1,88±0,07	1,22±0,05
DB-2018/3-12	OSZ 1892	3,76±0,03	9,33±0,15	1,74±0,05	0,244±0,012	2,28±0,14	1,86±0,07	1,33±0,07

<sup>1</sup> belső dózisteljesítmény – téglaminták anyagából meghatározva

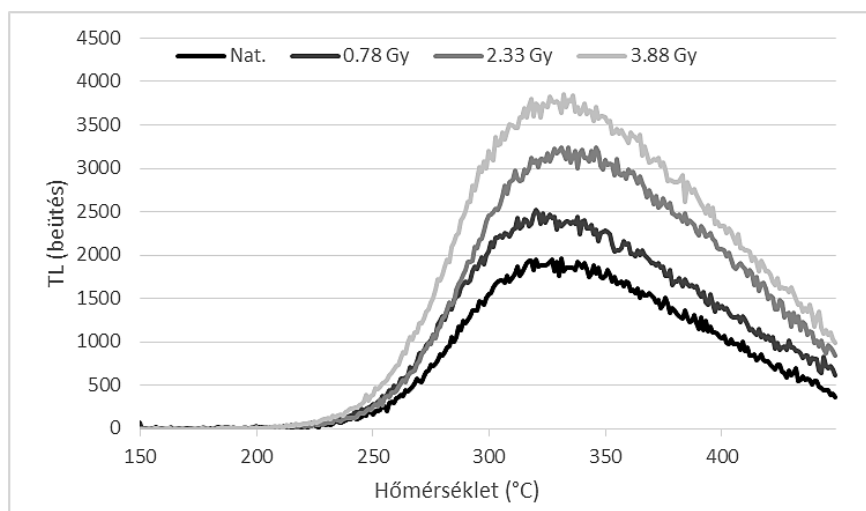
<sup>2</sup>  $\alpha$ -hatásfok értékét jelző paraméter

<sup>3</sup> külső dózisteljesítmény – a téglamintákkal gyűjtött talajmintából meghatározva, a kozmikus dózisteljesítmény hozzáadásával



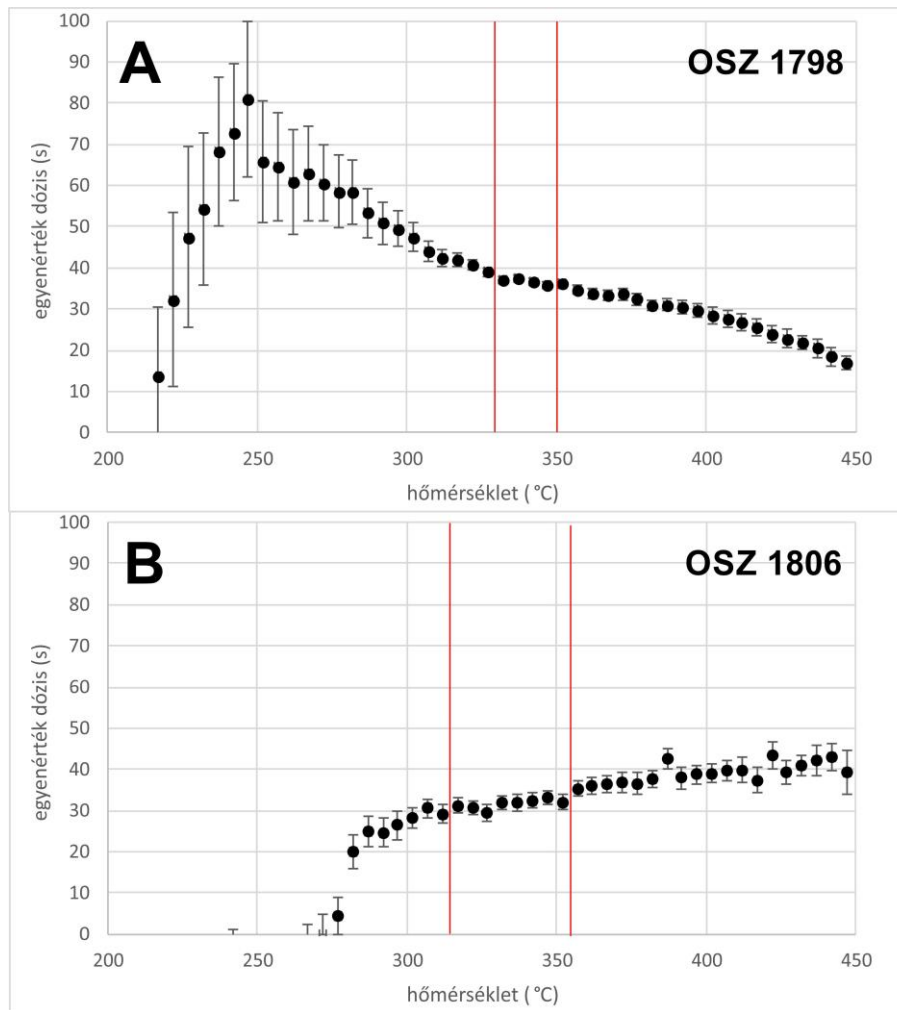
**7. ábra:** Jellemzőes TL plató tesztek, melyek a természetes és a legnagyobb additív dózishoz tartozó TL görbe hányadosa alapján készültek

**Fig. 7.:** Representative TL plateaus, derived from the ratio of the natural TL curve and the curve recorded in response to the highest additive dose



**8. ábra:** Természetes és additív TL görbék az OSZ1798 minta esetében

**Fig. 8.:** Natural and additive dose TL glow curves of sample OSZ1798



**9. ábra:** Két reprezentatív minta egyenérték dózis plató tesztje. A) A plató igen kis kiterjedésű, alig kijelölhető, a különböző hőmérsékleten meghatározott dózis értékek csökkennek. B) A plató szélesebb, a különböző hőmérsékleten meghatározott dózis értékek növekednek.

**Fig. 9.:** The equivalent dose plateau test of two representative samples. A) the plateau is narrow, hardly identifiable, equivalent doses determined at different temperature intervals exhibit a decreasing trend. B) the plateau is wider, and equivalent dose values exhibit an increasing trend.

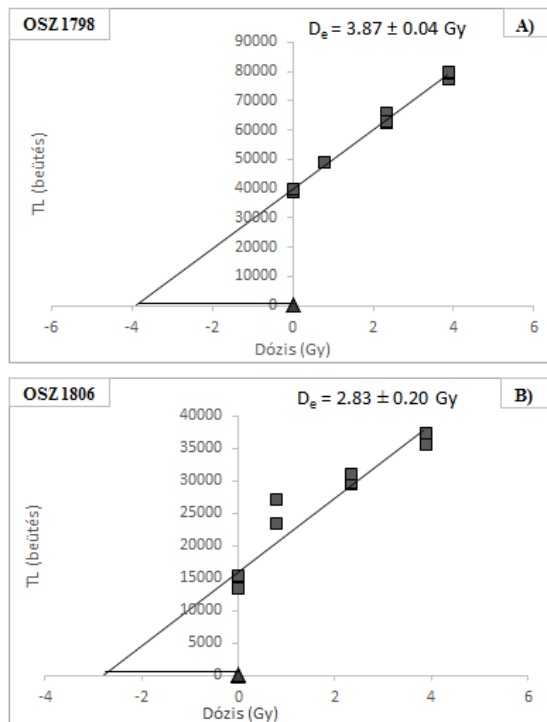
Ennek során lépcsőzetesen, 5°C fokenként dózis lumineszcens összefüggéseket generáltunk és meghatároztuk az adott tartományra vonatkozó  $D_e$  értéket. Az így felállított grafikonon (9. ábra) jól látható, hogy mely hőmérséklettartományban viselkedik stabilan, azaz hol mutat platót a minta. A végső  $D_e$  érték számításakor felállított MAAD összefüggéshez már ezen tartományra vonatkozóan integráltuk az intenzitás értékeket. A tesztek alapján a mintákra vonatkozó dózis-plató átlagosan 320–350°C között jelentkezett. A plató egy minta (OSZ1807) esetében jelentkezett magasabb (345–375°C), míg másik két minta (OSZ1800 és OSZ1801) esetében pedig valamivel alacsonyabb tartományban (300–340°C). Minden minta esetében igaz volt ugyanakkor, hogy a dózis-plató nagyjából 30–40°C szélességű volt.

Egyes minták esetében az additív dózis lumineszcens válasz összefüggés egyes

korongcsoportokra vonatkozó értékei jelentősebb szórást mutattak (10. ábra), ez a jelenség leginkább az OSZ1800 és OSZ1806 minták esetében volt számottevő, így esetükben a számított  $D_e$  relatív hibája 10%, illetve 5% volt. A többi minta  $D_e$  értéke ennél jóval alacsonyabb, mindösszesen 1–2%-os relatív hibával volt jellemezhető (2. táblázat), ami általánosságban véve jó eredménynek tekinthető.

A regenerációs mérésekkel meghatározott, a dózis növekmény görbe kezdeti szakaszának korrekciójára vonatkozó értékek az additív módszerrel megállapított egyenérték dózisokat általában 1% vagy az alatti mértékben, azaz mindösszesen 0,01–0,02 Gy-jel módosították. Egyedül az OSZ1801 minta esetében kellett 5%-os, azaz 0,1 Gy nagyságú korrekciót alkalmaznunk (11. ábra). Összességében tehát az ez irányú korrekció mértéke elhanyagolható volt.



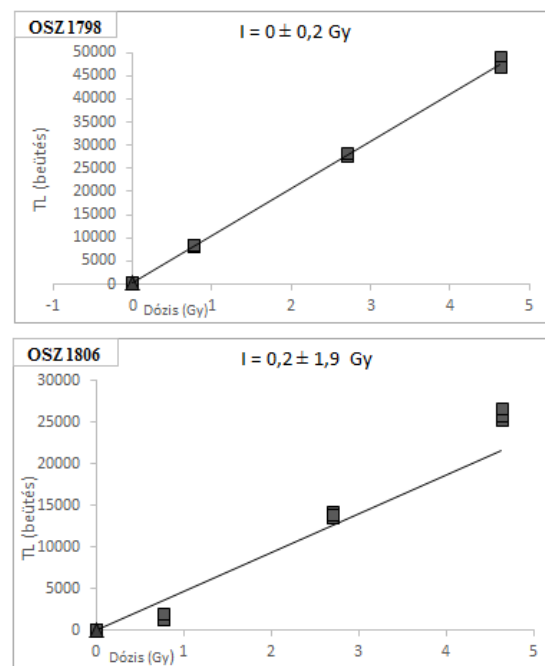


**10. ábra:** Additív dózis lumineszcens válasz összefüggések két reprezentatív minta esetében. A) A mérési adatok kevésbé szórnak, B) a mérési adatok egy-egy dózis esetében jelentősebb szórást mutatnak

**Fig. 10.:** Additive dose response curves in terms of two representative samples. A) At some samples multiple aliquot results had a low scatter, B) in other cases some of the dose points may exhibit a considerable scatter

Az egyenérték dózis nagyságát a fentiekén túl jelentősen befolyásolhatja a spontán fakulás, mely a földpát tartalmú, polimínerezus minták esetében igen jellemző. A **12. ábrán** bemutatott két minta jól szemlélteti egy átlagos, és egy átlagosnál jelentősen nagyobb fakulási rátával ( $g$ -érték) rendelkező minta esetében a laboratóriumi elvesztés arányát, illetve a meghatározás bizonytalanságát, hiszen bizonyos esetekben a  $g$ -érték relatív hibája a 20–25%-ot is elérheti, igaz máskor akár mindössze 1–2%-os is lehet (**2. táblázat**).

Az összes mintát figyelembe véve a legmagasabb fakulási ráta  $g=5,80\pm 1,59$  volt, ami az eredetileg mért egyenérték dózist jelentősen, mintegy 25%-kal növelte. Mindazonáltal a tapasztalt legalacsonyabb fakulási ráta ( $g=1,18\pm 0,81$ ) mindössze 5%-kal növelte a korrigált dózis értéket. Az összes mérést figyelembe véve azt tapasztaltuk, hogy a fakulási ráta átlagos értéke és standard hibája  $g=3,22\pm 0,40$ . Ez alapján a fakulás jelensége 12,9%-kal növelte a kapott egyenérték dózisokat és korokat. Mindez rávilágít a paraméter mérésének fontosságára, hiszen a fent említett százalékos eltérések a számított TL korokban is visszaköszönek.



**11. ábra:** Regenerációs mérések által kapott dózis növekmény görbék két minta (OSZ1798 és OSZ1806) példáján bemutatva

**Fig. 11.:** Exemplary dose response curves in terms of regeneration dose measurements (sample OSZ1798 and OSZ1806)

### Számított korok

A téglák TL kora a mért egyenérték dózis ( $D_e$ ) és a dózisteljesítmény ( $D^*$ ) hányadosaként adható meg (**2. táblázat**). A vizsgált 13 téglaminta adatai jól elkülönülő csoportokat mutatnak (OSZ1704 és OSZ1801, vagy OSZ1702 és OSZ1806), melyek nagyjából igazodnak az egyes, korábban meghatározott régészeti periódusok időintervallumaihoz. Ugyanakkor a mérések eredményeiből kitűnik két kiugróan idős adat (OSZ1799 és OSZ1803) (**2. táblázat**), melyeket kétféleképpen lehet magyarázni. Egyrészt előfordulhat, hogy a vizsgált téglaminták korábbi építkezések anyagából származnak, azaz a téglákat újrahasznosították. Ez azonban kevésbé valószínű, hiszen az egyik esetben a TL a 9. századra, azaz valószínűtlenül korai időszakra keltezte a vizsgált téglát. Összességében realisabb azt feltételezni, hogy a két kiugró kort mutató téglát viszonylag alacsony hőmérsékleten lett kiégetve, így az üledékben korábban felhalmozódott, az égetés hatására csak részben törlődő TL-jel növelte meg a minták egyenérték dózisát, s így a korát. E feltételezés megerősítéséhez ugyanakkor további archeometriai vizsgálatok (XRD mérés, vékonycsiszolat készítése) elvégzésére lesz szükség a későbbiekben.

**2. táblázat:**

A minták nyers, illetve spontán fakulással (g-érték) korrigált egyenérték dózissai, valamint az ezek alapján számított TL korok

**Table 2.:**

Uncorrected and fading (g-value) corrected equivalent doses, and calculated TL ages

Terepi azonosító	Laboratóriumi azonosító	$D^*_{teljes}$ (Gy/ka)	$D_e^2$ (Gy)	g-érték <sup>3</sup> (%)	$D_{e\ korr.}^4$ (Gy)	Kor <sup>5</sup> (ka)	Régészeti keltezés	TL naptári kor
M06	OSZ 1702	5,77±0,17	2,60±0,11	5,80±1,59	3,24±0,23	0,60±0,05	15. sz. első fele	AD 1411-1496
M04	OSZ 1704	5,16±0,16	2,31±0,04	4,22±1,04	2,72±0,11	0,57±0,03	16. sz. első fele	AD 1461-1516
DB-2015/10-1	OSZ 1798	6,50±0,16	3,87±0,04	2,38±0,30	4,25±0,07	0,60±0,02	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1345-1384
DB-2015/10-2	OSZ 1799	4,13±0,15	3,55±0,06	1,18±0,81	3,72±0,13	0,86±0,03	15. sz. első fele	AD 1074-1165
DB-2015/10-3	OSZ 1800	3,65±0,12	1,87±0,20	3,35±0,39	2,13±0,23	0,51±0,06	15. sz. első fele	AD 1368-1501
DB-2015/10-4	OSZ 1801	5,18±0,14	2,08±0,09	3,26±0,16	2,36±0,11	0,40±0,02	16. sz. első fele	AD 1538-1587
DB-2015/3-5	OSZ 1802	4,33±0,12	1,49±0,04	2,17±0,11	1,63±0,05	0,34±0,01	16-17. század	AD 1628-1659
DB-DK-PILLER-6	OSZ 1803	5,31±0,14	5,88±0,12	1,45±0,95	6,25±0,28	1,11±0,04	15. sz. első fele	AD 782-903
DB-DK-PILLER2-7	OSZ 1804	6,14±0,14	2,90±0,03	3,61±0,26	3,29±0,05	0,47±0,01	15. sz. közepe	AD 1467-1499
DB-2017/3-8	OSZ 1805	5,46±0,14	3,50±0,07	2,40±0,90	3,81±0,14	0,64±0,02	15. sz. első fele	AD 1291-1353
DB-2017/3-9	OSZ 1806	5,59±0,15	2,83±0,20	5,75±0,05	3,42±0,25	0,51±0,04	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1359-1455
DB-2016/2-10	OSZ 1807	5,34±0,13	2,38±0,09	3,98±0,01	2,73±0,11	0,45±0,02	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1485-1533
DB-2018/3-12	OSZ 1892	5,47±0,17	3,09±0,07	2,40±0,36	3,38±0,09	0,57±0,02	14.sz. vége-15. sz. eleje	AD 1362-1423

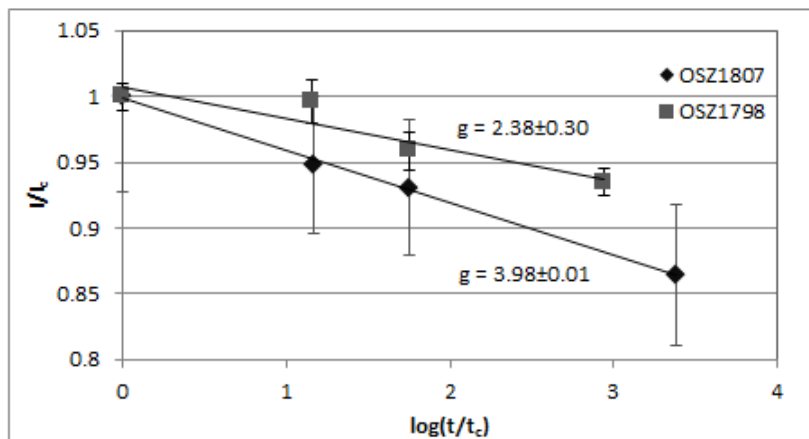
<sup>1</sup> teljes dózisteljesítmény

<sup>2</sup> egyenérték dózis

<sup>3</sup> spontán fakulás dekadonkénti értéke

<sup>4</sup> spontán fakulással korrigált egyenérték dózis

<sup>5</sup> a korrigált egyenérték dózis és a teljes dózisteljesítmény hányadosából számított TL kor évben (ka) megadva

**12. ábra:**

A mért TL intenzitás csökkenése ugyanazon regenerációs dózis besugárzása mellett, de a TL mérés késleltetési idejének növelésével (OSZ1798 és OSZ1807 minták)

**Fig. 12.:**

The decrease of TL intensities using the same regeneration doses but inserting a growing time delay between irradiation and TL measurements (samples OSZ1798 and OSZ1807)

### A TL korok és a régészeti periodizáció összevetése

A vizsgált 13 téglaminta döntő többsége igazolta a vár régészeti módszerekkel meghatározott periódusainak korát (2. táblázat). Fontos azonban megjegyezni, hogy a különböző építési fázisok pontosabb elkülönítése érdekében érdemes az egyazon periódusokhoz sorolt falszakaszokból több téglaminta eredményét is figyelembe venni (2. ábra), így ugyanis jól kiküszöbölhetők a téglaminták anyagából, valamint esetlegesen a mérésből adódó pontatlanságok, illetve kiugró értékek. Ezt a megközelítést alkalmazva, ahol erre lehetőségünk adódott, a dombói vár öt építési/átépítési periódusába sorolt téglaminták mérési eredményeiből átlagot számítottunk. Két periódusból (a harmadikból és az ötödikből) azonban így is csak 1-1 (OSZ1804 és OSZ1802) mintával rendelkezünk. E két építési fázis korának pontosítása további méréseket igényel.

A vár első építési periódusát a régészeti keltezés a 14. század végére vagy a 15. század elejére teszi. Az ezzel a fázissal összefüggésbe hozható falmaradványok közül a vár nyugati oldalának középtengelyéből, a feltételezett eredeti várkapu közelében levő falszakaszból egy mintát (OSZ1798), a nyugati várfal északi szakaszának keleti falsíkjából (OSZ1892), valamint a déli épületszárny udvari homlokzati falához épített bejárati építmény északi (OSZ1806) és északnyugati falának sarkából (OSZ1807) további egy-egy mintát gyűjtöttünk. Megvizsgálva a kapott korokat, igen szembetűnő, hogy a mintavételezési hely alapján jól elkülönül a déli palotaszárny falából gyűjtött két téglaminta (OSZ1806 és OSZ1807) a nyugati bejárat maradványából (OSZ1798) és a nyugati várfalból (OSZ1892) származóktól. Míg a déli épületszárny falából származó téglaminták közül az OSZ1806 minta

korát 1359-1455 közé, az OSZ1807 mintáét pedig 1485-1533 közötti időszakra, vagyis a 15. század közepére/végére – 16. század elejére kelteztük, addig az OSZ1798 minta kora 1345-1384 közé, az OSZ1892 mintáé pedig 1372-1423 közé, vagyis a 14. század végére tehető. Ezen észrevétel felveti annak a lehetőségét, hogy a déli épületszárny bejárati építménye nem az első periódusban épült, mint ahogy azt a régészeti adatok alapján feltételezték, hanem egy későbbi időszakban, a palotaszárny második periódusú kibővítésébe való utólagos hozzáépítés eredményeként. Meg kell ehelyütt azt is említeni, hogy az épület északi traktusának eddig csak egy részlete lett részlegesen feltárva, ezért számos tisztázatlan kérdés maradt az érintett falmaradványok egymással való viszonyával kapcsolatban, így egyelőre a régészeti keltezésük is csak hipotetikus. Mindennek tudatában a vizsgált négy téglaminta kora nem vonható össze, átlagszámításra csak a fent említett két csoport elkülönítésével van lehetőség. Eszerint a vár első periódusára keltezett két téglamintából (OSZ1798 és OSZ1892) származó, standard hibával megadott átlagos TL kor (637±18 év) naptári évben kifejezve 1365 és 1401 közé helyezi a nyugati falmaradványok építési idejét. Mindeközben a régészetileg 15-16. századra keltezett déli épületszárnyból származó minták (OSZ1806 és OSZ1807) korának átlaga (562±51 év) alapján a déli szárny építési ideje 1407 és 1509 közé tehető.

A második építési periódus régészetileg meghatározott időszaka a 15. század első felére keltezhető. Az ebben az időintervallumban kiépült nyugati kaputorony délkeleti (OSZ1799) és északnyugati (OSZ1800) falából, a déli épületszárny középső pillérének nyugati oldaláról (OSZ1803), a déli palotaszárny hozzáépített traktusának északi falából (OSZ1805), valamint a déli épületszárny keleti oldalának északi pilléréből (OSZ1702) gyűjtöttünk téglamintákat. Ezek közül

három téglaminta (OSZ1800, OSZ1805 és OSZ1702) bizonyult alkalmasnak TL mérésre és átlagolásra. Az OSZ1800 minta kiégetési ideje dátum szerint 1368-1501 közé, míg az OSZ1805 mintáé 1291-1353 közé, az OSZ1702 mintáé pedig 1411-1496 közé tehető a TL vizsgálatok alapján. Összességében a három minta korának átlaga ( $615 \pm 42$  év, azaz AD 1363-1447) viszonylag jelentős bizonytalanság mellett ugyan, de összhangot mutat a 15. század eleji, régészeti módszerekkel behatárolt időszakokkal. A fennmaradó két minta (OSZ1799 és OSZ1803) a vártnál jóval idősebb kort eredményezett (2. táblázat).

A vár harmadik periódusához kapcsolható építkezések a régészeti megfigyelések alapján a 15. század közepére datálhatók. Ennek a fázisnak a kormeghatározásához mindössze egy téglaminta állt rendelkezésünkre, amit a déli épületszárny keleti oldalához épített középső pillér keleti oldaláról (OSZ1804) gyűjtöttünk. Ezen minta kora a 15. század közepe utánra tehető (1467-1499), ami viszonylag kis eltérést mutat a régészeti kortól (kb. 20 év), azonban az eredmény megerősítéséhez további téglaminták gyűjtésére van szükség, lehetőleg különböző falszakaszok bevonásával.

A negyedik építési időszakot közvetlenül a 16. század elejére kelteznek az előkerült leletek és egy fennmaradt 17. század végi történeti forrás alapján (Miklós 2007, Boldizsár 2018). E periódus TL kormeghatározása céljából a keleti, külső várfalból (OSZ1704, AD 1538-1587) és a nyugati kaputorony elé emelt elővédmű északi falából (OSZ1801, AD 1461-1516) gyűjtöttünk téglamintákat. A két minta alapján számított átlagos TL kor  $492 \pm 35$  évnek adódott, ami 1493-1562 közé datálja ezt az építési fázist. Figyelembe véve, hogy a fent megjelölt időszak középpontú dátum szerint 1528, míg a források alapján az építés 1520 körülre tehető, a kapott TL kor és a történeti keltezés jó összhangot mutat.

A vár átépítésének utolsó periódusa a régészeti információk alapján a 16-17. századra esik. Ehhez az időszakhoz meglehetősen kisszámú falszakasz/építészeti emlék tartozik, így ez esetben is csupán egy téglaminta alapján tudunk TL kort megadni. E mintát a vár északi oldalának középső faltömbjéből (OSZ 1802) gyűjtöttük, korát pedig a 17. század közepére (AD 1628-1659) kelteztük, ami belesik a régészeti behatárolt időszakba, sőt le is szűkíti azt. Itt is érvényes azonban az a megjegyzés, miszerint több minta vizsgálatával adható meg biztosabban egy periódus kora, azaz ez esetben is hasznos lenne további minták kormeghatározása.

## Összegzés

A kutatás során a régészeti leletek és az építészeti párhuzamok alapján keltezett dombói vár öt különböző építési/átépítési periódusának korát

vizsgáltuk TL módszerrel. A mérési bizonytalanság csökkentése végett minden minta esetében térben és időben is súlyoztuk a környezeti dózisteljesítmény értékét a minták helyzetének, illetve a vár lerombolása következtében való esetleges eltemetődésének figyelembevételével. Ez alapján megállapítható, hogy a dózisteljesítmény előtörténet rekonstruálása a vizsgált időszakban akár évtizedekkel is befolyásolhatja a kapott kort, azaz az ilyen irányú megközelítés mindenképp hasznos a hasonló körülmények között gyűjtött minták esetében.

A minták döntő többségének  $D_e$  értéke igen alacsony, mindössze 1–2%-os relatív hibával volt jellemezhető, s tekintetbe véve a plató tesztek eredményeit is, elmondható, hogy téglaminták jó tulajdonságokkal bírtak a TL kormeghatározás szempontjából. A földpátokat is tartalmazó polimínerezésű minták esetében gyakran problémát okozó spontán fakulás (*anomalous fading*) változatos, de korrekcióra alkalmas értékeket vett fel, és 10–25%-kal növelte a kapott egyenérték dóziseket, s a korokat. A dózisteljesítményt jelentősen befolyásoló  $\alpha$ -hatások esetében jelentős eltéréseket találtunk, ami rávilágított e paraméter közvetlen mérésének fontosságára, hiszen amennyiben átlag értékekkel számoltunk volna, ez esetenként akár 25%-os túlbecslést eredményezett volna a TL korokban.

A TL vizsgálatok során kapott koradatok az ötből négy esetben jól összeegyeztethetők a régészeti módszerekkel meghatározott periódusok korával. A vár első időszakára keltezett négy téglaminta közül kettő igazolta a 14. század végére feltételezett legkorábbi periódus építését, a másik két téglaminta korát azonban csaknem egy évszázaddal későbbre datáltuk a TL segítségével. Ez azt jelenti, hogy a déli épületszárny bejáratí építménye nem az első periódusban keletkezhetett, hanem egy későbbi időszakban építhették hozzá a déli palotaszárnyhoz. Összességében elmondhatjuk, hogy a TL mérések által kapott koradatok megerősítették és igazolták, illetve egy esetben módosították a régészeti módszerekkel való keltezés eredményeit. Az egyes periódusokba sorolt téglaminták koradatainak átlagolása jól alkalmazható eljárásnak bizonyult, hiszen ez által részben kiszűrhetők az esetleges kiugró értékek, valamint a környezeti változók okozta hibák.

Két téglaminta esetében további vizsgálatok szükségesek, mert ezek túl idősnek bizonyultak. Ennek okaként az esetlegesen nem megfelelő égetési hőmérsékletet jelölhetjük meg legvalószínűbben, de ennek igazolása vagy elvetése további archeometriai vizsgálatokat igényel. Mindemellett a kort nagymértékben befolyásoló dózisteljesítmény értékének megbízhatóságát részletes *in situ* nedvességtartalom méréssel lehet tovább növelni a későbbiekben.



## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnénk főt hajtani Tóth Mária emléke előtt, aki nemcsak e cikk létrejöttét, de a magyarországi lumineszcens mérések archeometriai alkalmazását is nagyban elősegítette. A jelen tanulmányhoz kapcsolódó régészeti kutatás Dombóvár Város Önkormányzata finanszírozásával és a Nemzeti Kulturális Alap Örökségvédelmi Kollégiumának a támogatásával valósult meg. A termolumineszcens mérések az Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal K135793 számú pályázatának támogatásával valósultak meg.

## Irodalomjegyzék

AITKEN M. J. (1985): *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London. pp. 153-215.

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.

BERTA A. (2017): Rövid beszámoló a Dombóvár-Gólyavár területén 2016-ban végzett régészeti kutatásról. *Castrum* **20** 115–122.

BERTA A. (2018): A dombói vár 2015. évi régészeti feltárása. *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve* **XL** 207–266.

BERTA A. (2020): Rövid beszámoló a Dombóvár-Gólyavár területén 2017 és 2019 között végzett régészeti kutatásról. *Castrum* **23** 97–110.

BLAIN S., GUIBERT P., BOUVIER A., VIEILLEVIGNE E., BECHTEL F., SAPIN C. & BAYLÉ M. (2007): TL-dating applied to building archaeology: The case of the medieval church Notre-Dame-Sous-Terre (Mont-Saint-Michel, France). *Radiation Measurements* **42** 1483–1491.

BLAIN S., GUIBERT P., PRIGENT D., LANOS P., OBERLIN C., SAPIN C., BOUVIER A. & DUFRESNE P. (2011): Combined dating methods applied to building archaeology: The contribution of thermoluminescence to the case of the bell tower of St Martin's Church, Angers (France). *Geochronometria* **38/1** 55–63.

BOLDIZSÁR P. (2018): A dombói vár 2014-2015. évi feltárásainak középkori kályhacsempe leletei. *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve* **XL** 291–304.

BOVIER A., REYNAUD J-F., GUIBERT P. & SAPIN C. (2014): Luminescence dating applied to Saint-Irénée's church (Lyon, France). *Open Journal of Archaeometry* **2** 28–31.

CHRUŚCIŃSKA A., CICHA A., KIJEK N., PALCZEWSKI P., PRZEGIĘTKA K. R. & SULKOWSKA-TUSZYŃSKA K. (2014): Luminescence dating of bricks from the gothic

Saint James Church in Toruń. *Geochronometria* **41/4** 352–360.

DULLER G. A. T. (2007): Assessing the error on equivalent dose estimates derived from single aliquot regenerative dose measurements. *Ancient TL* **25** 15–23.

ESZES A. (2018): Rövid ismertető a dombói vár területén végzett 2015. évi régészeti feltáráson előkerült téglákról. *Wosinsky Mór Megyei Múzeum Évkönyve* **XL** 267–289.

FEATHERS J. K. (1997): The application of luminescence dating in American archaeology. *Journal of Archaeological Method and Theory* **4/1** 1–66.

GUIBERT P., BAILIFF I. K., BLAIN S., GUELI A. M., MARTINI M., SIBILIA E., STELLA G. & TROJA S. O. (2009): Luminescence dating of architectural ceramics from an early medieval abbey: The St Philbert Intercomparison (Loire Atlantique, France). *Radiation Measurements* **44** 488–493.

KONDOPOULOU D., AIDONA E., IOANNIDIS N., POLYMERIS G. S. & TSOLAKIS S. (2015): Archaeomagnetic study and thermoluminescence dating of Protobyzantine kilns (Megali Kypsa, North Greece). *Journal of Archaeological Science: Reports* **2** 156–168.

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.

MIKLÓS ZS. (2007): *Tolna megye várai*. Varia Archaeologia Hungarica **XXII**. Budapest, 171–180.

NAKATA Y., TAMAKI M. & HASHIMOTO T. (2007): Red-thermoluminescence dating using quartz grains extracted from a roof-tile of an old Japanese temple. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **272/2** 433–438.

PRESCOTT J. R. & HUTTON J. T. (1994): Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long term variations. *Radiation Measurements* **23** 497–500.

SIPOS GY., KISS T., PÁLL D. G., TÓTH O., SCHUBERT G. & TÓTH M. (2010): Mintagyűjtés, minta-előkészítés, mintavesztés TL kormeghatározás során. *Archeometriai Műhely* **VII/2** 131–136.

SIPOS GY. & PAPP SZ. (2009): Terrakotta műalkotások eredetiségvizsgálata és kormeghatározása termolumineszcens módszerrel.

Szépművészeti Múzeum, Budapest. *Archeometriai Műhely* **VI/1** 61–64.

SIPOS GY., TÓTH O. & BOZSÓ G. (2017): *A Szépművészeti Múzeum Antik Gyűjteményében őrzött, határon lefoglalt kerámiadolok eredetiségvizsgálata TL módszerrel.* In: Interdiszciplinaritás. Archeometriai, régészeti és művészettörténeti tanulmányok. Magyar Nemzeti Múzeum; Szépművészeti Múzeum, Budapest, 253–266.

STELLA G., ALMEIDA L., BASÍLIO L., PASQUALE S., DINIS J., ALMEIDA M. & GUELI A. M. (2018): Historical buildings dating: A multidisciplinary study of the Convento de São Francisco (Coimbra, Portugal). *Geochronometria* **45** 119–129.

STELLA G., FONTANA D., GUELI A. M. & TROJA S. O. (2014): Different approaches to date bricks from historical buildings. *Geochronometria* **41/3** 256–264.

TEMA E., FANTINO F., FERRARA E., GIUDICE A. LO, MORALES J., GOGUITCHAICHVILI A., CAMPS P., BARELLO F. & GULMINI M. (2013): Combined archaeomagnetic and thermoluminescence study of a brick kiln excavated at Fontanetto Po (Vercelli, Northern Italy). *Journal of Archaeological Science* **40** 2025–2035.

TÓTH O., SIPOS GY. & HAVAS Z. (2014): TL/OSL kormeghatározás tesztelése római kori bélyeges téglákon. *Archeometriai Műhely* **XI/1** 13–26.

WINTLE A. G. (2008): Luminescence dating: where it has been and where it is going. *Boreas* **37** 471–482.

ZIMMERMAN, J. (1971): The radiation-induced increase of the 100°C thermoluminescence sensitivity of fired quartz. *Journal of Physics C Solid State Physics* **4** 3265–3276.