

A Prambanan-szentély sérülései a 2006-os földrengésben (Yogyakarta, Indonézia)

Damages of Prambanan temple during the 2006 Yogyakarta earthquake

Kázmér Miklós

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék, Budapest. E-mail: mkazmer@gmail.com

Agus Hariyadi

Dept of Architecture and Planning, Faculty of Engng, Gadjah Mada Univ., Yogyakarta, Indonesia. agus@ugm.ac.id

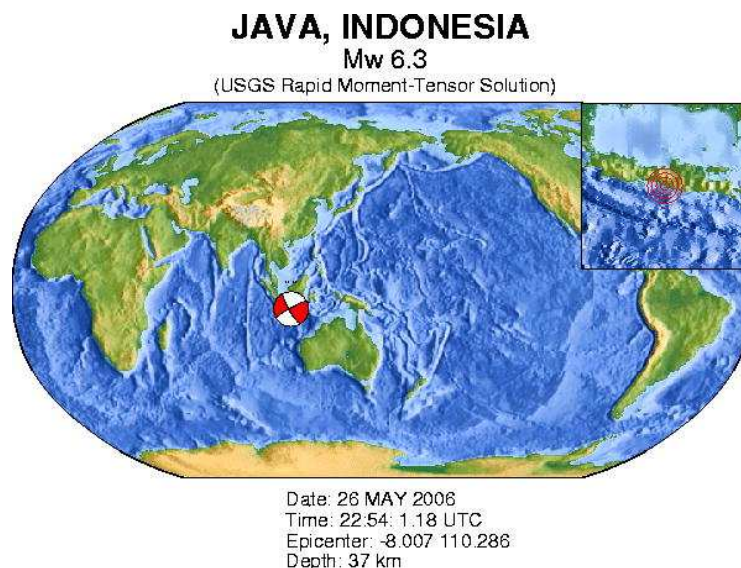
ÖSSZEFOGLALÁS: 2006. május 26-án 6.5 magnitúdójú földrengés sújtotta az indonéziai Yogyakarta szultánátust. Az aszeizmikus régióként számon tartott területen, az ismert törésvonalaktól távol mégis 155.000 ház dőlt össze. A súlyosan sérült épületek között volt a Prambanan szentélykomplexum. Felmértük a sérülések helyét, a kőtömbök elmozdulásának, ill. lehullásának irányát. Rekonstruáltuk a legerősebb rongálást okozó feszültségirányt. A 30°-210° irányú σ^1 főfeszültség iránya megegyezik a földrengést kiváltó vető csapásirányával.

ABSTRACT: A M 6.5 earthquake hit Yogyakarta on May 26, 2006. The region, considered aseismic, suffered high damages: 155,000 houses were destroyed. The Prambanan temple complex was among the severely damaged masonry buildings. Location and direction of damages have been investigated: displacement and falling direction of masonry was surveyed. We reconstructed the strong motion responsible for the damages. Direction of σ^1 stress (30°-210°) is parallel to the strike of the causative fault.

Kulcsszavak: földrengés, Indonézia, archeoszeizmológia

1 BEVEZETÉS

2006. május 26-án hajnalban 6.5-ös erősségű földrengés rázta meg az indonéziai Jáva szigetén Yogyakarta szultánátust (1. ábra). Maga a város nem szenvedett jelentősebb károkat, a környező falusias településhálózatban azonban 155.000 ház rombadőlt és további 200.000 súlyosan megsérült. A halálos áldozatok száma 6000 volt. Yogyakarta a főváros után az ország második legjelentősebb városa, egyben egész Indonézia legfontosabb felsőoktatási központja. Biztonsága nemzeti érdek.



1. ábra. A 2006. május 26-i yogyakartai földrengés helyszíne és fészekmechanizmusa.
Fig. 1. Location and focal mechanism of the May 26, 2006 Yogyakarta earthquake

A földrengésekben nem szegény Indonéziában ez – az ottani viszonyokhoz képest – nem is erős rengés nagy meglepetést keltett. Yogyakarta környékét ugyanis az egész hosszában szeizmikusan aktív Jáva szigetén belül aszeizmikus zónának tartották (Luehr et al., 2008). A rengést okozó törés nem nyílt fel a felszínig és nem is lehetett valamelyik ismert, kitérképezett vetővel azonosítani (Setijadji et al., 2008). A probléma megoldására nemzetközi együttműködés keretében 12 db ideiglenes szeizmikus állomást állítottak fel a környéken az utóregések észlelésére. Három hónapnyi működésük során elegendő adatot szolgáltatottak a fészekmechanizmus megállapítására (Walter et al., 2007). A kapcsolódó földtani céltérképezés pedig a közepes rengés nagy pusztító erejére adott magyarázatot: a Merapi-vulkánról származó, sűrűn ismétlődő iszaparak, laharok laza üledéksora erősítette fel a rengések pusztító hatását (Walter et al., 2008).

A rengés után három évvel végzett helyszíni kutatómunkánk archeoszeizmológiai tanulmány volt: feltételezésünk szerint a vidék középkori templomegyüttese megőrizhettek olyan bélyegeket, melyek a hajdani földrengésekre utalnak. A 2006-ban megsérült Prambanan-szentély helyreállítása éppen folyamatban volt. Lehetőséget kaptunk a részletes bejárásra; ekkor volt módunk felmérni azokat a sérüléseket, melyek értelmezését a jelen tanulmány mutatja be.

Munkánk abba a viszonylag új kutatási irányzatba illeszkedik, amely a műszeres méréseket megelőző időszakok földrengéseit vizsgálja, és azokhoz fizikai paramétereket kíván rendelni. Ennek ágazatai a terepi geológiai vizsgálatokon alapuló paleoszeizmológia (McCalpin, 2009), az írott dokumentumokat felhasználó történeti szeizmológia (Guidoboni és Ebel, 2009), valamint a régészeti dokumentációra támaszkodó archeoszeizmológia (pl. Sintubin et al., 2010). Korábbi tanulmányaink a szíriai Margat várának 13. századi pusztulását (Kázmér, 2008; Kázmér és Major, 2010, 2011), valamint a thaiföldi Chiang Mai legnagyobb kolostorának 16. századi rombadőlését vizsgálták (Kázmér et al., 2011). Hosszú távú célunk az, hogy a földtörténeti közelmúlt és a jelen természeti veszélyforrásait a geológia, a régészet és a történettudomány által szolgáltatott adatok integrált felhasználásával jobban megismerhetővé tegyük (Kázmér, 2011).

2 PRAMBANAN

A 9. század első felében épülhetett a Loro Jonggrang szentélyegyüttes (továbbiakban Prambanan-szentély), amely a hajdani Prambanan község (ma Klaten) területén álló legnagyobb szabású műemlékegyüttes (2. ábra).



2. ábra. A Prambanan-szentély látképe.
Fig. 2. Aerial view of the Prambanan temple complex.

A Jáva szigetét akkor uraló, indiai eredetű hindu kulturális hatás – és uralom – mai napig impresszív példája ma UNESCO világörökség címre jelölt kulturális zarándokhely indonézoknak, külföldieknek egyaránt (Jordaan, 1996). A szentélyeknek – a nyugati világ számára való – felfedezése Sir Thomas Raffles, a nagy műveltségű batáviai kormányzó nevéhez fűződik (Raffles, 1817), aki a napóleoni háborúkat kihasználó Brit Birodalom képviselőjeként vezette a Holland-Indiákon ideiglenesen állomásozó brit közigazgatást. Az akkor, állami támogatással megkezdett feltárás és felmérés (Tiffin, 2009) változó intenzitással a mai napig folyik: régi szentélyeket hoznak rendbe, és a mai napig újakat tárnak fel vulkanoszediment üledékek alól a közelebbi és tágabb környéken.

A Prambanan-szentély modern, turisztikai igények szerinti helyreállítása a közeli Borobudurnak az 1960-as években UNESCO-védnökséggel lezajlott teljes átépítésének (Soekmono, 1976) sikerén felbuzdulva zajlott – hálalistennek már rosszabb pénzügyi körülmények között. Borobudurt ugyanis az utolsó köig szétszedték, majd – vasbeton erősítésű alapzaton – összerakták. Prambanan esetében erre sem szükség, sem pénz nem volt, ezért csak részlegesen bontották le az egyes szentélyek legkülső rétegét, és raktak alájuk vasbeton keretet. Erre visszahelyezték a faragott köveket.

3 MÓDSZER

A szentélykomplexum épületeinek láthatóan friss – és az építésvezető által is annak tartott – sérüléseit kompasszal és mérőszalaggal mértük föl, valamint fényképen dokumentáltuk. Mődunkban állt a szentélyek különböző korokban készült restaurációs dokumentációját is tanulmányozni, valamint rendelkezésünkre állt a közvetlenül a 2006-os földrengés után készült, a felszín deformációkat rögzítő térkép is. A leomlott csúcscsúcsok zuhanási irányát, az egymáshoz képest elmozdult épületrészek mozgásirányát, valamint a földfelszíni hasadék csapásirányát egy feszültségtér elemeiként értelmeztük, és a főfeszültségi irányokat grafikusán határoztuk meg (Angelier, 1984).

4 EREDMÉNYEK

A Prambanan-szentély igen jó minőségű alapozáson áll: 8 m mélységig fehér tufablokkok, ez alatt pedig tömörített homok. A talajvíz 11 méter mélységben van (Suryolelono, 2008).

4.1 Az Apit Utara-szentély lezuhant csúcscsúcsa

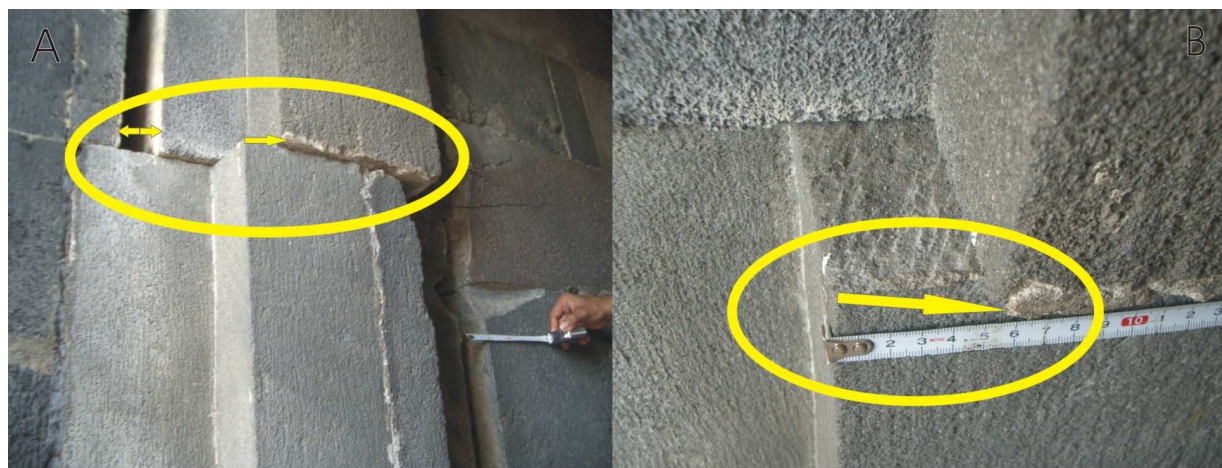
Az északi, kisebb, csak 14 méter magas Apit Utara-szentély két darabból álló csúcscsúcsa a tartójául szolgáló, faragott kőcsapráról leugorva 120° irányban zuhant le. Fejjel lefelé csapódott a talajba. A felső, kisebb tömb a vizsgálatkor még a becsapódási helyén volt. Az alsó, nagyobb tömb ettől elválva még egyet ugrott és az eredeti mozgásirányt nagyjából megtartva vízszintes vetületben összesen hét méteres távolságban állt meg eredeti helyétől (3. ábra).



3. ábra. Az Apit Utara-szentély lezuhant csúcscsúcsa. 7,7 m távolságra került, 120° irányban.
Fig. 3. Tip of Apit Utara temple fell towards 120° for 7.7 m.

4.2 A Siva-szentély vízszintes extenziója

A földrengés hatására a szentély északi és déli oldalán a kősorok között vízszintes elmozdulás volt megfigyelhető (4. ábra). Északon a felső kősor 200° irányban mozdult el az alatta lévőhöz képest. mintegy 5 cm-rel. Délen a felső kősor relatív elmozdulása 4,5 cm volt 20° irányban.



4. ábra. Vízszintes eltolódások a Siva-szentély teraszszintjén: 45 mm elmozdulás 20° irányban.
Fig. 4. Shiva temple sanctuary level. 45 mm shift towards 20°

A legnagyobb, középső, Siva-szentélyt az 1990-es évek holland restaurálása során megerősítették. A 60 m magas épület felső részét – a körüljárható terasz és a szoborkamrák magasságától fölfelé – a Borobudurból már ismert módszerrel megerősítették. A faragott szobordíszek alatt vasbeton keret fogja össze az épületet. A teraszszint alatti rész az eredeti, kora-középkori, rakott kőtömbökből áll.

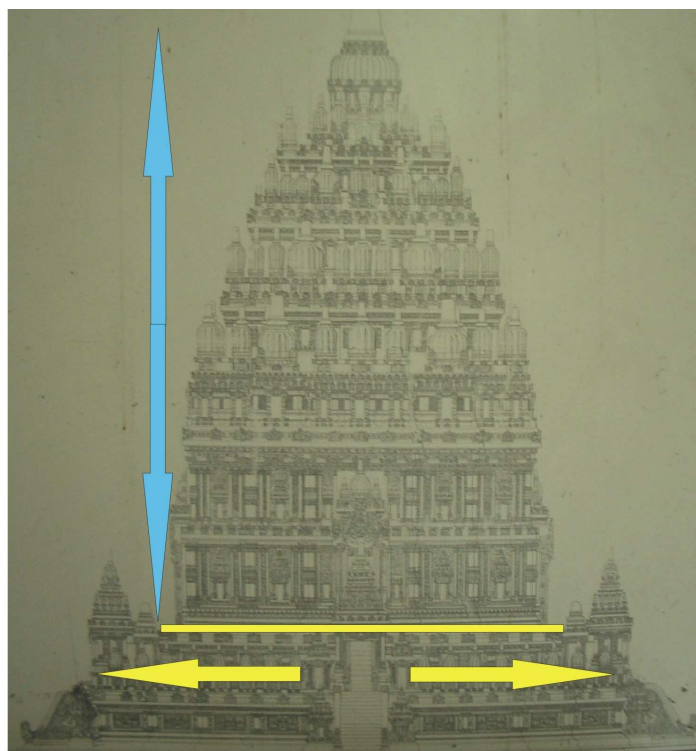
Értelmezésünk szerint a Siva-szentély alsó, betonkoszorú nélküli része mintegy szétrázódott a rengés hatására: 20° - 200° irányban mintegy 10 cm-rel lett hosszabb eredeti méreténél. A vízszintes elnyíródás ennek a jelenségnek a felületi megnyilvánulása. A felső, betonkoszorúval összefogott rész épen maradt (5. ábra).

belső
vasbeton
erősítés

reinforced
concrete
superstructure

nyírózóna a
szoborkamrák
magasságában
shear zone at
sanctuary level

eredeti kőépítmény
unreinforced masonry



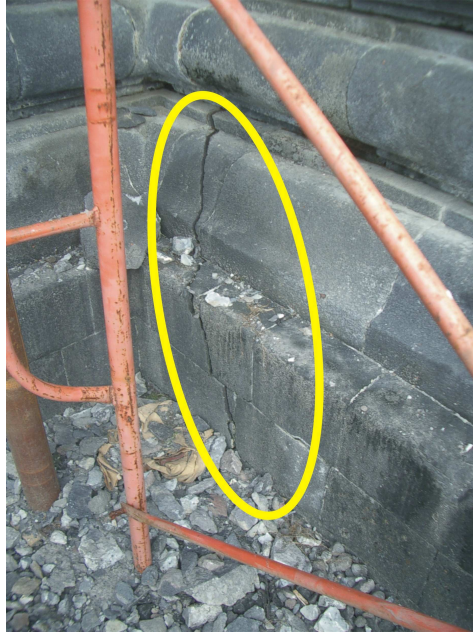
5. ábra. A Siva-szentély nyugati oldala. A terasz magasságában kialakult nyírósíka a felső, vasbeton-erősítésű részt választja el a megerősítés nélküli talapzattól. A nyilak a földrengés következtében bekövetkezett 10 cm-es extenziót jelzik.

Fig. 5. Shiva temple, W side. A horizontal shear plane was formed between the top part containing a reinforced concrete core and the unreinforced bottom part. Arrows indicate the location of 10 cm extension due to seismic shaking

4.3 Balos eltolódás a Brahma-szentélyen keresztül

A Brahma-szentélyen is végeztek restaurálást az 1990-es években. Itt a körüljáró terasz alatti rész faragott köpenyét távolították el. A vasbeton koszorú beépítése után a kőburkolatot visszahelyezték. A terasz fölötti rész az eredeti, kora-középkori építésű alakjában áll.

A körüljáró terasz magasságában több kötömböt átmetsző repedéseket figyeltünk meg (6. ábra). A repedések a szentély két átellenes, homorú sarkán egyaránt megtalálhatók és mindkettő 0.5 cm-es balos elmozdulást mutat. Véleményünk szerint ezek egy, az egész építményt átszelő balos oldaleltolódásnak a felületi jegyei.



6. ábra. A Brahma-szentélyt ÉNy-DK irányban átszelő balos oldaleltolódás. A felszínen 4 mm az elmozdulás.

Fig. 6. Brahma temple: a NW-SE left-lateral fault cross-cutting temple from corner to corner, despite reinforced basement. 4 mm left-lateral displacement.

A Brahma-templom csúcsdíszje is lezuhant. Ezt nem tudtuk megfigyelni, csak az építésvezető által mutatott helyet mértük be. A zuhanás 215° irányban történt, vízszintes vetületben 15 m távolságra (7. ábra).



7. ábra. A Brahma-szentély csúcsdíszje 15 m távolságra zuhant 35° irányban.

Fig. 7. Tip of Brahma temple fell 15 m towards 35°.

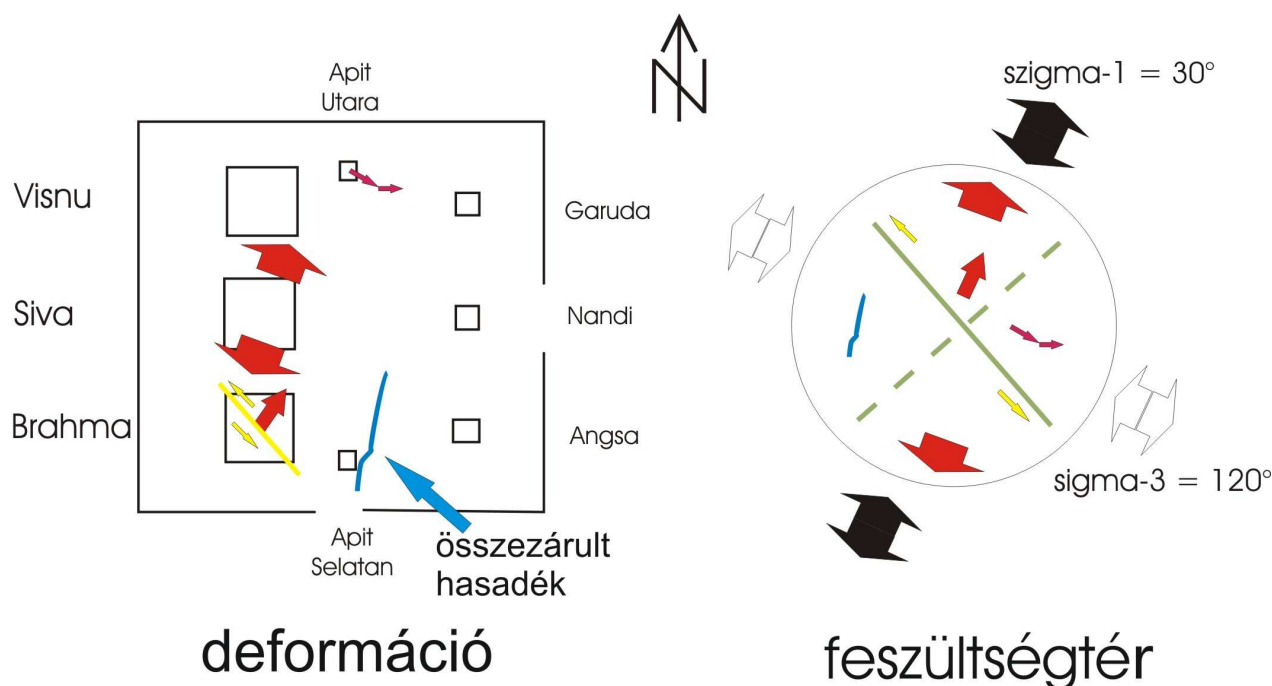
4.4 Talajrepedés

Darmojo építésvezető hívta fel a figyelmünket, hogy a Brahma-szentélytől keletre mintegy 20 m hosszú, 15° - 195° irányú, több cm széles talajrepedés húzódott a földrengés után, mely a vizsgálat idejére már teljesen eltűnt. A 8. ábrán látható lefutását a rengést követő mérnöki felmérési rajzról vettük át. A vidéken további szeizmikus hasadékokat Pramumijoyo és Sudarno (2008) mért fel.

5 DISZKUSSZIÓ

5.1 A feszültségtér rekonstrukciója

Az egyértelműen a földrengés okozta, mérhető irányú elmozdulásokat egyetlen feszültségtér-ábrában egyesítettük (8. ábra). Meghatározónak tekintettük a nagytömegű épületeket érintő és lehetőleg kevés, az épülettel kapcsolatos kényszert tartalmazó elmozdulásokat. Véleményünk szerint a legjobb minőségű, rezgésirányra vonatkozó adat a Siva-szentély aljának 20° - 200° irányú extenziója. A szentély ugyan négyzet alaprajzú, de – az egy ugyanazon vízszintes törési síkon való elmozdulás lehetősége miatt - elvileg bármilyen irányban szétrázódhatott volna. A valós extenzió irányát a legnagyobb intenzitású rezgés szabta meg.



8. ábra. A deformációkból rekonstruált feszültségtér. Széles nyilak: a szétrázódott Siva-szentély. Keskeny nyíl: a Brahma-szentély csúcsdíszének esési pályája. Keskeny, kettős nyíl: az Apit Utara-szentély csúcsdíszének röppályája; a nyilak megtörése a visszapattanás helyét jelzi. σ_1 – a rongálódást okozó fő lökés iránya (talán a P-hullám haladási iránya).

Fig. 8. Stress field reconstructed from damaged temples – σ_1 is strong-motion direction (possibly P-wave direction)

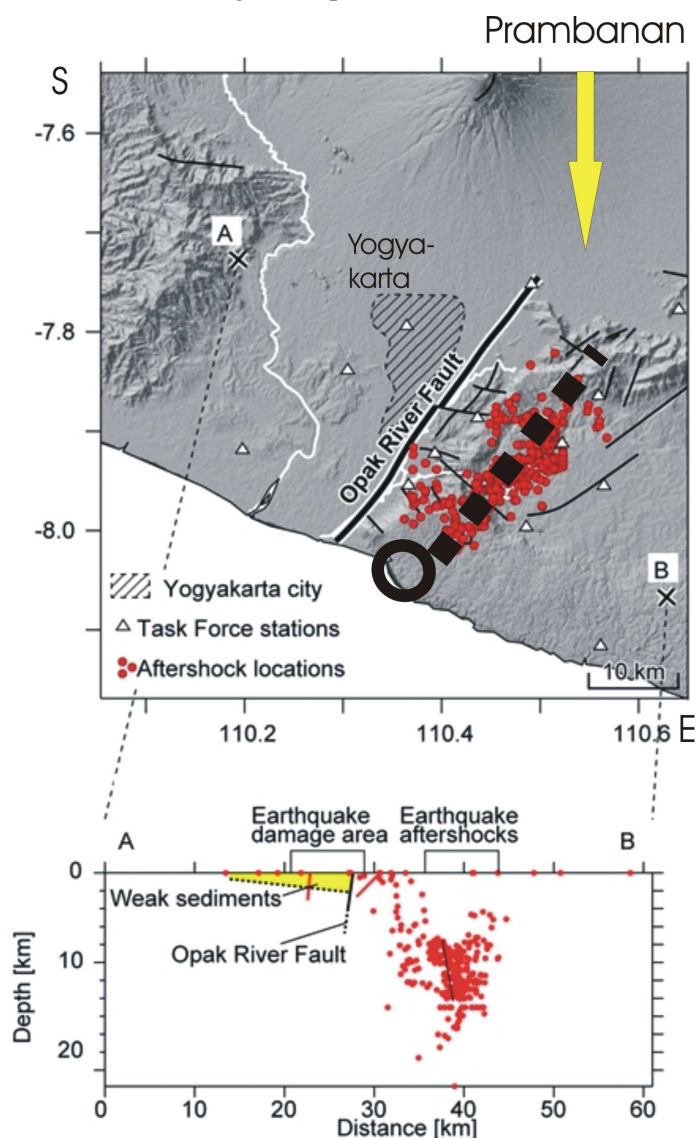
A Brahma-szentélyt átszelő 0.5 cm-es balos eltolódást mutató törés helyzetét minden bizonnyal befolyásolta, hogy az építménynek homorúak a sarkai. Az egész épületet átszelő törés kialakulásához két homorú sarok között volt a legkisebb a szükséges feszültség.

A legkevesebb, ez épülettel kapcsolatos kényszer a csúcsdíszek lezuhanási irányára hat. Ilyen magasságban az épületek is, a csúcsdíszek is körszimmetrikusak. Az Apit Utara-szentély 120° irányban ledobódott csúcsa és a Brahma-szentély 25° irányban lezuhant díszé mégis egymáshoz képest derékszögben mozgott. Ennek oka lehet, hogy a csúcsdíszek viszonylag kis tömegűek, és nem csak a legnagyobb rengéshullámok hatására jöhetnek mozgásba. A kettő közötti derékszögű iránykülönbség egyébként emlékeztet az erős mozgásokat regisztráló szeizmométerekkel felszerelt épületek rezgésének változására egyazon földrengés folyamán: két, egymásra nagyjából merőleges fő rezgésirány szokott kialakulni.

A 8. ábra az egységes feszültségtérbe rendezett deformációs elemeket mutatja. A végeredmény egy kb. 30° - 210° irányú, vízszintes σ^1 legnagyobb főfeszültség, egy 120° - 300° irányú, vízszintes σ^3 legkisebb főfeszültségirány, és egy függőleges σ^2 közepes főfeszültségirány.

5.2 Kapcsolat a töréssel

A rengést okozó vető a fészekmechanizmus (1. ábra) alapján balos oldaleltolódás. A rengés vető DNY végén, a tengerpart közelében pattant ki. Innét a törés ÉK irányban terjedt, feltehetően az utóregések hipocentrumai által jelzett távolságig (9. ábra). A prambanani szentély jó közelítéssel a vető csapásirányának meghosszabbításában fekszik, ezért érhetően jelentős rongálódást szenvedett. Feltehetően a P-hullámok okozták a Siva-szentély vasbeton megerősítés nélküli alsó részének extenzióját, míg az S-hullámok felelősek a csúcsdíszeknek a rögzítőcsapról való leemeléseért.



9. ábra. A 2006. május 26-i földrengés (epicentrum: fekete kör) utóregései három hónapon keresztül (Walter et al. 2008 után, módosítva). A vonalkázott terület Yogyakarta városa. A háromszögek az ideiglenes szeizmológiai állomások helyét jelölik. Az apró körök az általuk észlelt utóregések epicentrumai. A szaggatott vonal a balos törés hozzávetőleges lefutását mutatja a hipocentrum mélységében; ÉK folytatása Prambanan felé mutat. A vetők Rahardjo et al. (1977) térképe alapján. Az A-B szelvény az utóregések hipocentrumait mutatja a legnagyobb pusztítás kiterjedéséhez képest. Az Opak folyó medencéjének konszolidálatlan üledékei nagyrészt a Merapi vulkánról származó iszapfolyások (lahar) anyagából állnak.

Fig. 9. Map of post-seismic activity after the May 26, 2006 earthquake (after Walter, 2008, modified). Black circle – epicentre. Hatched – Yogyakarta city. Triangles – temporary seismic stations. Small circles: epicentres of post-seismic activity. Hatched line: supposed azimuth of the causative fault. Prambanan is to the NE. Faults after Rahardjo et al. (1977). A-B profile: hypocentres of post-seismic activity compared to the location of the greatest damage. Unconsolidated sediments of the Opak River valley are mostly from lahars of Mt. Merapi volcano.

A Brahma-szentély balos elvetéséért is a P-hullámok lehetnek a felelősek. Ezek tulajdonképpen a szentélyen áthaladó átlós törést hozták létre a Mohs-síkoknak megfelelően, vagyis ennek mentén végzett horizontális rezgőmozgást a szentélynek a vetővel elválasztott két fele. A balos elvetés csak annyit jelent, hogy egy ilyen pillanatban szakadt vége a rezgésnek; ha még egy picit tovább tart, akkor jobbos elvetés maradt volna ránk a földrengés után.

Ezek a megfontolások – további adatokkal kiegészítve – remélhetőleg lehetővé teszik a régészeti anyagban rejlő földrengési irány-paraméterek kiaknázását, a jelentős mennyiségű ellentétes megfontolással szemben (pl. Hinzen, 2008, 2009).



10. ábra. A Prambanan-szentélyegyüttes észak felől. Jobboldalt elől a beállványozott Visnu-szentély. Mögötte félig takarva a Siva-szentély. A Brahma szentély ebben a nézetben nem látszik. A bejárat-tól balra áll az Apat Utara-szentély, ennek hiányzó csúcsdísze szerepel a 3. ábrán.

Fig. 10. View of the Prambaban complex from the north. Right front: Vishnu temple, with scaffolding. Behind Vishnu: Shiva temples. Brahma temple behind Shiva cannot be seen from this direction. Left of the entrance there is Apat Utara temples. Its fallen top is show in Fig. 3.



11. ábra. A Visnu-szentély alsó részéről lebontották a külső, faragott kőburkolatot (2008. május állapot). Láthatóvá vált az építmény magja: fehér színű, puha vulkáni tufa. A díszes, aprólékos faragásokat egy sötét, keményebb, az időjárásnak ellenálló vulkáni kőzetben formálták meg. Habarcsot nem alkalmaztak az építésnél.

Fig. 11. Vishnu temple, decorative masonry removed (May 2008). White, soft volcanic tuff core is visible. No plaster has been applied for construction in the early Middle Ages.



12. ábra. A Visnu-szentély 2008. augusztusában. A puha tufából készült kőmagot – kissé megfaragva – vasbeton köpennyel veszik körül, majd visszaépítik a külső, díszesen faragott burkolatot.

Fig. 12. Vishnu temple in August 2008. The soft tuffite core is surrounded by reinforced concrete mantle. The original, decorative stone cover of harder volcanic rock is being replaced.

6 KÖVETKEZTETÉSEK

A 2006-os Yogyakarta-i 6.5-ös erősségű földrengés sérüléseket okozott a középkori Prambanan-szentélyen. A deformációk jellegét és azimutját egy feszültség-tér-ábrában értelmeztük. A megállapított σ^1 legnagyobb főfeszültség iránya a törés végpontja felé mutat és nagyjából megegyezik a rengést kiváltó törés irányával.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők munkáját az OTKA K67.583 sz. pályázata támogatta. Külön köszönet illeti Subagyo Pramumijoyo professzort és Husein Salahuddin adjunktust (Gadyah Mada Egyetem), Haryana igazgató asszonyt (Prambanan Complex), Darmojo építőmestert, valamint Ditto Haryanát a mindenre kiterjedő támogatásért. A jelen tanulmány az UNESCO támogatásával működő IGCP 567: *Earthquake Archaeology: Archaeoseismology along the Alpine-Himalayan Seismic Zone* projekt keretében készült.

IRODALOMJEGYZÉK

- Hinzen, K.-G. 2008. Can ruins indicate a backazimuth? *Seismological Research Letters* **79** (2), 290.
 Hinzen, K.-G. 2009. Simulation of toppling columns in archaeoseismology. *Bulletin of the Seismological Society of America* **99** (5): 2855-2875.
 Angelier, J. 1984. Tectonic analysis of fault data sets. *Journal of Geophysical Research* **89**: 5835-5846.
 Guidoboni, E. és Ebel, J.E. 2009. *Earthquakes and Tsunamis of the Past: A Guide to Techniques in Historical Seismology*. Cambridge University Press, Cambridge, 590 p.

- Jordaan, R. (szerk.) 1996. In Praise of Prambanan: Dutch Essays on the Loro Jonggrang Temple Complex. KITLV Press, Leiden, 259 p.
- Kázmér M. 2008. Földrengések okozta sérülések Margat keresztés várában (al-Marqab, Szíria). In: Török Á. & Vásárhelyi B. (szerk.): *Mérnökgeológia – Kőzetmechanika 2008*. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár **7**, 159–164, 4 ábra. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Kázmér M. 2009. Geológia, archeológia és história – a környezettörténet forrásai. In: Kázmér M. (szerk.): *Környezettörténet. Az elmúlt 500 év környezeti eseményei történeti és természettudományi források tükrében*. Hantken Kiadó, Budapest, pp. 11–20.
- Kázmér, M., Major, B. 2009. Distinguishing damages of multiple earthquakes – archaeoseismology of a masonry Crusader castle (al-Marqab citadel, Syria). In: Stewart, I., Sintubin, M., Niemi, T. and Altunel, E. (szerk.): *Ancient Earthquakes. Geological Society of America Special Paper* **471**, 185–198.
- Kázmér M. & Major B. 2011. Két földrengés Szíriában – Margat várának archeoszeizmológiája. In: Kázmér, M. (szerk.): *Környezettörténet 2 – Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományi források tükrében*. Hantken Kiadó, Budapest, pp. 283–313.
- Kázmér, M., Sanittham, K., Charusiri, P., Pailoplee, S. 2011. Archaeoseismology of the AD 1545 earthquake in Chiang Mai, Thailand. In: Grützner, C., Pérez-López, R., Fernández Steeger, T., Papanikolaou, I., Reicherter, K., Silva, P.G. & Vött, A. (szerk.): *Earthquake Geology and Archaeology: Science, Society and Critical Facilities. 2nd INQUA-IGCP 567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, 19-24 September 2011, Corinth (Greece). Proceedings Volume 2*, 102–105.
- Luehr, B.-G., Walter, Th., Wassermann, J., Wang, R., Wagner, D., Anggraini, A., Parolai, S., Zschau, J., Prih Harjadi, P. J., Kirbani Sri Brotopuspito 2008. The surprising Mw 6.5 Bantul earthquake 2006. *Geophysical Research Abstracts* **10**, EGU2008-A-03153.
- McCalpin, J. szerk. 2009. Paleoseismology. Elsevier, Amsterdam, 629 p.
- Pramumijoyo, S., Sudarno, I. 2008. Surface cracking due to Yogyakarta earthquake 2006. In: Karnawati, D., Pranutijoyo, S., Anderson, R., Husein, S. (szerk.): *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. Star Publishing Company, Belmont, CA, pp. 6-1 – 6-5.
- Raffles, T.S. 1807. The History of Java. London: Black, Parbury and Allen, and John Murray, 2 vols.
- Rahardjo, Sukandarrumidi, W., Rosidi, H. 1977. Geologic map of the Yogyakarta quadrangle, Java, scale 1:100,000, 8 pp., Geological Survey of Indonesia, Ministry of Mines, Jakarta.
- Setijadji, L. D., Barianto, D. H., Watanabe, K., Fukuoka, K., Ehara, W., Sudarno, I., Shimoyama, S., Susilo, A. Itaya, T. 2008. Searching for the active fault of the Yogyakarta earthquake of 2006 using data integration on aftershocks, Cenozoic geohistory and tectonic geomorphology. In: Karnawati, D., Pranutijoyo, S., Anderson, R., Husein, S. (szerk.): *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. Star Publishing Company, Belmont, CA, pp. 4-1 – 4-23.
- Sintubin, M., Stewart, I.S., Niemi, T.M., and Altunel, E. (szerk.): Ancient Earthquakes. *Geological Society of America Special Paper* **471**. 185–198
- Soekmono, 1976. Chandi Borobudur – A Monument of Mankind. Van Gorcum, Assen-Amsterdam, The UNESCO Press, Paris, 60 p.
- Suryolelono, K. B. 2008. Investigation of the Prambanan temple after the May 27, 2006 Yogyakarta earthquake. In: Karnawati, D., Pranutijoyo, S., Anderson, R., Husein, S. (szerk.): *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. Star Publishing Company, Belmont, CA, pp. 16-1 – 16-9.
- Tiffin, S. 2009. Java's ruined *candis* and the British picturesque ideal. – *Bulletin of SOAS* **72** (3), 525–558.
- Walter, T.R., Lühr, B., Sobiesiak, M., Grosser, H., Wang, R., Parolai, S., Wetzels, H.-U., Zschau, J., Milkereit, C., Günther, E., Wassermann, J., Behr, Y., Anggraini, A., Sri Brotopuspito, K., Harjadi, P. 2007. Soft volcanic sediments compound 2006 Java earthquake disaster. *Eos* **88** (46): 486.
- Walter, T.R., Wang, R., Luehr, B.-G., Wassermann, J., Behr, Y., Parolai, S., Anggraini, A., Günther, E., Sobiesiak, M., Grosser, H., Wetzels, H.-U., Milkereit, C., Sri Brotopuspito, P.J.K., Harjadi, P., Zschau, J. 2008. The 26 May 2006 magnitude 6.4 Yogyakarta earthquake south of Mt. Merapi volcano: Did lahar deposits amplify ground shaking and thus lead to the disaster? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **9** (5), Q05006, doi:10.1029/2007GC001810.