

## Földrengésálló építkezés a Selyemút mentén<sup>1</sup>

Kázmér Miklós

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék  
MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport  
Budapest  
E-mail: mkazmer@gmail.com

### Bevezetés

A Föld bármely területének szeizmicitása ma viszonylag könnyen megmérhető a földrengésjelző műszerekkel, a szeizmográfokkal. Sajnos, ez a műszerezettség csak mintegy ötven éve szolgáltat megfelelő minőségű és mennyiségű adatot a Föld szinte minden részéről. Hálózatba kötve pedig mindössze vagy két évtizede elérhetők az adatok. A nagy, romboló földrengések visszatérési periódusa gyakran ennél hosszabb, annyira hosszú, hogy az ott élők egyéni és kollektív emlékezetéből egyaránt kihullik (Force 2008). A nagyobb időtávok rengéseinek áttekintésére történeti forrásokat (Guidoboni 1993, Guidoboni & Ebel 2009), régészeti és építészeti emlékeket (Stiros & Jones 1996) és geológiai feltárásokat (McCalpin 1996) vizsgálunk.

Az archeoszeizmológia, a földrengések régészeti kutatása fölöttébb hasznos lehet a földrengés-veszélyeztetettség becslésével foglalkozó tudósoknak (Sintubin 2013). Ezen kívül szinte kincsesládája a régmúlt társadalmak tanulmányozásának: a földrengések fogadtatása, percepciója, a társadalom által elfogadott, ill. eltűrt kockázat mértéke, a közösség emlékezőképességének az időtartama és az információ megőrzésének és továbbadásának útja-módja (Kázmér et al. 2010), a földrengéseknek ellenálló épületszerkezetek megalkotásának képessége, ezen tudás megszerzése és átadása min-mind releváns kérdések a történeti és a társadalomtudományok számára.

Az emberi evolúciót és történelmet befolyásoló külső, természeti tényezők vizsgálata viszonylag új tudományterület. Az éghajlatváltozás és az ennek következtében megjelenő fokozatos növényzeti változások kutatása rendszeres (Maslin & Christensen 2007), de a hirtelen bekövetkező, katasztrofális események vizsgálata még kérdések formájában is ritkán merül fel: gondolunk itt elsősorban a földrengésekre és a vulkánkitörésekre (King és Bailey 2010). Force és McFadgen (2010) vetette föl, hogy tizenhárom újkőkori kultúrából alakult ki magasan fejlett civilizáció: római, etruszk, korinthuszi, mükénéi, minószi, türoszi, jeruzsálemi, ninivei, az Ur-Uruk-vidéki, mezopotámiai, perzsa, a mohendzso-darói, indiai árja, az egyiptomi Memphis kultúrája, végül pedig a kínai civilizáció. Ezekhez még hozzáadhatjuk az azték, maya és inka. Ha valamennyi kultúrát térképre rakjuk, megfigyelhetjük, hogy valamennyiük aktív törések és szeizmikusan mozgékony hegységfrontok mentén alakult ki (Jackson 2006). A jelen tanulmányban még egy kultúracsoportot adunk hozzá a fentiekhez: az összefoglalóan a Selyemút menti kultúráknak nevezett csoportot, mely az eurázsiai hegységrendszer északi peremének tektonikailag aktív zónáihoz kötődik (Lieu & Mikkelsen 2016). Az egyes társadalmak alkalmazkodásáról, különösen a Selyemút mentén, viszonylag kevés ismeretünk van. Bár a földrengés egyes országrészekben a mindennapi élet része, más helyeken váratlanul is felléphet, jelentős pusztítást okozva (lásd például Iránról e tekintetben: Ibrión et al. 2014; de a 2003-as földrengés, amely elpusztította Bam városát, egy felkészületlen közösséget sújtott: Parsizadeh et al.

---

<sup>1</sup>Ez a tanulmány Kázmér (2019) angol nyelvű értekezésének a magyar közönség számára átdolgozott változata.

2015). A helyi közösség alkalmazkodási módszereinek tanulmányozása általában (Janku, 2010), és különös tekintettel a földrengésekre (Jusseret 2014; Rideaud & Helly 2017) értékes tájékoztatást ad az emberi társadalmak működésének kevésbé ismert aspektusairól.

A Selyemút környezettörténetét számtalan tanulmány vizsgálja (lásd például jelen kötet fejezeteit). Meglepő módon azonban a szeizmikus veszélyeztetettség és kockázat számbavétele, még ha tudunk is léteükről (Xu et al., 2010), nem képezte rendszeres vizsgálat tárgyát (Lin et al. 2015): Kivétel talán a Korjenkov (újabbán Korzhenkov helyesírással, de ugyanaz a személy) vezette csapat működése Közép-Ázsiában, különösen Kirgíziában (Korjenkov et al., 2003, 2006a, b, 2009; Korzhenkov et al. 2016).

A kínai szakirodalomban bőségesen találunk cikkeket az egyes épületek (Zhou 2007) és régiók (Lin et al. 2005; Hong et al. 2014) archeoszeizmológiájáról, mi több, elvi kérdéseket is tárgyalnak (Hu 1991; Zhang et al. 2001; Shen & Liu 2008). Sajnos, a rövid tanulmányok sokszor nem támasztják alá állításaikat s szükséges mennyiségű és minőségű dokumentációval, ábraanyaggal. A bemutatott ötletek figyelemre méltóak, azonban fölöttébb szükséges lenne a rengések által okozott sérülések gondos fölmérésére, majd ebből megbízható intenzitásbecslésre, hogy e kutatások hozzájárulhassanak Kína földrengés-veszélyeztettségének pontosabb ismeretéhez. Jelen tanulmányban áttekintjük a Selyemút szárazföldi részének néhány szeizmológiai problémáját és megvizsgáljuk, hogyan reagáltak erre a társadalmak az elmúlt két évezred során (1. ábra).



1. ábra. A Selyemút szárazföldi (sötétebb, piros) és tengeri (világosabb, kék) útvonalai (Li et al. 2015).

Nemrégiben Forlin és Gerrard (2017) tekintette át a földrengés-sújtotta közösségek viselkedését: a szellemi és anyagi: pénzügyi és építkezési lépéseket a közösség talpraállítására, tulajdonának helyreállítására. E tanulmányban azokat a megelőző eljárásokat tekintjük át, amelyeket a Selyemút mentén élő népek tettek meg védelmük elősegítésére. Ezek az intézkedések egyaránt lehetnek tudatosak vagy a hagyományban gyökerezők.

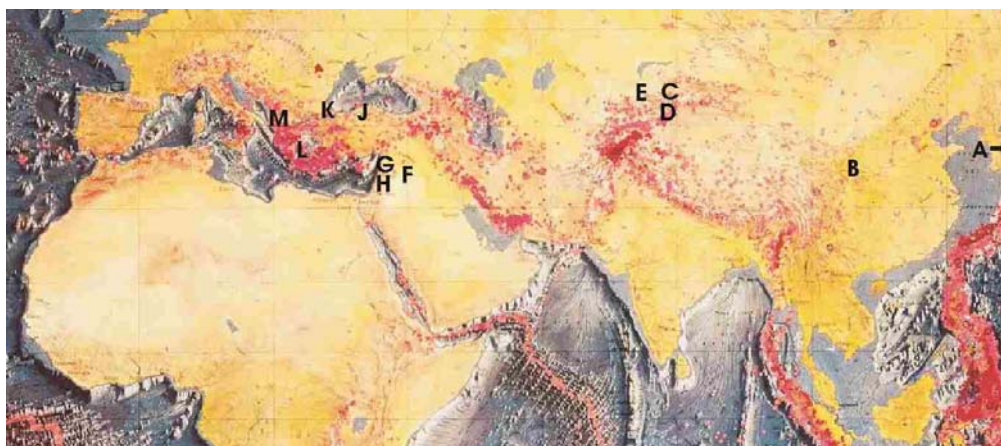
### *Földrengéstevékenység a Selyemút mentén*

Kínától a Földközi-tenger vidékéig tart az a nagy heglánc és egyben földrengési zóna, amellyel párhuzamosan a Selyemút húzódik. A domborzatot erőteljesen befolyásolják a azok az aktív vetők, amelyek mentén a kisebb-nagyobb földrengések kipattannak. Ezeket végső soron az északi Eurázsia-lemez és a déli Afrikai-, Arábiai- és Indiai-lemez vagy százmillió éve tartó közeledése, ütközése vezérli (Tapponnier és Molnar, 1979). Ez a folyamat napjainkban is tart, Ázsia hegyei ma is emelkednek, illetőleg oldalirányban eltolódnak egymáshoz képest. Az az aktív tektonika bizony ismétlődően bekövetkező katasztrofális földrengésekkel adja tudunkra működését (2. ábra). Nagyon gyakori, hogy települések sora húzódik a hegláncok peremén (Jackson 2006):

A Selyemút, amely feltehetően már az ókor óta fontos útvonala volt az utazásnak, a kereskedelemnek és a hódításoknak, Eurázsia déli, hegláncokkal tagolt peremén húzódott. Keleti végpontjának az ősi kínai fővárost, Xi'ant tekintik. Innen indulhattak a karavánok, emberek, áruk és kultúrák nyugat felé, a Közel-Keletre: Perzsiába, Bagdadba és Anatóliába. A kapcsolatok hálója egészen a Mediterráneumig, a görög és a római világig terjedt. Valószínűleg nem véletlen, hogy a karavánutak követték azt a vonalat, amely mentén a források, a folyóvizek átkelői és az ezek mellé épült települések követték egymást. Ez, nem véletlenül, a tektonikailag aktív hegláncok lába mentén húzódott. Embernek és állatnekegyaránt víz, élelem és pihenőhely kellett (Jackson 2006).

Bár a Selyemút szinte teljes hosszában a mérsékelt éghajlati övön, illetőleg a szubtrópusi sivatagi övben húzódik, van azért mellette elegendő hegyvonulat, amely kiváltja az orográfiai csapadékot és létrehozza az egész éves folyóvízhálózatot és a ki nem apadó forrásokat.

A hegyek tehát hasznosak lakóik számára: esőt adnak, a vizet tárolják, de ugyanakkor halálos veszélyt hordoznak: földrengések következnek be mozgásuk következtében, sziklaomlások, földcsuszamlások, és évente többször árvizek. Az ott lakók ezeket a veszélyforrásokat - többnyire nem tudatosan, de belekalkulálták döntésükbe, hogy azon a vidéken lakjanak-e vagy sem. Általában úgy tűnik, hogy az emberek készek vállalni a veszélyeket. A terület előnyeit is számba véve elfogadják, hogy lakóhelyüket időnként katasztrofális földrengés pusztítja el. E tanulmányban azt vizsgáljuk meg, hogyan építenek olyan épületeket, amelyek dacolnak a földrengés erejével.



2. ábra. A Selyemút menti földrengésálló építkezési helyszínek (nagybetűvel jelölve): A háromdinemiós topográfiai térképen piros pöttyök jelölik az 1960 és 1980 között bekövetkezett 4,5-7,5 magnitúdó közötti földrengéseket (Espinosa et al. 1981): **A.** Wakamacu, Japán. **B.** Tiansui, Ganszu, Kína. **C.** Kamenka-erőd, Isszik-kul, Kirgízia. **D.** Tosszor, Isszik-kul, Kirgízia. **E.** Burana, Kirgízia. **F.** Palmúra, Szíria. **G.** Margat, Baniasz, Szíria. **H.** Szafita, Szíria. **J.** Safranbolu, Törökország. **K.** Isztanbul, Törökország. **L.** Athén, Görögország. **M.** Elbasan, Albánia.

## *Archeoszeizmológia és más szeizmológiák*

A földrengések előfordulását és paramétereit már több mint száz éve szeizmográfokkal, szeizmométerekkel vizsgálják. A hajdan kormos papírra tüvel karcolt rengési görbék helyett ma globálisan, az internet által összekötött, elektronikus, automata állomások rögzítik a mérései eredményeket, és a rengés helyét, magnitúdóját percekben belül számítógépek kijelzik. Ezek a fejlett módszerek azonban mindössze vagy húsz éve állnak rendelkezésünkre.

A műszeres rengésérzékelés száz éve nem elegendő a hosszú visszatérési idejű földrengések felismerésére. Mennél nagyobb a földrengés, annál ritkábban fordul elő ugyanazon a helyen. Ez a visszatérési periódusidő gyakran hosszabb, mint a szeizmográfok alkalmazásának kezete óta eltelt idő. A műszeres megfigyeléseket megelőző korok rengéseiről írott dokumentumokból tájékozódhatunk: a történeti szeizmológiának már kézikönyve is van (Guidoboni & Ebel 2003). A történeti adatsorok néhány száz, szerencsés esetben néhány ezer évet fognak át. Ahol a történeti források hiányoznak, ott a régészeti módszerek a célravezetőek. Az emberkéz alkotta építmények rengési deformációjával az archeoszeizmológia foglalkozik (Stiros & Jones 1996). A történeti és régészeti adatokat szolgáltató időszakot megelőzően a földtani módszerek, összefoglalóan a paleoszeizmológia ad felvilágosítást, elvi esetekben akár millió évekre visszamenően (McCalpin 1999).

A múltbéli földrengéstevékenységet részletesen tanulmányozták a Selyemút mindkét végén. A japán történeti katalógusokat Ishibashi (2004) tekintette át. Kínában több katalógus is létezik: Academia Sinica (1956) és Li (1960) Az adatok filológiai mélységeig hatoló elemzését Walter (2016) adta. A Földközi-tenger környezetének rengéseit Ambraseys (2009), valamint Guidoboni & Comastri (2009) foglalta részletesen adatolt katalógusba. A közrezárt területet nagyrészt lefedi Ambraseys & Melville (1982) könyve a perzsa földrengésekről, valamint Kondorskaya és Shebalin (1982) katalógusa a Szovjetunió történeti szeizmicitásáról, mely a mai közép-ázsiai utódállamokat is magában foglalja.

### **A földrengésálló építkezés építőanyagai**

A tartósnak szánt építmények anyagát az épület célja, az építőanyag elérhetősége, az anyagi lehetőségek, a kulturális hegyományok és az éghajlat határozza meg. Vályog és vert fal, fa, kő, beton és a fémek felhasználását vesszük sorra az alábbiakban.

A múlt építőanyagairól való ismereteinket erőteljesen befolyásolják a megmaradás, a megtartás lehetőségei: ebből a szempontból a vályog a legrosszabb, ezután következik a fa, míg a monumentális kőépítmények és a római beton anyagú házak maradnak meg legjobban, a soronkövetkező generációk és a késői korok kutatói számára egyaránt. A pénzügyi lehetőségek mindig is erős határt szabtak az építkezésnek és így közvetve a megőrződésnek: a falusi épületek megmaradására van a legkevesebb esély, városi házaknak már inkább, végül a világi és egyházi monumentális építkezés tárgyainak van a legnagyobb esélyük, hogy megküzdjenek a múlt idővel.

Ami a földrengésálló építkezést illeti, a monumentális épületek kínálják a legjobb példát. A legjobb anyagokból épültek, a a legjobb éptömestereket fogadták fel, azért, hogy az épület valóban az örökkévalóságig létezzen. Az ún. magaskultúrák építettek ilyeneket, hatalmuk csúcspontján. Ezek a kultúrák, szerte Eurázsiaiban, számos építési technológiát alkalmaztak. Ez megnehezíti építményeik összehasonlítását. Kínában nem használták az ókori görögök és rómaiak által kedvelt oszlopokat, és nem ismerték a rómaiak által feltalált boltívet sem. A Kínában kifejlesztett faszerkezet és téglafalazat kombinációja viszont nem volt ismert a Mediterráneumban. Itáliában előszeretettel használták a vonóvasakat a rengésekben meggyengült épületek szilárdítására (Forlin & Gerrard 2017). Ezt a módszert kelet felé azonban nem ismerték.



## Jurta

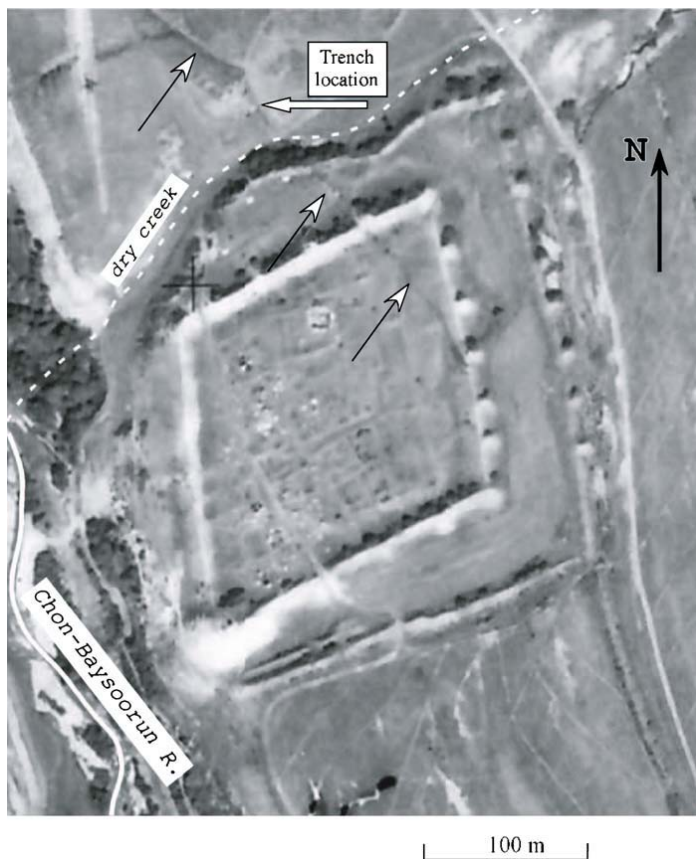
Favázas nemezsátrak (török nyelveken *jurta*, mongolul *ger*) valószínűleg évezredek óta az ázsia lovas nomádok lakóépületei (3. ábra). Könnyűek, órák alatt szétszedhetőek, állatokon vagy szekereken új helyükre szállíthatóak és itt ismét órák alatt összerakhatóak. Ehhez mindössze két ember szükséges. Nyáron kiválóan árnyékol és szellőzik, télen tűrhető meleget nyújt. Megvédi lakóit és vagyontárgyaikat az esőtől és hótól és az erős szelektől. Mai napig használják nomád és városi környezetben egyaránt. Ritkán említett tulajdonsága a jurtának, hogy tökéletesen földrengésálló. A valaha észlelt egyik legnagyobb, lemezen belüli szeizmikus esemény, az 1957-es Góbi-Altáj földrengés 8.3-as magnitúdójú volt. A földkéreg 260 km hosszban repedt meg, a maximális függőleges elvetés 7 m volt. A hatalmas felszabadult energia ellenére egyetlen halálos áldozatról sincsen tudomásunk (Kurushin et al. 1997). A legerősebben megrázott területet ugyan lakatlannak tartják, ez koránt sincs így. Állandó falvak és tanyaszerű, félállandó teleülések sokasága borítja a vidéket. Mindkét településfajta szinte csak jurtákból áll. Sem a függőleges, sem az úgyszintén több méteres vízszintes elmozdulások nem okoztak kárt sem a jurtákban, sem lakóikban.



3. ábra. Mongol jurta a Góbiban (Mandalgovi megye): Fotó: Mark Fischer. Creative Commons licenc. [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mongolian\\_Ger.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mongolian_Ger.jpg) Letöltés: 2018 január 30.

## Vert fal, vályog

A vert vagy más szóval döngölt fal ősi építési technológia. Agyagot, kőzetlisztet, esetleg homokot raknak valamilyen előre elkészített, kisebb-nagyobb formába, majd nedvesen ledöngölik (4-7. ábra). Az ily módon létrejövő falnak és az egyszintes épületnek nagyon jó a függőleges teherbíró képessége (Jaquin 2008). Olyan helyen, ahol feltételezhető, hogy földrengések hatására oldalirányú erők is föllépnek, deszkákat építenek vízszintesen a falba (*hatil* szerkezet) (Ortega et al. 2014). A vert fal kitűnő hőszigetelő télen és nyáron egyaránt. H megsérül, nagyon gyorsan és olcsón újjáépíthető. Gyakran használják falusias épületekben, de készültek monumentális épületek, sőt erődítmények is ezzel a technikával, elsősorban Közép-Ázsiában (pl. Csuj, Kirgízia: Korjenkov et al., 2012; Bam, Irán: Zahrai & Heidarzadeh 2007).



4. ábra. A középkori Kamenka-erőd megőrződött földművei légifelvételen. Az Isszik-kul északi oldala, Kirgízia. A rombusz-alakú, soktornyú erődítményt a nyilakkal jelölt balos vető vágja ketté. E mentén 4 m-es elmozdulás történt a 8.2-es magnitúdójú Kemin földrengés hatására, 1911-ben. A döngölt falak lényegében sérülés nélkül vészelték át a rengést (Korjenkov et al. 2006a, Povolotskaya et al. 2006).



5. ábra. A középkori Kamenka-erőd északnyugati fala. Az előtérben a a döngölt falat keresztező ásatási árok. A háttérben az 1911-es földrengés során 4 m balos elvetést szenvedett falrészlet. Fotó Kázmér M., #1178.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> A fényképek sorszámai a készülő Archaeismology Database megfelelő tételeire utalnak (Moro & Kázmér, 2018).



6. ábra. Döngölt fal régészeti ásatás 2,5 m mély árkában (Tosszor-erőd, az Isszik-kul déli partján): A rétegzést az ásató régész karcai emelik ki. Három törés harántolja a falat. Részletes leírása: Korzhenkov et al. 2016). Fotó: Kázmér M. x1246.



7. ábra. Vert földből készült útmenti korlát Kirgíziában. Két fa zsalutábla közé homokos agyagot döngöltek. Fotó Kázmér M., #1249.

### *Fa és faváz*

A fa az egyik, ha nem a legjobb földrengésálló építőanyag (8. ábra): Hajlékonysága révén fölveszi a mérsékelt vízszintes erőket. Visznylag könnyen beszerezhető, tehát sérülés esetén gyors az újjáépítés. A nagy szeizmicitású Japánban valamennyi hagyományos épületet, a parasztháztól a nagy szentélyekig fából építettek. Ezért aztán érdemben nem végezhetők archeoszeizmológiai vizsgálatok, mert a sérülések nyomait - még ha csak néhány évtizedesek is -, már réges régen eltüntették, kijavították (Barnes 2010).





8. ábra. Vastag függőleges oszlopok és vízszintes tartók alkotnak stabil, háromdimenziós faszervezetet, amely a nehéz cseréptetőt tartja ebben a buddhista szentélyben. Wakamacu prefektúra, Japán. Fotó Kázmér M., #0700.)



9. ábra. Favázás épület, téglá kitöltéssel. Buddhista kolostor lakóépülete, Tiansui, Ganszu, Kína. Ez a szerkezet extrém módon rengésálló: a csapolással összeerősített függőleges oszlopok és vízszintes tartók a rengés során is megőrzik geometriájukat; esetleg a téglák kipotyoghatnak a közeikből. Fotó Kázmér M., #3068.





10. ábra. Ismétlődő deszkarétegek teherhordó kőfalban (*hatil* szerkezet). A sarkokon csapolással összeerősített deszkák jelentősen lecsökkentik az épületsarkok kidőlésének veszélyét és Ezenkívül ellenállóvá teszik az épületet a rengéshullámok által kifejtett vízszintes terheléssel szemben (Dogangün et al. 2006): Elbasan, Albánia. Fotó: Kázmér M., #8769.)

### *Faváz és téglakitöltés*

A téglával vagy kövel kombinált favázás építkezési módot (*humış* és *hatil* építkezés) már sokan leírták, különösen Görögországból, Törökországból, valamint a pakisztáni és indiai Himalájából (Porphyrios 1971; Gülkan & Langenbach 2004; Langenbach 2007). Megemlítik a hajlékony függőleges oszlopok és vízszintes tartók, keresztrudak jótékony szerepét az egyébként merevnek tekinthető kő- és téglafalazatok rugalmasságának növelésében (9-12. ábra).

A favázás építkezés mindeütt ugyanazon az elven alapszik: a faszervezet viseli a vízszintes terhelést. A függőleges terheket vagy a faoszlopok, vagy pedig a kő, illetve téglafalak hordják (Dutu et al. 2012): A faváz geometriája a végtelenségig variálható. De már a legegyszerűbb fabetétes épület, mint az albániai Elbasan öreg lakóháza (*hatil* szerkezet) is jelentősen megnöveli a fal állékonyságát vízszintes terhelés, mint pl. rengések okozta kilengések esetén (10. ábra). Niyazov (2012) bemutatta, hogy Tadzsikisztánban hogyan erősítik meg a falusi kőépületeket rendszeresen a falba épített vízszintes tartókkal. Az európai (mediterrán) építési gyakorlatot Dutu és munkatársai (2012) foglalták össze.



11. ábra. Favázás lakóház, kő kitöltéssel (*hımış* szerkezet): Safranbolu, Törökország. A földszint faszerkezet nélküli kőfal. Rajta két emeletnyi, sűrűn tagolt faváz. Figyeljük meg a sarkokat kitámasztó ferde tartókat, melyek az oldalirányú terhelés hatását csökkentik! Fotó: Uğur Başak. Forrás: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Safranbolu\\_traditional\\_house\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Safranbolu_traditional_house_1.jpg). Creative Commons licenc. Letöltés: 2017. szeptember 23.



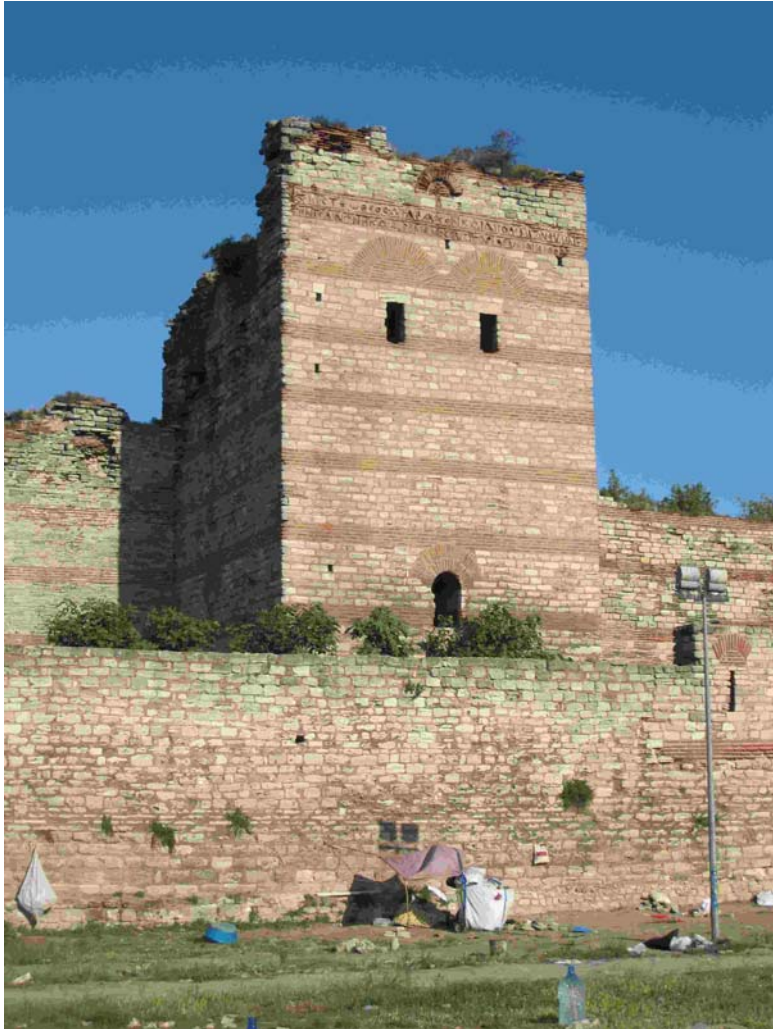
12. ábra. Favázás épület Athénban. Független oszlopok és vízszintes tartók szerkezetét X-alakú keresztmetszések stabilizálják. A faanyag köze téglával vagy vályoggal van kitöltve. Fotó Kázmér, M. #1399.

#### *Téglarétegzés kőépületben*

Bizánc 5-15. századi monumentális építészetének szinte elengedhetetlen bélyege a vízszintes téglarétegek beépítése a kőfalakba (13-15. ábra). Ezek nem csak díszként szolgáltak: a kőfalat teljesen



harántolták, így például az 5 m széles, Theodosius császár által Konstantinápoly védelmére épített városfalat (Ahunbay & Ahunbay 2000) (13. ábra). Bár a téglarétegek mérnöki szerepe egyelőre pontosan nem ismert (nem készült sem analóg, sem digitális modell megértésükre), többen a *hatil*, vagyis kősorok közé deszkákat fektető építkezés monumentális változataként értelmezik (Homan 2004). Az 1999-es földrengés meglepő tapasztalata volt, hogy a téglarétegek valóban nem csak díszítőelemek. Azok a nemrégiben újjáépített falrészletek, ahol a téglasáv csak a burkolatot alkot, leomlottak, míg a középkori, teljes egészében téglaréteges falak továbbra is állnak (Langenbach 2007).

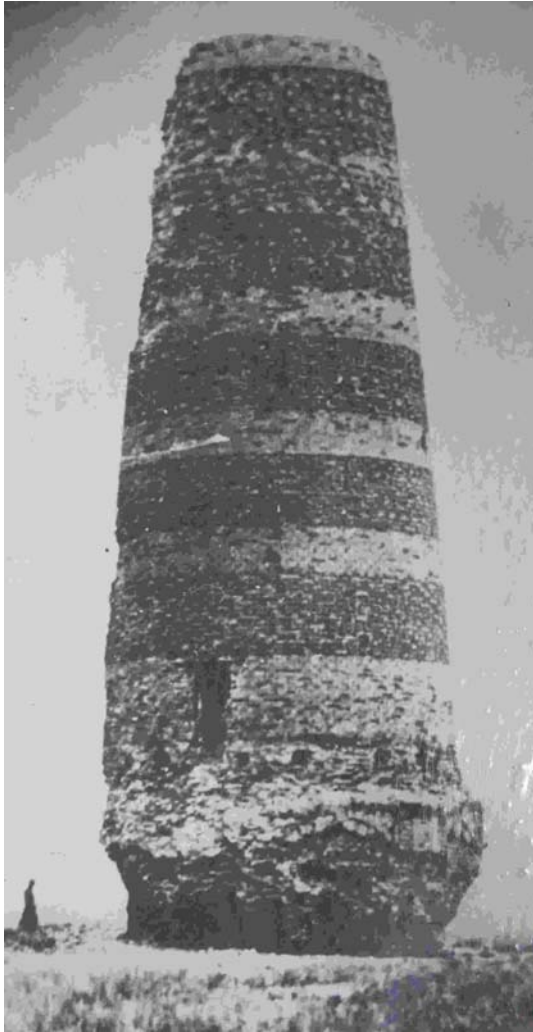


13. ábra. Kő- és téglarétegek váltakozása az 5. század elején épült Theodosius-féle városfal tornyában. A téglarétegek a fal teljes vastagsgát átharántolják. Vö. 14. ábra, Ahunbay & Ahunbay (2000). Az ilyen módon rakott téglarétegeket földrengésálló építkezésnek tekintik. Fotó: Kázmér, M., #0279.



14. ábra. A kőrétegek közé rakott téglasorok az öt méter vastag fal teljes szélességét átharántolják. Theodosius császár városfala, Isztambul, 5. század. Fotó: Kázmér M., #0283.





15. ábra. Burana minaretje a restaurálás előtt (10-11. század, Kirgízia): Valószínűleg egy késő középkori földrengés rongálta meg: az eredetileg 46 m magas toronynak több mint a fele leomlott; csak 18 méternyi maradt meg (Korjenkov et al. 2006). Figyeljük meg az eltérő téglasorokat: ez az építési mód fölöttébb hasonlít a perzsa-bizánci eredetű, tégl- és kőrétegekből álló építményekéhez. Helyszínen vásárolt kép, #1084.

#### *Vaskapocs, acélsap, vonóvas*

A Hangcsoui-öblöt keresztező tengeri gát faragott követ öntöttvas idomdarabok fogják össze. Ez teszi a hullámveréssel szemben ellenállóvá a Ming-Qing korabeli (14-19. század) építményt (Wang et al. 2012) Az öntöttvas használata - melynek fémtani összetételét nem ismerjük - mai mérnöki szemmel nézve erősen meglepő, ugyanis azt nem tartjuk ütészállónak. Mégis, több évszázadot kibírt a tenger ostromával szemben. Az ókori görögök nem használtak öntött vasat építkezési célokra. Acélt alkalmaztak, melyet ólomba ágyaztak, hogy megvédjék a rozsdásodástól, és hogy földrengés idején tompítsák az elmozduló kötömb és az acél ütközését (Stiros, 1995, 1996). Acélkapcsokat használtak például az athéni Parthenon (16. ábra) és a szíriai Palmüra Baál-szentélyének építésénél (17-18. ábra). A rugalmas acél adta a rezgésekkel szembei ellenállás erejét, míg a képlékeny ólom elnyelte a hirtelen lökéseket: a kötömb nem repedt meg.

Itáliában gyakori a csak kissé sérült épületek megerősítése vonóvasakkal. Az átellenes falakat mintha egymáshoz horgonyoznák, megakadályozva további dőlésüket, kibillenésüket (Forlin & Gerrard 2017) (19. ábra).



16. ábra. Ólomba ágyazott vaskapcsok kötik össze a szomszédos kőtömböket. Erechtheion, Athén, Görögország, kr.e. 5. század. Fotó: Kázmér M., #1171.



17. ábra. A szomszédos kőtömböket ólomba ágyazott vaskapcsokkal kötötték össze. Későbbi századokban az ólmot szisztematikusán 'újrahasznosították': a tömbök sarkán a bevésés ennek tanújele. Baál-szentély, Palmüra, Szíria, Kr.u. 1. század. Fotó: Kázmér M., #4245.



18. ábra. Az oszloptagok végébe ágyazott acélcsapok akadályozták meg az elmozdulást. A korrózió megakadályozására ólommal öntötték körül a csapokat: jól láthatók az öntőcsatornák. Baál-szentély, Palmüra, Szíria. Kr.u. 1. század. Fotó: Kázmér M., #4255.)



19. ábra. Vonóvasak erősítik a ház homlokzatát az épület átellenes falához. Földrengésben mérsékelten megsérült ház biztonsági javítása. Treviso, Olaszország. Fotó: Kázmér M., #1902.)

#### *Reteszelt kőillesztés*

Az iszlám építészet egyik látványos eleme a boltívek köveinek reteszelt illesztése (20. ábra). A egymás melletti kőtömbök tötvonalú síkok mentén illeszkednek. Rengés idején, a fal hosszában működő rengéshullámok eltávolítják majd közelítik egymásba a tömböket. Ha az eltávolodás során a középső tömb, a zárókő, vagy bármelyik másik tömb a szomszédaihoz képest apránként lezökken, a szerkezet meggyengül. Ha a zárókő kiesik a helyéről, az ív összeroskad. A zárókő lecsúszását, kiesését akadályozza meg a szomszédos tömbök egymásba kapaszkodását megeremtő 'retesz' kivésése. Iszlám országokban a módszer valószínűleg széles körben elterjedt: Szíriától Granadáig ismerünk ilyen módon készített íveket.

Reteszelt tömbökből a középkorban volt szokás ajtók vagy ablakok szemöldökkövéit készíteni. A 21. ábra a Zenobia (a mai Halabiyya, Szíria) praetoriumában, a kormányzói palotában használt szemöldökkövet mutatja. A 6. százaban Justinianus bizánci császár által újjáépített palota ablakának hagyományos ívében a zárókő félig lezökkent, míg a szemöldökkő vízszintes ívének darabjai csak kisebb mértékben föllazultak, elcsúszva egymáson. A 11-13. században a Földközi-tenger partvidékén épült keresztes várépítészet - bár mintegy két évszázadig az iszlám szomszédoságban működött - nem vette át ezt a praktikus technikát.



20. ábra. A reteszelt illeszkedésű kőtömbök nem mozdulnak el egymáshoz képest a fallal párhuzamos rezgések esetén: a zárókő nem tud lezuhanni, és nem omlik össze az ív. Ottomán épület Margat várában, Baniasz, Szíria. Fotó: Kázmér M. #1416.



21. ábra. Ablak szemöldökkövének szerepét betöltő lapos ív reteszelt illeszkedésű kőtömbökből (bekarikázva): Fölötte a zárókő lezökkent, míg a lapos ív tömbjei könnyedén fölvtették a tágulást. Hatodik századi praetorium Halabiyyában. Ez az ókori Zenobia az Eufrátesz mentén, Szíriában). Tombor Balázs fényképe.

### *Római beton*

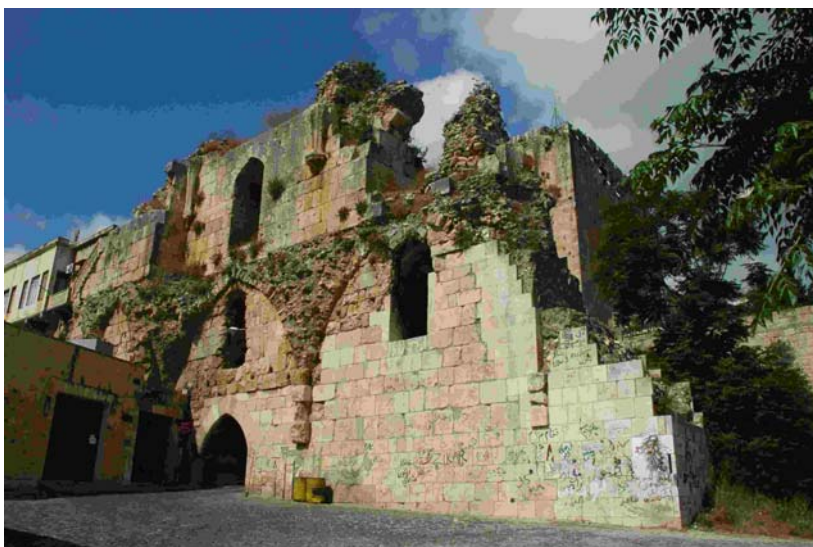
A szíriai partvidéken épült Margat (Al-Marqab, Baniyas, Tartúsz) várának kereszties és iszlám-kori falai két alapvető típusba tartoznak: ezek a faragott kő és a római beton. A faragott kőfal egyformára hasított vagy faragott tömbökből készül, amelyeket habarccsal vagy anélkül illesztettek össze. Fémkapcsokat nem alkalmaztak. Boltíveket, kupolákat, vékonyabb falakat készítettek így módon. A *római beton*, jelen esetben az *opus caementitium* kötőrmelék, melyet homok és mész keverékébe ágyaznak, és megoltanak. Megjelenésében a modern kor betonjára emlékeztet (Lamprecht, 2001; Ferretti & Bažant 2006). A rómaiak találták föl, és a még a középkorban is alkalmazták. Az *opus*



*caementitium* eljárást hagyományos faragott kőfalakkal kombinálták: a fal legkülső rétege gondosan faragott kőtömbökből áll: ez tulajdonképpen zsaluként szolgál a beton készítésekor, öntésekor. Utóbbit lényegében sosem lehet látni, csak sérült falakon (22-23. ábra) (Ferretti & Bažant 2006; Mistler et al. 2006): A faragott kőréteg esztétikai igényeket is szolgált, és kemény réteggként védte a betonfalat az időjárás behatásaitól és az ellenséges támadásoktól. Zsaluként szolgált a betonfal készítésekor, de annak megszilárdulása után már nem volt teherviselő funkciója. Margt várában függőleges falakat és boltíves áthidalásokat készítettek római betonból, néhány deciméterestől akár öt méteres vastagságig (Kázmér & Major 2010). A római betonból öntött épületek extrém módon képesek ellenállni a természeti katasztrófáknak: Rómában a Pantheon, 60 méter átmérőjű, betonból öntött, monolit kupolájával kétezer éve áll a helyén, sérülés nélkül.



22. ábra. Safita 11. századi várának romjai. Jól látható a két, vékony réteg zsalukő közé öntött, több méter vastag római beton. Fotó: Major Balázs, #DSC\_9559.



23. ábra. Safita 11. századi vára: a lovagterem romjai. A falak szépen faragott zsalukő közé öntött római betonból készültek (*opus caementitium*): Fotó: Major Balázs, #Safita (36).

## Megvitatás

### *A katasztrófák emlékezete*

Amint Jackson (2006) tanulmányában olvashatjuk: "a vető adja az éltető vizet, de a vető ölhet is, ha elmozdul". A Selyemút menti kisebb-nagyobb mezőgazdasági és kereskedővárosok és falvak jelentős földrengésveszélynek vanna kitéve. Mégis, bár egy adott rengés során a lakosságnak akár jelentős része is elpusztulhat (Jackson 2006), ezek a katasztrófák ritkán következnek be, adott esetben az egyéni és a társadalmi emlékezet hatókörén kívül. Nagyon kevés kutatás foglalkozott a társadalmi emlékezet hosszával, időtartamával; csak annyit állíthatunk biztosan, hogy ez legalább három generációt ölel át, nagyszülőtől unokáig. Ennél hosszabban akkor marad fenn múltbéli katasztrófák emlékezete, ha ahhoz valamilyen vallási tilalom vagy tabu kapcsolódik. Az egyes vetőkön a rengések visszatérési periódusideje évszázadokban vagy akár évezredekben mérhető; adott helyen a földrengések általában nem ismétlődnek az emberi emlékezet által átfogható időtartamon belül (Jackson 2006).

A természeti katasztrófákat, jelen esetben a földrengéseket a pusztulás és az anyagi veszteségek okozójaként tartjuk számon. A társadalomtudományok azonban már régebben felismerték, hogy a katasztrófa csak a 'ravasz', amelynek meghúzása kiváltja az egyébként is már bekövetkezőfélben levő pusztítást és veszteséget, amelyet régóta érlelődő társadalmi feszültségek okoznak (Degg & Homan 2005).

### *Földrengésálló építkezési módszerek*

Faszerkezetű, illetve favázás, de téglával-kövel kitöltött falú épületeket évezredek óta használnak a Kínától a Mediterráneumig húzódó Selyemút mentén (Semplici & Tampone é.n.). Azt, hogy egyidejű használatuk többszörös feltaláláson, avagy vándor mesterembereken múltott, nem tudjuk. Az oszlopok és tartók illesztésének finom technikai részletei, például, segítséget adhatnak az egyes, adott esetben életmentő építészeti megoldások terjedésének felismeréséhez.

A földrengésálló építési módszereket legjobban a monumentális épületeken lehet tanulmányozni. Ezeket, különösen a vallási célúakat, az örökkévalóságnak szánták. A legjobb anyagok felhasználásával építették, akkor is, ha azokat drágán, messzi lelőhelyekről lehetett csak beszerezni. A legjobb építőmesterek vezették munkálatokat. A hely kiválasztásától az építkezésen át a sok évszázados fenntartásig a lehető legjobb körülményeket igyekeztek elérni.

Egyes építési módszerek csak bizonyos civilizációkra jellemzőek. Pl. márvány, mészkő és homokkő oszlopok használata a görög és római építészetnek volt gyakran használt eleme. Ezek az oszlopok, különösen, amelyeket több kőkorongból állítottak össze, mintegy szeizmoszkópnak, rengésjelző műszernek tekinthetőek. A korongok elcsúszása, elfordulása mindenképpen szeizmikus esemény bekövetkeztét jelezte. Kínában ilyen kőoszlopokat nem alkalmaztak: ez a fontos archeoszeizmológiai bizonyítékcsoport ezért ott nem használható.

### *Szükségtelen rengésállóság*

Palmüra (a mai Tadmor Szíriában) szeizmikusan nem különösebben aktív vidékén fekszik (Sbeinati et al. 2005). Ezért meglepő, hogy a kétezer éve a nabateus birodalom által épített Baál-szentély fejlett földrengésálló építkezési módszerek ismeretére utal. Ólomba ágyazott acélkapcsok tartják össze a szentély ma is álló fő falát<sup>3</sup>, amit annak századokkal későbbi, fémablók általi szisztematikus kivésése bizonyít. Ismerjük a templom görög építésének a nevét (Stoneman 1994). Az ellentmondás (rengésálló építkezés rengésmentes helyen) úgy oldható fel, ha tudjuk, hogy az athéni építészeti iskola volt a leghíresebb az ókorban. Egyúttal Görögország déli és égei régiója az egész alpi-himalájai

---

<sup>3</sup>Ezt 2015-ben az iszlám kalifátus csapatai felrobbantották.

hegyvonulatnak földrengések által leginkább sújtott része (Tsapanos 2008). Joggal feltételezhetjük, hogy az athéni iskolában oktatták a földrengésálló építészet módszereit, és az onnét kikerülő építésszek elvitték ezt a tudást más, szeizmikusan kevésbé veszélyeztetett területekre is, ahol rutinszerűen alkalmazták is ezeket, bárhová vetette is őket munkájuk.

### *Hagyományos és modern építkezés*

A tárgyalt építési módszerek egyike megérdemel még egy bekezdést. A favázás építkezés, akár követ, akár téglával, legalább olyan jó házakat képes létrehozni mint az acélszerkezetes és a vasbeton építkezés. A lakók túlélési esélyei viszont nem egy esetben jobbak, amint azt mai földrengések vizsgálata mutatja. Az nem az, hogy a vasbeton rosszabb szerkezeti anyag lenne, hiszen ezt kiválóan lehet méretezni és megépíteni úgy, hogy ellenálljon a rengéseknek. A probléma nem ez, hanem az, hogy fejlődő országokban a képzetlen munkaerőt foglalkoztató, szabályozatlan és az ellenőrizetlen építőipar, amely nem képes az akár jó tervezést végrehajtani. Ezen országok földrengéses területein való építkezésnek végzetesek az eredményei földrengés esetén. A hagyományos, faszervezetű építkezéshez viszont rendelkezésre áll a helyi szaktudás, amely ellensúlyozhatja a vasbeton esetén hiányzó tudást (Langenbach 2015).

A mérnökök véleménye általában egyezik a tekintetben, hogy a faszervezetű épületek jól ellenállnak a földrengéseknek, az ilyen épületek földrajzi elterjedése nem jelent egyúttal földrengésveszélyes területet. Ahol fa csak előfordul nagyobb mennyiségben, és ahol a helyi hagyomány lehetővé teszi, és az építőmesterek meg is építik, ezt a módszert széles körben alkalmazzák (lásd a *Fachwerk* szerkezeteket Németországban és Ausztriában (Bostenaru Dan 2014).

Bár korunkban nem különösebben divatos a múltbéli építési technológiákhoz nyúlni, érdemes lenne a mérnököknek jobban érteniük és becsülniük a hagyományos, népi technológiákat (Dixit et al. 2004). Portugália a tragikus 1755-ös liszaboni földrengés után vezető szerepet töltött be a földrengésálló épületszerkezetek kifejlesztésében (Correia et al. 2014). Létezett valaha egy európai kutatóközpont földrengésálló technikák tanulmányozására a régészeti eredmények alapján (Helly 1995). A helyi jó antiszeizmikus építési gyakorlatok eredményeinek felhasználása a jelentősen csökkentené a földrengés-sújtotta területeken élő közösségek veszélynek való kitettségét (Karababa & Guthrie 2007).

Az, hogy az ismert földrengésálló építkezési módszereket alkalmazzák-e vagy figyelmen kívül hagyják, elsősorban két tényezőn múlik: a földrengési kockázat mértékén, és annak érzékelésén, illetve a rendelkezésre álló erőforrásokon. A rengésálló építkezés nem egyszer jelentősen drágább az egyszerű szerkezetekénél. A kockázat érzékelését erősen befolyásolja a rövid egyéni és a valamivel hosszabb közösségi emlékezet. Ha adott területen a földrengések visszatérési ideje jelentősen nagyobb, mint a társadalmi emlékezet időbeli kiterjedése, ha a romboló földrengések élménye eltűnik a régmúlt kódében, akkor a múltbéli építési hibákat újra és újra elkövetheti a társadalom. A közösségi emlékezet időtartama nem hosszabb, mint három generáció, vagyis kevesebb mint száz év. Az ennél ritkábban bekövetkező katasztrófális eseményeket könnyedén elfelejtjük, és ezért a földrengési kockázatot elhanyagolhatónak ítéljük, és megtakaríthatónak gondoljuk a rengésálló építkezés költségeit. Ezzel szemben a gyakran ismétlődő rengések életben tartják a földrengéstudatos építkezés igényét: a Mediterrán térség favázás építési technológiája ezért maradhatott fenn legalább ötszáz év technológiai fejlődése ellenére.

### **Következtetések**

Az archeoszeizmológia, a múltbéli földrengések régészeti kutatásának tudománya szinte kincsesládát nyit föl a régmúlt társadalmak viselkedését kutatóknak. A földrengések részei a természetnek és az emberi életnek a Kína és a Mediterráneum között húzódó Selyemút mentén. Az itt élő társadalmak számos módszert alkalmaztak a kockázat csökkentésére. A rengésálló épületek létrehozása és az esetleges sérülés vagy pusztulás kijavítása a rendelkezésre álló anyagoktól és a jó építési módszerek ismeretétől függ.

Az fennmaradásra szánt épületek anyaga függ az építmények céljától, az építőanyagok hozzáférhetőségétől, az építkezés és javítás anyagi lehetőségeitől, valamint kulturális és éghajlati hatásoktól. Ezekben az épületekben többnyire vályogot, téglát, fát, kőanyagot, betont és fémeket használtak. A *vert falú* házak gyorsan és olcsón építhetőek és javíthatóak. A *fa* kiváló rengésálló építőanyag: jól ellenáll a hajlító erőknek és gyorsan javítható. A *faszerkezet* flexibilis támaszt biztosít a téglaházaknak. A kőfalakba rétegzett téglák is a flexibilitást növelik a rengések során. A fémcsapok és -kapcsok mérsékelt rengés esetén megakadályozzák a kötőanyagok elforgását, elcsúszását, végső soron az épület összeomlását. A *reteszelt* kőzetblokkok megakadályozzák a boltívek zárókövének lezökkenését, az ív tönkremenetelét. A római beton: kötőanyagként mészzel és esetleg adalékanyagokkal keverve úgyszintén rengésálló szerkezetet alkot. A múltbéli építési technológiák megismerését erőteljesen befolyásolja megtartásuk. A vályog és a vert föld a legkevésbé szilárd anyag, a fa sokkal jobb, de a monumentális épületek gondosan faragott köveinek és a római betonnak vana legjobb potenciálja, hogy évszázadokig, akár évezredekig fennmaradjon.

Régmúlt korok építései, akár csak a maiak, tudásukat messzi országokig elvitték és kamatoztatták. Ezért van az, hogy földrengésálló építészeti megoldásokat alkalmaztak akár aktív törésvonalaktól távol is. Ma is, a rengéses területek helyi, tradicionális építkezési eljárásainak modern alkalmazása jelentősen csökkentené a helyi közösségek földrengési kitézettségét. A szeizmicitásnak és a veszélyek csökkentésére alkalmazott helyi technikáknak az ismerete értékes információkat szolgáltat a társadalmak működésére vonatkozóan is.

## Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet az alábbi kollégáknak, hogy a terepmunka során segítségére voltak és tanácsaikkal ellátták: Zeynep Ahunbay (Isztambul, Törökország), Fang Keyan (Fucsou, Kína), Andrej Korzsenkov (Moszkva, Oroszország), Major Balázs (Piliscsaba), Ernest Moro (Padova, Olaszország), Szugimoto Óki (Cukuba, Japán). Egy tiranai CEEPUS ösztöndíj és a Szír-Magyar Régészeti Misszió (SHAM) támogatása járult hozzá a terepmunkák költségeihez. Két anonim lektor és a szerkesztők munkája tette jobbá a kéziratot. Ez a SHAM 73. számú publikációja.

## Irodalom

- Academia Sinica (1956): 中国地震资料年表 Zhongguo Dizhen Ziliao Nianbiao. *Kína földrengési adatainak kronologikus táblázata*, 1-2. 中国科学院地震工作委员会历史组编辑 Zhongguo Kexueyuan Dizhen Gongzuo Weiyuanhui Lishizu Bianji. Kínai Tudományos Akadémia Földrengés-történeti Kutatócsoportja. 科学出版社出版 Kexue Chubanshe Chuban. Science Press, Peking.
- Ahunbay, M., & Ahunbay, Z. (2000): Recent work on the land walls of Istanbul: Tower 2 to Tower 5. *Dumbarton Oaks Papers*, 54, 227-239.
- Ambraseys, N. (2009): *Earthquakes in the Mediterranean and the Middle East. A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900*. Cambridge University Press, Cambridge, 968 p.
- Ambraseys, N., & Melville, C. P. (1982): *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge University Press, Cambridge, 219 p.
- Barnes, G. L. (2010): Earthquake archaeology in Japan: an overview. In: Sintubin, M., Stewart, I., Niemi, T. M., & Altunel, E. (szerk.) *Ancient Earthquakes*, Geological Society of America Special Paper, 471, 81–96.
- Bostenaru Dan, M. (2014): Timber frame historic structures and the local seismic culture - An argumentation. In: Bostenaru Dan, M., Armas, J., Goretti, A. (szerk): *Earthquake Hazard Impact and Urban Planning*. Springer, Berlin, 213-230.
- Correia, M., Carlos, G., Rocha, S., Lourenco, P. B., Vasconcelos, G., & Varum, H. (2014): Seismic-V: Vernacular seismic culture in Portugal. In: Correia, M., Carlos, G., & Rocha, S. (szerk.): *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*. Taylor & Francis, London, 663-668.
- Degg, M., & Homan, J. (2005): Earthquake vulnerability in the Middle East. *Geography*, 90, 54-66.



- Dixit, A. M., Parjuli, Y. K., & Guragain, R. (2004): Indigenous skills and practices of earthquake resistant construction in Nepal. *13th World Conference on Earthquake Engineering* Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 2971, 6 p.
- Dogangün, A., Tuluk, Ö. I., Livaoglu, R., & Acar, R. (2006): Traditional wooden buildings and their damages during earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 13, 981-996.
- Dutu, A., Gomes Ferreira, J., Guerreiro, L., Branco, F., & Goncalves, A. M. (2012): Technical Note: Timbered masonry for earthquake resistance in Europe. *Materiales de Construcción*, 62, 615-628.
- Espinosa, A. F., Rinehart, W., & Tharp, M. (1981): Seismicity of the Earth 1960-1980. [https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/5515uh/seismicity\\_of\\_the\\_earth\\_19601980\\_2182\\_x\\_1200/](https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/5515uh/seismicity_of_the_earth_19601980_2182_x_1200/Letöltés) Letöltés 2017 szeptember 18.
- Ferretti, D., & Bažant, Z. P. (2006): Stability of ancient masonry towers: Stress redistribution due to drying, carbonation and creep. *Cement and Concrete Research*, 36, 1389–1398.
- Force, E. R. (2008): Tectonic environments of ancient civilizations in the Eastern Hemisphere. *Geoarchaeology* 23, 644-653.
- Force, E. R., & McFadgen, B. G. (2010): Tectonic environments of ancient civilizations: Opportunities for archaeoseismological and anthropological studies. In: Sintubin, M., Stewart, I., Niemi, T. M., & Altunel, E. (szerk.): *Ancient Earthquakes*. Geological Society of America Special Paper, 471, 21-28.
- Forlin, P., & Gerrard, C. M. (2017): The archaeology of earthquakes: The application of adaptive cycles to seismically-affected communities in late medieval Europe. *Quaternary International*, 446, 95-108.
- Guidoboni, E. (1993): The contribution of historical records of earthquakes to the evaluation of seismic hazard. *Annali di Geofisica*, 36, 201-215.
- Guidoboni, E., & Comastri, A. (2005): *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma; Storia Geofisica Ambiente (INGV-SGA), Bologna, Italy, 1037 p.
- Guidoboni, E., & Ebel, J. E. (2009): *Earthquakes and Tsunamis in the Past. A Guide to Techniques in Historical Seismology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gülkan, P., & Langenbach, R. (2004): The earthquake resistance of traditional timber and masonry dwellings in Turkey. *13th World Conference on Earthquake Engineering* Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 2297, 15 p.
- Helly, B. (1995): Local seismic cultures: a European research program for the protection of traditional housing stock. *Annali di Geofisica*, 38, 791-794.
- Homan, J. (2004): Seismic cultures: myth or reality? *Proceedings of the Second International Conference on Post-Disaster Reconstruction: Planning for Reconstruction*, Coventry, U.K., Apr. 22–23.
- Hong, H., Shi, Y., Liu, T., Wang, H., & Zhan, X. (2014): Investigation and analysis of earthquake damage to ancient buildings induced by Lushan earthquake. *Earthquake Engineering and Engineering Dynamics*, 2014, 147-155.
- Hu, Sh. (1991): The earthquake-resistant properties of Chinese traditional architecture. *Earthquake Spectra*, 7, 355-389.
- Ibrion M., Lein H., Mokhtari M., & Nadim F. (2014): At the crossroad of nature and culture in Iran: The landscapes of risk and resilience of seismic space. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 71, 38-44.
- Ishibashi, K. (2004): Status of historical seismology in Japan. *Annals of Geophysics*, 47, 339-368.
- Jackson, J. (2006): Fatal attraction: living with earthquakes, the growth of villages into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 364, 1911-1925.
- Janku, A. (2010): Towards a history of natural disasters in China: The case of Linfen County. *The Medieval History Journal*, 10, 267-301.
- Jaquin, P. A. (2008): *Analysis of historic rammed earth construction*. PhD thesis, Durham University, 242 p.. Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/2169/> Letöltés: 2017. szeptember 25.
- Jusseret, S. (2014): Earthquake archaeology: A future in ruins? *Journal of Contemporary Archaeology*, 1, 277-286.
- Karababa, F., & Guthrie, P. (2007): Vulnerability reduction through local seismic culture. *IEEE Technology and Society Magazine*, February 2007, 30-41.
- Kázmér, M. (2019): Living with earthquakes along the Silk Road. In: Yang, L.E., Bork, H.-R., Fang, X., Mischke, S. (szerk.): *Socio-Environmental Dynamics along the Historical Silk Road*. Springer, Berlin. (sajtó alatt)
- Kázmér, M., & Major, B. (2010): Distinguishing damages of two earthquakes – archeoseismology of a Crusader castle (Al-Marqab citadel, Syria): In: Sintubin, M. Stewart, I., Niemi, T., & Altunel, E. (szerk.): *Ancient Earthquakes*. Geological Society of America Special Paper, 471, 186 –199.

- Kázmér, M., Major, B., Hariyadi, A., Pramumijoyo, S., & Haryana, Y. D. (2010): Living with earthquakes – development and usage of earthquake-resistant construction methods in European and Asian Antiquity. *Geophysical Research Abstracts*, 12, EGU2010-14244.
- King, G. C. P., & Bailey, G. N. (2010): Dynamic landscapes and human evolution. In: Sintubin, M., Stewart, I., Niemi, T.M., & Altunel, E. (szerk.): *Ancient Earthquakes*. Geological Society of America Special Paper, 471, 1-19.
- Kondorskaya, N. V., & Shebalin, N. V. (1982): *New Catalog of Strong Earthquakes in the USSR from Ancient Times through 1977*. World Data Center for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colorado, 608 p.
- Korjenkov, A., Baipakov, K., Chang, C., Peshkov, Y., Savelieva, T. (2003): Traces of ancient earthquakes in medieval cities along the Silk Road, northern Tien Shan and Dzhungaria. *Turkish Journal of Earth Sciences* 12, 241-261.
- Korjenkov, A. M., Arrowsmith, J.R., Crosby, Ch., Mamyrov, E., Orlova, Ly. A., Povolotskaya, I. E., Tabaldiev, K. (2006a): Seismogenic destruction of the Kamenka medieval fortress, northern Issyk-Kul region, Tien-Shan, Kyrgyzstan. *Journal of Seismology*, 10, 431-442.
- Korjenkov, A. M., Michajljow, W., Wetzel, H.-U., Abdybashaev, U., & Povolotskaya, I. E. (2006b): *International Training Course "Seismology and Seismic Hazard Assessment"*. Bishkek, 2006. Field Excursions Guidebook, Bishkek-Potsdam, 112 p.
- Korjenkov, A. M., Tabaldiev, K. Sh., Bobrovskii, Al. V., Bobrovskii, Ar. V., Mamyrov, E. M., Orlova, L. A. (2009): A macroseismic study of the Taldi-Sai caravanserai in the Kara-Bura river valley (Talas Basin, Kyrgyzstan): *Russian Geology and Geophysics* 50, 63-69.
- Korjenkov, A. M., Kolchenko, V. A., Rott, Ph. G., & Abdieva, S. V. (2012): Strong Medieval earthquake in the Chuy Basin, Kyrgyzstan. *Geotectonics*, 46, 313-314.
- Korzhenkov, A.M, Kolchenko, V. A., Luzhanskii, D. V., Abdieva, S. V., Deev, E. V., Mazeika, J. V., Rogozhin, E. A., Rodina, S. N., Rodkin, M. V., Fortuna, A. B., Charimov, T. A., & Yudakhin, A. S. (2016): Archaeoseismological studies and structural position of the Medieval earthquakes in the south of the Issyk-Kul depression (Tien Shan): *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 52, 218–232.
- Kurushin, R. A., Bayasgalan, A., Ölzybat, M., Entuvshin, B., Molnar, P., Bayarsayhan, Ch., Hudnut, K. W., & Lin, J. (1997): The surface rupture of the 1957 Gobi-Altay earthquake. *Geological Society of America Special Paper*, 320, 1-145
- Lamprecht, H.-O. (2001): *Opus caementitium—Bautechnik der Römer*: Köln, Römisch-Germanisches Museum & Düsseldorf, Bau+Technik Verlag, 264 p.
- Langenbach, R. (2007): From "opus craticium" to the "Chicago frame": earthquake-resistant traditional construction. *International Journal of Architectural Heritage*, 1, 29-49.
- Langenbach, R. (2015): The earthquake resistant vernacular architecture in the Himalayas. Seismic retrofitting. In: Correia, M., Lourenço, P. B., & Varum, H. (szerk.): *Learning from Vernacular Architecture*. Taylor & Francis, London, 83-92.
- Li, P., Qian, H., Howard, K. W. F., & Wu, J. (2015): Building a new and sustainable "Silk Road economic belt". *Environmental Earth Science* 74, 7267-7270.
- Li, S. (ed.) (1960): *Kinai földrendései katalógus*. Science Press, Peking. 李善邦编 (1960): 中国地震目录 第1集, 科学出版社, 北京.
- Lieu, S., & Mikkelsen, G. (eds) (2017): *Between Rome and China: History, Religions and Material Culture of the Silk Road*. Silk Road Studies 18. Brepols, Begijnhof.
- Lin, J. S., Lin, Z. J., & Chen, J. F. (2005): The ancient great earthquake and earthquake-resistance of the ancient buildings (towers, temples, bridges) in Quanzhou city. *World Information on Earthquake Engineering* 21, 159-166.
- Maslin, M. A., & Christensen, B. (2010): Tectonics, orbital forcing, global climate change, and human evolution in Africa: Introduction to the African paleoclimate special volume. *Journal of Human Evolution* 53, 443-464.
- McCalpin, J. P. (1996): *Paleoseismology*. Academic Press, New York, 588 p.
- Mistler, M., Butenweg, C., & Meskouris, K. (2006): Modelling methods of historic masonry buildings under seismic excitation. *Journal of Seismology*, 10, 497–510.
- Moro, E., Kázmér, M. (in prep.): Damage in ancient buildings - towards an archaeoseismological database.
- Niyazov, J. (2012): Antiseismism in the traditional architecture of Tajikistan. In: *Proceedings of the International Conference on Complexity in Earthquake Dynamics*. Turin Polytechnic University, Tashkent, pp. 150-155.
- Ortega, J., Vasconcelos, G., & Correia, M. (2014): An overview of seismic strengthening techniques traditionally applied in vernacular architecture. *9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães*, pp. 1-12.
- Parsizadeh, F., Ibrion, M., Mokhtari, M., Lein, H., & Nadim, F. (2015): Bam 2003 earthquake disaster: On the earthquake risk perception, resilience and earthquake culture – Cultural beliefs and cultural landscape

- of Qanats, gardens of Khorma trees and Argh-e Bam. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 457-469.
- Porphyrios, D. T. G. (1971): Traditional earthquake-resistant construction on a Greek island. *Journal of the Society of Architecture Historians*, 30, 31-39.
- Povolotskaya, I. E., Korjenkov, A., Crosby, Ch., Mamyrov, E., Orlova, L., Tabaldiev, K., & Arrowsmith, R. (2006): A use of the archeoseismological method for revealing traces of strong earthquakes, on example of the Kamenka medieval fortress, northern Issyk-Kul region, Tien Shan. In: Kadyrbekova, P., & Korjenkov, A. M. (szerk.): *Materials of the 1st International Conference Humboldt-Colleagues in Kyrgyzstan* "Heritage of Alexander von Humboldt in the studies of the mountain regions". Ilim Press, Bishkek, 164–174.
- Rideaud, A., & Helly, B. (2017): Ancient buildings and seismic cultures: The cases in Armenia. *42nd International Commission on the History of Geological Sciences (INHIGEO) Symposium*, Yerevan, Armenia. Abstracts and Guidebook, p. 139.
- Sbeinati, M. R., Darawcheh, R., & Mouty, M. (2005): The historical earthquakes of Syria: An analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. *Annals of Geophysics*, 48, 347–435.
- Semplici, M., & Tampono, G. (é.n.): *Timber Structures and Architectures in Seism Prone Areas Included in the UNESCO World Heritage List (Progress Report)*: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.542.3119&rep=rep1&type=pdf>. Letöltés: 2018. március 6.
- Shen, Z. G., Liu, H. X. (2008): Exploration of philosophical thought in earthquake resistant structure of Chinese ancient architecture. *Studies in Dialectics of Nature*. Beijing, China.
- Sintubin, M. (2013): Archaeoseismology. In: Beer, M., Patelli, E., Kougioumtzoglou, I., & Au, I. S.-K. (szerk.): *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, Springer, Berlin, 7 p., 18 figs.
- Stiros, S. C. (1995): Archaeological evidence of antiseismic constructions in antiquity. *Annali di Geofisica*, 38, 725-736.
- Stiros, S. C. (1996): Identification of earthquakes from archaeological data: Methodology, criteria, and limitations. In: Stiros, S. C., & Jones, R. E. (szerk.): *Archaeoseismology*. British School at Athens, Fitch Laboratory Occasional Paper 7, 129–152.
- Stiros, S. C., & Jones, R. E., eds. (1996): *Archaeoseismology*. British School at Athens, Fitch Laboratory Occasional Paper 7.
- Stoneman, R. (1994): *Palmyra and Its Empire: Zenobia's Revolt Against Rome*. University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 265 p.
- Tapponnier, P., & Molnar, P. (1979): Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia and Baykal regions. *Journal of Geophysical Research*, 84, 3425-3459.
- Tsapanos, T. M. (2008): Seismicity and seismic hazard in Greece. In: Huyebye, E.S. (szerk.): *Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries*. Springer Science, Dordrecht, pp. 253-270.
- Walter, J. (2016): *Erdbeben im antiken Mittelmeerraum und im frühen China. Eine vergleichende Analyse der gesellschaftlichen Konstruktion von Naturkatastrophen bis zum 3. Jahrhundert n.Chr.* PhD thesis. Fakultät für Geschichte, Kunst- und Orientwissenschaften der Universität Leipzig, 184 p.
- Wang, L., Xie, Y., Wu, Y., Guo, Z., Cai, Y., Xu, Y., & Zhu, X. (2012): Failure mechanism and conservation of the ancient seawall structure along Hangzhou Bay, China. *Journal of Coastal Research*, 28, 1393-1403.
- Xu, X., Yeats, R. S., & Yu, G. B. (2010): Five short historical earthquake surface ruptures near the Silk Road, Gansu Province, China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, 541–561.
- Zahrai, S. M., & Heidarzadeh, M. (2007): Destructive effects of the 2003 Bam earthquake on structures. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 8, 329-342.
- Zhang, P. C., Zhao, H. T., Xue, J. Y., & Gao, D. F. (2001): Thoughts of earthquake resistance in Chinese ancient buildings. *World Information on Earthquake Engineering* 17, 1-6.
- Zhou, Q. (2007): Study on the antiseismic constitution of Shen-Wu gate in the Palace Museum. *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 29, 81-98.