

BUDAPEST IDŐSEBB BELVÁROSI ÉPÜLETEINEK FÖLDRENGÉS-BIZTONSÁGA

VÖLGYESI LAJOS* – TÓTH LÁSZLÓ** – GYÖRI ERZSÉBET*** – MÓNUS PÉTER****

* egyetemi tanár. BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. K mf. 26. E-mail: volgyesi@epito.bme.hu

** tudományos munkatárs. MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium

1112 Budapest, Meredek u. 18. E-mail: laszlo@seismology.hu

*** tudományos főmunkatárs. MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium

1112 Budapest, Meredek u. 18. E-mail: gyori@seismology.hu

**** tudományos munkatárs. MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium

1112 Budapest, Meredek u. 18. E-mail: monus@seismology.hu

Budapest belvárosában található épületek döntő többsége a XIX. - XX. században épült az akkori építészeti (főként klasszicista illetve eklektikus) stílusoknak megfelelően, az adott technikai, építőmérnöki tudásnak és gyakorlatnak a lehetőségei és korlátai szerint. Mivel az emberek és a tervezők emlékeiben nem szerepeltek korábbi földrengések átél tapasztalatai, nem gondoltak a szerkezetek tervezésekor a földrengés-biztonságra. Mai mérnökszeizmológiai ismereteink birtokában aggasztónak tűnik az épületek nagy részének helyzete egy esetleges, de egyáltalán nem kizárható budapesti, vagy nagyobb Budapest közeli földrengés esetén. A tanulmányban áttekintjük az idősebb belvárosi tégláépületeket általánosan jellemző épületszerkezeti problémákat, foglalkozunk a belváros területének geológiai, talajmechanikai felépítésével, és a földrengéshullámok romboló hatását kedvezőtlenül befolyásoló talajviszonyokat is vizsgáljuk. Ehhez áttekintjük a Dunaharaszti közelében 1956-ban kipattant földrengés hatását Budapest területén, megvizsgáljuk, hogy a károk területi eloszlása milyen összefüggésben van az altalaj tulajdonságokkal. Az utóbbi időkben kipattant egyes földrengések (pl. L’Aquila, Emilia Romagna, Christchurch) során a keletkezett károk elemzése jó lehetőséget kínál megbecsülni a lehetséges károkozás nagyságrendjét egy itteni megfelelő méretű földrengés kipattanásakor, a hasonló szerkezetű budapesti épületek esetében.

Kulcsszavak: földrengés, mérnökszeizmológia, Budapest, falazott épületek, épületkárok.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években kipattant néhány olyan földrengés (pl. Olaszországban 2009-ben L’Aquila-ban és 2012-ben Emilia Romagna tartományban, Új Zélandon Christchurch-ben 2011-ben), amelyek tekintélyes emberáldozatokat követeltek és igen jelentős épületkárokat is okoztak. Számunkra ezek az események azért fontosak, mert az említett helyeken a jelentősebb épületkárok elsősorban olyan szerkezetű falazott épületekben (tégla- és kőépületekben) következtek be, amelyek alapvetően Budapest belvárosát is alkotják. Ugyanakkor Budapest környezetében is számolni kell akár nagyobb földrengések keletkezésével, sőt az 1561. évi pest-budai földrengés arra figyelmeztet, hogy itteni epicentrumú nagyobb földrengés is bármikor előfordulhat.

2. BUDAPEST ÉPÍTÉSZETE

Budapest belvárosában a korábbi épületek döntő többsége falazott (tégla- és kő-) épület. Ezek az épületek a múlt századok építészeti alkotásai, az adott kornak megfelelő építészeti irányzatoknak, az akkori építéstudománynak és technikai adottságoknak megfelelően készültek. Stílusukat tekintve a XVI-XVII. századra jellemző reneszánsz, a XVII-XVIII. századi barokk, a XVIII-XIX. századi klasszicista és a döntően XIX-XX. századra jellemző eklektikus stílusú épületek a meghatározók. Kiemelkedően jellemző az eklektikus stílus, amelyben különböző, leginkább reneszánsz, barokk, klasszicista, gótikus és román stílusok keverednek egymással.



1. ábra. A Nagykörút a Rákóczi út kereszteződésénél 1896-ban (forrás: [1])

A legnagyobb városépítési beruházások az 1867-es kiegyezést követő években történtek, és a XX. század elejére gyakorlatilag kialakult Budapest belvárosának ma ismert arculata. Ezt jól szemlélteti például az 1. ábrán a Nagykörútról a Rákóczi út kereszteződésénél 1896-ban készült

kép [1], amelyen ha letakarjuk a lebontott régi Nemzeti Színház épületét, akkor gyakorlatilag a városrész mai arcukat láthatjuk.

3. FALAZOTT ÉPÜLETEK TERVEZÉSI, SZERKESZTÉSI SZABÁLYAI

Korábban az épületeket dinamikus hatásokra, földrengésekre nem tervezték, sőt nem végeztek a maihoz hasonló statikai számításokat sem. Az építómesterek a hagyományoknak megfelelően, a gyakorlati tapasztalataik során kialakult statikai és szerkezetépítói érzék alapján becsülték meg a szerkezetek várható teherbírását [2], [3]. Ennek áldozata lett pl. a budapesti Szent István-bazilika, amelyet Hild József jól ismert építész tervezett, majd halála után amint Ybl Miklós átvette tőle a feladatot 1868-ban, a talaj egyenetlen süllyedése, az alapozási problémák, valamint a tartópilérek hibás tervezése miatt az 52 méter magas kupola összeomlott.

Földrengésbiztonságra törekedés esetén a kőből, kő-tégla kombinációval, illetve téglából készülő, falazott épületek esetében Dulácska és Kollár [4], Dulácska, Joó és Kollár [5] szerint a helyes méretezés mellett az alábbi fontosabb szerkesztési szabályokat kell alkalmazni:

1. A 4. szeizmikus zónában *nem szabad 4 emeletnél magasabb falazott épületeket építeni.*

2. A 3. 4. zónában az épületek kialakítása szabályos legyen, *ne legyenek sem alaprajzi, sem magassági irányú jelentősebb ki- vagy beugrások.* A csavarási hatás elkerülése miatt kerülni kell a H, L, T vagy az Y alakú alaprajzot. Ha ilyen mégis szükséges, akkor dilatációs hézaggal kell elválasztani a különböző épületszárnyakat.

3. *Az alapozási szint egyetlen sík legyen.* Az esetleges különálló alapozási alaptesteket gerendaráccsal, ill. padlólemezzel össze kell kötni, a különálló mozgások megakadályozása céljából.

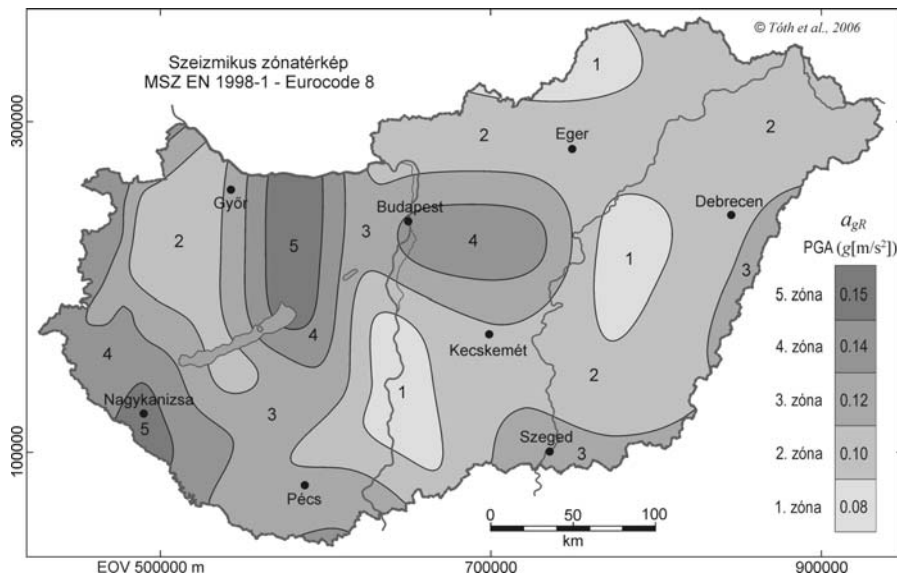
4. A kőből, kő-tégla kombinációval, illetve téglából készülő, falazott épületek esetében a legfontosabb követelmény a *minden szinten zárt rendszerű vasbetonkoszorú alkalmazása, jól átkötött sarokkialakításokkal.* Fafödém esetén a födémet a vasbetonkoszorúhoz megfelelő erősségű kapcsolattal kell lekötöni.

5. Falazott épületekben *a boltíves kiváltásokat kerülni kell.* Ha ez mégis szükséges, akkor vonórudas rögzítést kell alkalmazni.

4. AZ IDŐSEBB BELVÁROSI ÉPÜLETEK SZERKEZETE ÉS ÁLLAPOTA

Érdeemes szemügyre venni a korábban készült belvárosi épületek szerkezeti felépítését és fizikai állapotát, továbbá megvizsgálni, hogy mennyire földrengés-biztosak, vagyis mennyire felelnek meg a fenti szerkezeti szabályoknak.

A szerkesztési szabályok első pontja a falazott épületek magasságáról rendelkezik. A szabályok ismertetésénél említett zónabeosztás a 2008-ban érvényben levő Eurocode 8 előszabvány Nemzeti Alkalmazási Dokumentumához készített zónabeosztás-térkép szemléletét tükrözi. Ebben az egyes zónák határai a megyehatárokat követték, és a tervezési talajgyorsulások értékei az 1-4. zónákban rendre 0.04g, 0.06g, 0.08g és 0.1g voltak ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$). Eszerint Pest megye és ezen belül Budapest területe is a 3. zónába tartozott, viszont a mellette lévő Komárom-Esztergom megye területét már a 4. zónába sorolták. A földrengésektől természetesen nem várható el, hogy pontosan alkalmazkodjanak a megyehatárokhoz, ráadásul Budapest területén 1561-ben volt egy olyan nagyobb földrengés, amiről egyelőre csak nagyon keveset tudunk, ami megváltoztathatja Budapest területének szeizmikus zóna-besorolását.



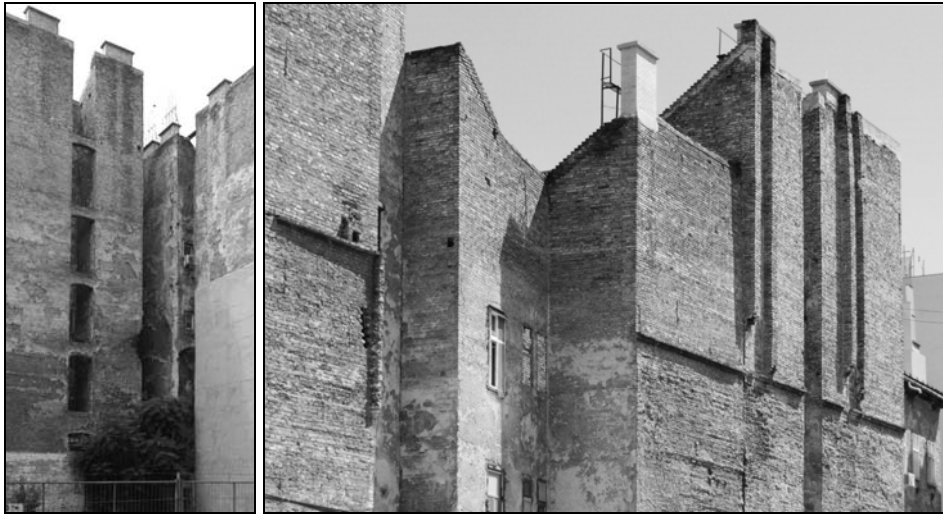
2. ábra. Az Eurocode 8 szabványnak megfelelő szeizmikus zónatérkép

Időközben életbe lépett az Eurocode 8 szabvány, amelyben szigorodtak a követelmények. A szabvány Nemzeti Mellékletét képező zónatérkép a 2. ábrán látható. Az új Eurocode 8 szabvány szerint Budapest területe a 4. zónához tartozik, ahol a gyorsulás várható értéke magasabb, mint az előszabvány 4. zónájához tartozó érték. A 4. zónában viszont nem szabad 4 emeletesnél magasabb falazott épületeket építeni. A belváros területén az épületek számottevő része magasabb 4 emeletesnél, sok helyen állnak 6 emeletes téглаépületek is és gyakoriak a padlástér beépítések. Példa erre a 3. ábrán látható Osváth utcai korábbi építési terület, ahol az eredetileg 5 emeletes épületre még további szintet is építettek.



3. ábra. Négy emeletesnél magasabb téглаépület az Osváth utcában korábbi építési terület mellett

Nagyon sok esetben nem teljesül a második szerkesztési szabály sem, amely szerint az épületek kialakításánál nem lehetnek sem alaprajzi, sem magassági irányú jelentősebb ki- vagy beugrások, kerülni kell a szabálytalan H, L, T vagy az Y alakú alaprajzokat. Erre számtalan példát láthatunk a belvárosban, amelyek közül a 4. ábrán egy Kürt és egy Paulay Ede utcai esetet szemléltetünk.



4. ábra. Szabálytalan, bonyolult alaprajzú szerkezetek a Kürt és a Paulay Ede utcában

Falazott épületek legfontosabb szerkezeti követelménye a minden szinten zárt rendszerű vasbetonkoszorú kialakítása jól átkötött sarokrögzítésekkel. A vasbetonkoszorúk abroncs-szerűen körbefogják, rögzítik a kő-, illetve téglafalakat, hiányukban a földrengések egyszerűen „szét-rázzák” az épületeket. Sajnos ebben a tekintetben kiemelkedően rossz a belvárosi épületek helyzete, ugyanis a vasbeton használata a mindennapi építészeti gyakorlatban csak a XX. században terjedt el, a korábban készített belvárosi épületekben nem is érdemes vasbetonkoszorút és vasbeton szerkezeteket keresni. A kő- és téglafalak kialakítását, rögzítését korábban másképp oldották meg, ezzel viszont az épületek nem képesek ellenállni a nagyobb földrengések által okozott dinamikus terhelésnek. A korábbi építészeti megoldásokról bőséges szakirodalom áll rendelkezésre, ezek közül legfontosabbak Déry Attila munkái [2], [3]. A vasbetonkoszorúk hiányára számtalan példát láthatunk a teljes belváros területén, valamennyi beépítetlen „foghíjas” részen a szabadon látható, akár 10-20 m magasságú falak mind erről tanúskodnak. Ezeket a falakat (nevezhetnénk akár egyszerűen „téglarakásoknak” is) a falakra merőlegesen kialakuló mozgásokkal (földrengéshullámokkal) szemben szinte semmi nem rögzíti, csupán a födémek fa vagy vasgerendái jelentenek némi rögzítést a feltámasztási helyeken a súrlódási erőn keresztül. A vasbetonkoszorúk hiánya már a 3. és a 4. ábrán is látható, de ugyanezt bizonyítja pl. az 5.

ábrán egy négyszintes bontott lakóház sarokrészénél látható falmaradvány az Eötvös utcában.



5. ábra. A vasbetonkoszorúk hiányát igazolja az Eötvös utcai bontott épület falmaradványa



6. ábra. Felső párkány és a fedél rögzítése a Szentkirályi utcában

A vasbetonkoszorúk kialakításához kapcsolódó fontos követelmény, hogy az épületek tetőszerkezetét a felső szint fölötti vasbetonkoszorúhoz megfelelő erősségű kapcsolattal kell lekötni. A belvárosi épületek döntő

többségénél ez sem teljesül, hiszen a vasbetonkoszorúk hiányában a fedélszékek kialakítására és rögzítésére egészen más, jóval kedvezőtlenebb megoldásokat tudtak csak alkalmazni [2], [3]. Jellegzetes példa látható a 6. ábrán a Szentkirályi utca egyik 4 emeletes lakóháza esetében, ahol a tetőszerkezetet tartó egyik fagerenda rögzítése látható. Az ábrán látható befalazott fagerenda hosszú évtizedek óta mindenféle védelem nélkül ki van téve az időjárás viszontagságainak, és egyre rosszabb állapotba kerül.

A falazott épületek esetében lényeges kérdés a födémszerkezetek, áthidalások kialakítási technikája. A vasbeton ismerete és alkalmazása előtt a pince és többnyire a földszint fölé boltozatokat emeltek, az emeleteket viszont sík fafödémmel fedték be (később a fa helyett vasgerendákat alkalmaztak). A nyílások fölött többnyire boltíves, illetve egyenesöves áthidalásokat készítettek, nagyobb fesztáv esetén ún. teherhárító íveket is építettek [2], [3]. Földrengésveszély esetén viszont a boltíves megoldásokat kerülni kell, amennyiben ez mégis szükséges, akkor vonórudas rögzítést kellene alkalmazni. A belvárosi épületekben előszeretettel alkalmaztak boltíves megoldásokat vonórudas rögzítés nélkül (lásd pl. a 7. vagy a 8. ábrán).



7. ábra. Boltíves szerkezetek és áthidalások a Paulay Ede utcában

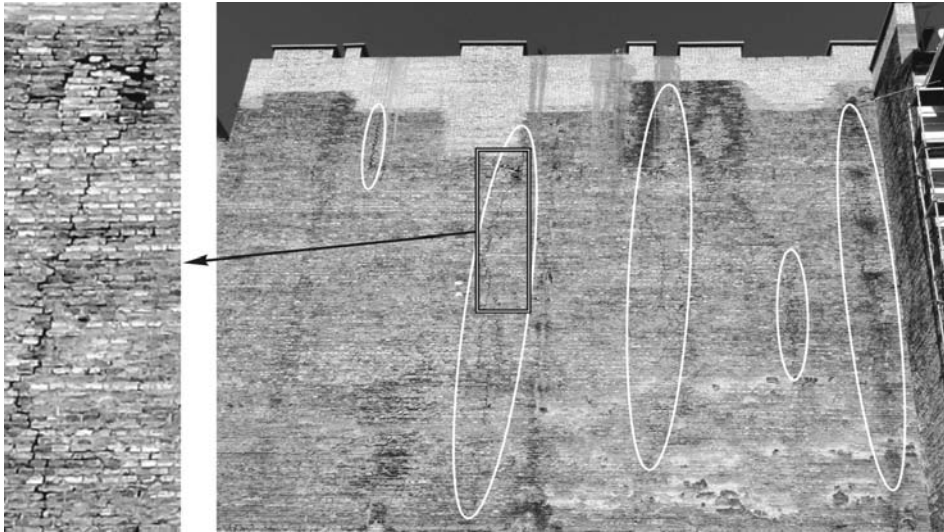
További komoly probléma a teljes belvárosban a rendszeres karbantartás elmulasztása miatt az idősebb épületek jelentős részének rendkívül rossz fizikai állapota: a korhadt, gyenge faszerkezetek (lásd pl. a 6. ábrán), a vakolat hiánya (lásd pl. a 7. ábrán), a téglafalakon látható hatal-

mas, 10-15 m hosszúságú függőleges repedések (lásd pl. a 9. ábrán) és különösen az épületek felső részén a téglák közötti kötőanyag mállása és kihullása.

Ráadásul az árkadosításokhoz és a látványos nagy kirakatok kialakításához szükséges bontásokkal és átalakításokkal a jelen kor tervezői is mindent elkövettek, hogy tovább rontsák az épületek egyébként is rendkívül gyenge földrengés-biztonságát. A korábban érvényes szabványok előírásainak megfelelően a legfeljebb 4 emeletes régi budapesti épületeknek még a szélterhelésre vonatkozó merevségét sem kellett vizsgálni egészen 1986-ig, mivel úgy gondolták, hogy a válaszfalak kellő merevítést szolgáltatnak. Az utóbbi évtizedekben – különösen a rendszerváltás óta – számtalan épület földszintjén alakítottak ki nagy összefüggő üzlettereket merevségi vizsgálatok nélkül, kibontva a merevítő szerepet is betöltő válaszfalakat. Ezzel a meggyengített épületek egy erősebb földrengés esetén időzített bombákká váltak, az épületek súlyos sérülései nagy biztonsággal előreláthatók. Jó példa az épületek meggyengítésére a 8. ábrán látható 1825-ben Hild József által épített Gross-ház, amelynek földrengés-biztonságát a József Attila utcai részén kialakított hosszú árkádsor jelentősen gyengíti.



8. ábra. A földrengés-biztonság gyengítése árkádsor kialakításával



9. ábra. Hatalmas függőleges repedések a jelölt részeken a Kertész utca egyik épületén

5. BUDAPEST FÖLDRENGÉS-VESZÉLYEZTETTSÉGE

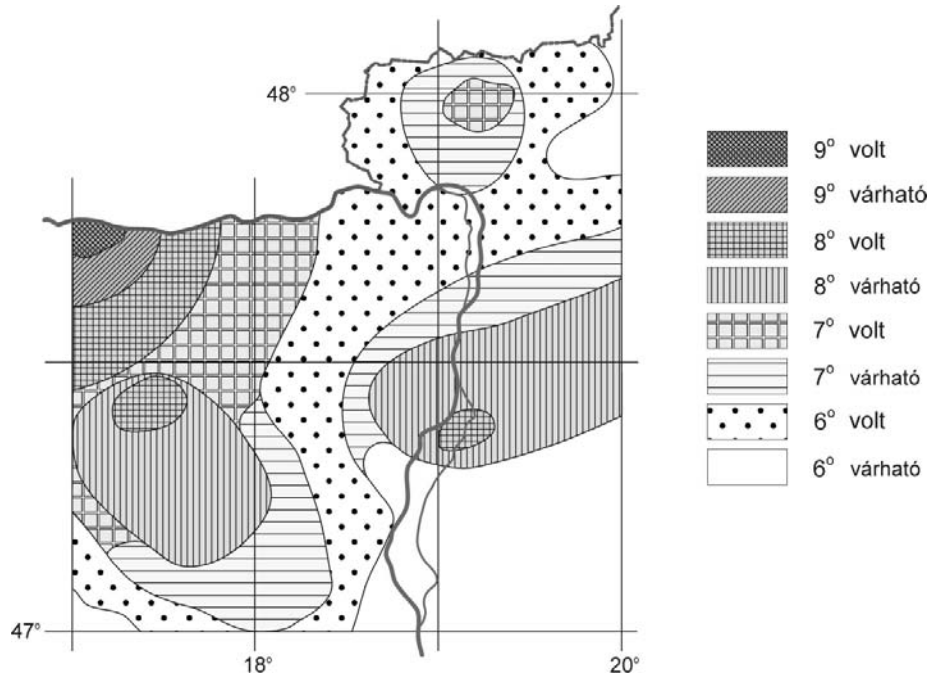
A szeizmológiával foglalkozó szakemberek egybehangzó véleménye szerint a földrengések nem jelezhetők előre, vagyis lehetetlen pontosan megmondani, hogy hol, mikor és mekkora földrengésekre kell számítani. Ugyanakkor a tektonikai mozgások folyamatossága miatt biztosan kijelenthető, hogy ha adott helyen valamikor valamekkora földrengés már előfordult, akkor ugyanott és a környezetében ugyanakkora rengés bármikor előfordulhat. Más szóval a szükséges 3 paraméter (a hely, a méret és az időpont) közül csak a helyszín és a várható méret jelezhető előre, a kipattanás időpontja viszont teljesen bizonytalan. Ennek tükrében Budapest földrengés-veszélyeztettségének megállapításához meg kell vizsgálnunk, hogy korábban Budapesten és környezetében milyen szeizmikus aktivitás volt, mekkora rengések pattantak ki. Sajnos azonban ezzel is gond van, mivel a földrengéseket rögzítő szeizmográfok csak alig több, mint 100 éve működnek, és a korábbi rengésekről időben visszafelé haladva egyre bizonytalanabbak az ismereteink.

Budapesten és a város 50 km-es környezetében jelenleg 466 földrengésről tudunk. Ebből három olyan nagyobb rengés volt, amelyet mindenképpen érdemes figyelembe venni Budapest földrengés-veszélyeztetett-

ségének megítéléséhez. Az egyik a dunaharaszti 1956. évi 5.6 Richter-magnitúdójú és kb. 14 km-es fészekmélységű rengés, amelyről a legtöbb és legpontosabb adatokkal rendelkezünk, mivel már szeizmográfok is regisztrálták az eseményt. A dunaharaszti rengésnek az epicentrum környezetében az ismert 12 fokozatú intenzitás skálán 8° nagyságú romboló hatása volt és pontosan ismerjük az intenzitás eloszlását Budapest területén is. A másik fontos esemény az 1763-ban keletkezett komáromi kb. 6.3 Richter-magnitúdójú és szintén kis fészekmélységű rengés, amelyről ugyan nincsenek műszeres megfigyeléseink, viszont részletes leírások állnak rendelkezésre [6], [7]. Az esemény ugyan valamivel kívül esik Budapest 50 km-es körzetén, viszont olyan romboló hatása volt (a károk alapján a legnagyobb intenzitás 9° értékű), hogy mindenképp érdemes figyelembe venni a hatását. A harmadik, számunkra legfontosabb földrengésről sajnos nagyon keveset tudunk, ez Verancsics Antal egri püspök beszámolója szerint a török időkben 1561-ben Pest-Budán pattant ki, és a környező nagyobb városokban, így pl. Esztergomban, Székesfehérváron, Cegléden és Kecskeméten is erősen érezte hatását. Tekintettel arra, hogy a rengés Budán épületeket pusztított el, intenzitása durva becsléssel legalább 8° -ra becsülhető [8]. Valószínű, hogy ezt megelőzően 1389-ben is volt hasonló nagyságú rengés, amely során Buda várában leomlott a Nagyboldogasszony- (a mai Mátyás-templom) tornya. A terület egyébként jelenleg is aktív, legutóbb 2006 szilveszterén Gyömrőn keletkezett 4.1 Richter-magnitúdójú szintén sekély fészekű földrengés.

Szeizdovitz [9] az eddig ismert Budapest környéki földrengések romboló hatásának (intenzitás-értékek) felhasználásával, a geológiai viszonyok figyelembevételével mellett meghatározta Budapest területének földrengés-beosztási térképét. Ezt a 10. ábra szemlélteti, amelyen az eddig tapasztalt és a várható intenzitás-értékek területi eloszlása látható. A térképről megállapítható, hogy Budapest területén legalább 8° intenzitású rengésekre kell számítani. Az EMS skála alapján a 8° intenzitású rengés esetén a bútorok felborulnak, sok hagyományos épület megsérül, kémények ledőlnek, a falakban nagy repedések keletkeznek, *néhány épület részlegesen összedől*; míg a 9° intenzitású rengés esetén sok hagyományos épület részlegesen, néhány teljesen romba dől. (Ezzel kapcsolatosan meg kell jegyezni, hogy az építőanyagok és az építészeti technikák fejlődésével ugyanakkora földrengések az idő előrehaladásával más károkat

okoznak, ennek megfelelően különböző intenzitás-skálákat állítottak össze (pl. MCS, MSK-64, EMS). Valamennyi skála 12 fokozatú, jelentősen nem különböznek egymástól, és az értékek átszámíthatók egymásba [10].



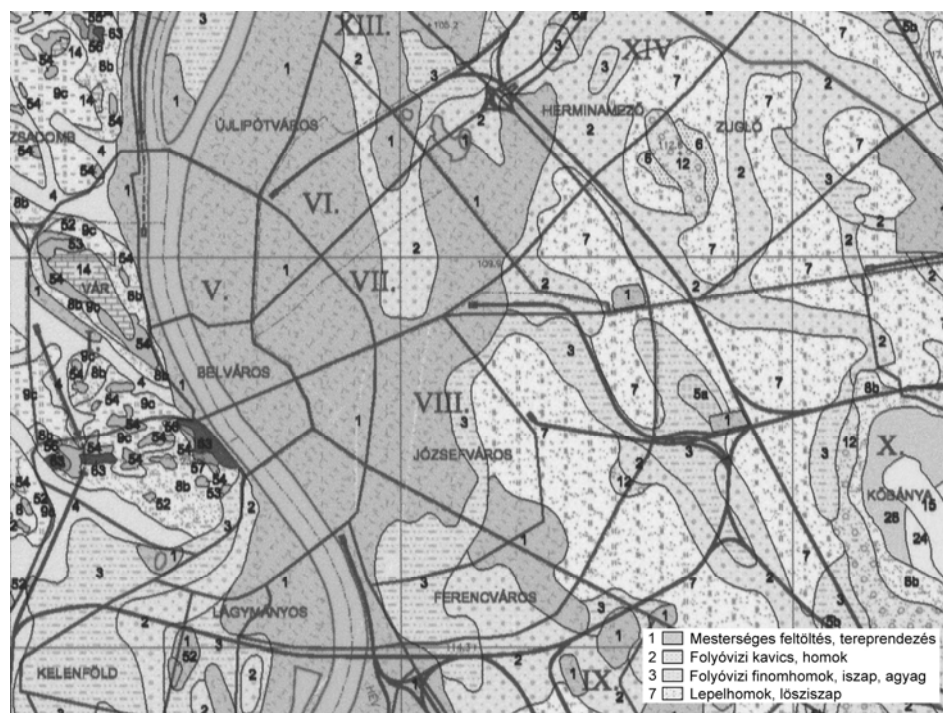
10. ábra. Bekövetkezett és várható intenzitás értékek Budapest környezetében Szeidovitz [9] szerint

A 10. ábrán bemutatott földrengés-területbeosztási térkép nagy hiányossága, hogy a meghatározásánál nem ismerték kellően hosszú időre visszamenően Budapest földrengés-történetét, és nem vették figyelembe pl. az 1561-es pest-budai rengést sem, ami mindenképpen súlyosbíthatja a 10. ábrán megítélt helyzetet. Így még az is elképzelhető, hogy a Budapest területére előrejelzett 8° intenzitású rengés optimista becslés. Fontos kérdés ezen kívül, hogy Budapesten és közeli környezetében milyen időközönként következnek be nagyobb földrengések? Sajnos azonban erre a rendelkezésre álló adatsor rövidege miatt nem tudunk választ adni, bár azt a GPS mérések alapján ma már tudjuk, hogy a Kárpát-Pannon térségben tapasztalható évi 1-1.5 mm tektonikus mozgások mellett [11] ritkábban kell számítanunk nagyobb rengések kialakulására.

6. BUDAPEST GEOLÓGIAI ÉS TALAJVISZONYAI

A geológiai szerkezet és a hidrológiai viszonyok jelentősen képesek befolyásolni a földregézés pusztító hatását. Kemény, tömör kőzetekben a földregézés hullámok terjedési sebessége magas (pl. gránitban, bazaltban 5000-7000 m/s) és a hullámok amplitúdója kicsi. Ugyanezek a hullámok laza, üledékes kőzetekben jelentősen lelassulnak (pl. száraz homokban 100-600 m/s sebességre) az amplitúdójuk pedig a többszörösére megnő, megnövelve ezzel a pusztító hatásukat is. További komoly problémák adódnak a vízzel telített laza, homokos üledékek esetében, ezekben ugyanis a földregézés hullámok frekvenciatartományában a rázkódás hatására megszűnnek a nyírófeszültségek és folyadékszerűen viselkednek. Ez az ún. talajfolyósodás esete, az épületek egyszerűen felborulnak, vagy elsüllyednek az ilyen talajon.

Vizsgáljuk meg ebből a szempontból Budapest területét! Budapest belső részének földtani térképét a 11. ábrán mutatjuk be [12].



11. ábra. Budapest belső területének földtani térképe

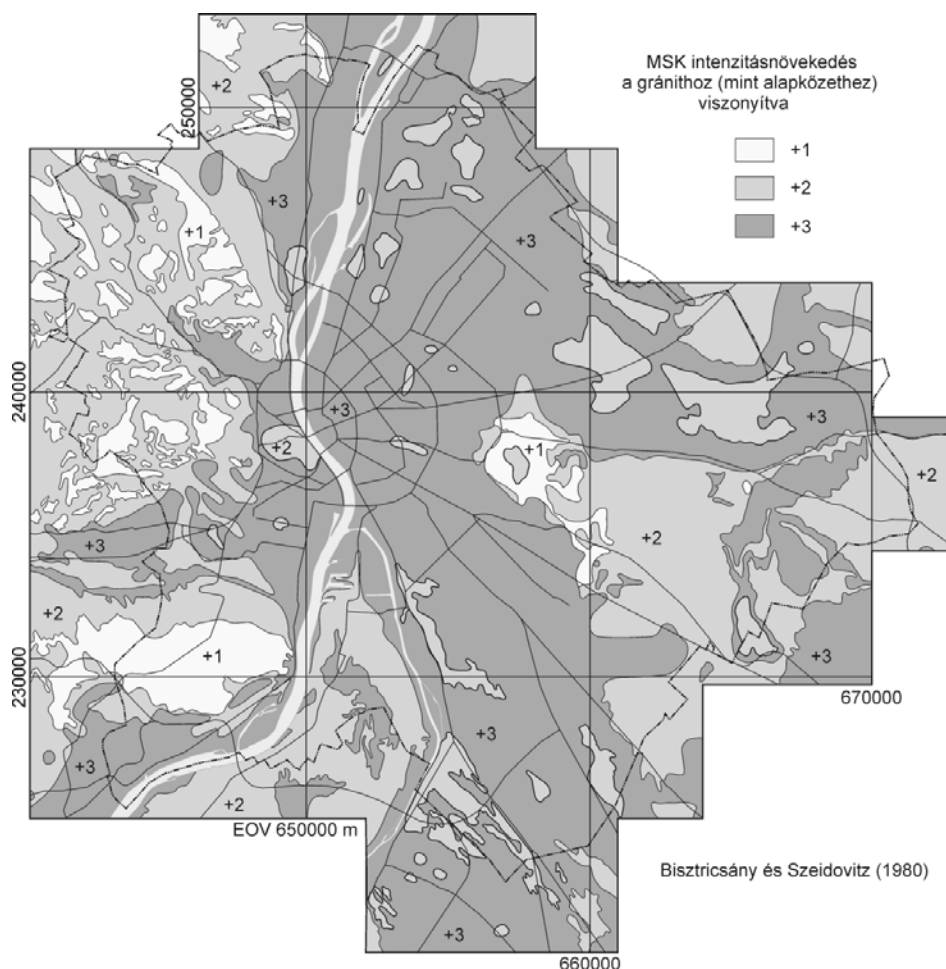
Amint a térképen látható, Budapest teljes belvárosi területe laza Duna-üledékeken lévő mesterséges feltöltés (az „1” sötétszürke rész). Ez a földrengéshullámok romboló hatása szempontjából a *lehető legkedvezőtlenebb* lehetőség, a pusztítást okozó nyíróhullámok amplitúdója ezen a talajon erősödik fel a leginkább.

Tovább romlik a kép, ha megnézzük a 12. ábrán Budapest belvárosi részének vízföldtani térképét [13]. Az ábrán az izovonalakon látható számok a talajvíznek a felszíntől számított mélységét mutatják méterben. Láthatóan a belvárosban a talajvíz átlagos mélysége 5 m körüli érték, de a VI. és a VII. kerület egyes részein ez mindössze 1-2 m. Ez azért jelent komoly gondot, mert ha a felszín alatti laza homokos talaj vizet tartalmaz, akkor földrengés esetén igen nagy valószínűséggel hajlamos a talajfolyósodásra. Az eddigi földrengések során a folyók partvidékén szinte mindenütt megfigyelhetők voltak a talajfolyósodás árulkodó bizonyítékai, az ún. homokgejzirek, vagy iszapvulkánok. Az 1956. évi dunaharaszti földrengés esetén szintén megfigyeltek iszapvulkánokat.



12. ábra. Budapest belső területének vízföldtani térképe

Összességében megállapítható tehát, hogy Budapest területének jelentős része mérnökszeizmológiai szempontból a lehető legrosszabb földtani és hidrogeológiai adottságokkal rendelkezik, a földrengéseket egyébként is nehezen viselő és rossz állapotban lévő épületek a földrengések hatására “kocsonya-szerűen” viselkedő rendkívül gyenge talajon állnak.



13. ábra. Budapest területén várható intenzitásnövekedés Bisztricsány és Szeidovitz szerint

A felső laza rétegek többszörösére megnövelhetik a földrengések romboló hatását, különösen a vízzel átitatott laza rétegek. Bisztricsány és Szeidovitz 1980-ban a geológiai felépítés és a talajviszonyok ismereté-

ben, az 1956-os dunaharaszti rengés hatását is figyelembe véve megszerkesztették Budapest területének intenzitásnövekedés eloszlási térképét, amelyet a 13. ábrán láthatunk. Budapest területén négy intenzitászónát különböztettek meg. Az első zónába a kemény kőzetek területe, pl. gránit vagy tömör mészkő tartozik. A gránithoz viszonyított intenzitásnövekedés 0° . A durva törmelékes talajok esetén, homokos, agyagos területeken a várható intenzitásnövekedés $+1^\circ$, a feltöltött laza talajok által okozott intenzitásnövekedés pedig $+2^\circ$. Homokos, agyagos, feltöltött laza talajok esetében a felszínközeli talajvíz hatására további 1° intenzitásnövekedésre kell számítani. A 13. ábrán látható, hogy Budapest teljes területén számítani kell az intenzitás növekedésére, azaz a romboló hatás fokozódására. Kiemelten aggasztó a teljes belváros területe, ahol maximális intenzitásnövekedésre kell számítani. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy adott földrengés esetén ha a kemény kőzeteken (pl. grániton) álló épületek az 5° -nak megfelelően sérülnének, akkor ugyanez a rengés a belváros területén 8° -nak megfelelő erősségű pusztítást okozna.

7. A BUDAPESTIHEZ HASONLÓ SZERKEZETŰ ÉPÜLETEK SÉRÜLÉSEI FÖLDENGÉSEK SORÁN

Ha meg szeretnénk becsülni, hogy a régebbi belvárosi épületeink milyen veszélyeknek vannak kitéve földrengés esetén, meg kell vizsgálnunk, hogy hasonló szerkezetű és állapotú épületek milyen sérüléseket szenvedtek olyan földrengések során, amely erősségű földrengésekre Budapesten is számítani lehet. Az utóbbi években pl. Olaszországban L'Aquila-ban, és Emilia Romagna tartományban, valamint Új-Zélandon Christchurch-ben keletkeztek olyan földrengések, amelyek tekintélyes emberáldozatokat követeltek, igen jelentős épületkárokat is okoztak, és a jelentősebb épületkárok elsősorban olyan szerkezetű falazott épületekben (tégla- és kőépületekben) következtek be, amelyek alapvetően Budapest belvárosát is alkotják.

Az olaszországi L'Aquila-ban 2009. április 6.-án keletkezett a 6.3 magnitúdójú rengés 10 km fészekmélységben, pusztító hatása $8-9^\circ$ erősségű volt, 308 halottal és mintegy 1500 sérülttel. Az új-zélandi Christchurch-ben 2011. február 2.-án keletkezett 6.3 magnitúdójú rengés igen kicsi (5 km) fészekmélységű volt, pusztító hatása általában 8° , he-

lyenként 9-10^o erősségű is volt, 185 halottal és mintegy 2000 sérülttel. Az olaszországi Emilia Romagna tartományban 2012. május 20.-án keletkezett 6.1 magnitúdójú rengés 10 km fészekmélységben, pusztító hatása 7-8^o erősségű volt, 27 halottal és mintegy 1500 sérülttel.



14. ábra. L'Aquila-ban a Kormányzó Palota a földrengés előtt és után
(forrás: www.telegraph.co.uk/news/picturegalleries)

Ezen földrengések által okozott pusztításról igen gazdag ismeretanyag áll rendelkezésre, jól tanulmányozhatók a különböző épületek sérülései. Általános tapasztalat, hogy a 6.1–6.3 magnitúdójú, kis fészekmélységű rengések igen komoly károkat okoztak a falazott téгла- és kőépületekben. Kiemelkedően magas számban sérültek és omlottak össze azok az épületek, amelyekben nem teljesültek a 3. részben leírt szerkesztési szabályok, a vasbetonkoszorúval nem rendelkező épületeknek pedig gyakorlatilag nem volt esélyük a sérülésmentes túlélésre. A 14., 15., és a 16. ábrán néhány jellegzetes példa látható erre. A 14. ábrán L’Aquila-ban a Kormányzó Palota kőépületének eredeti és sérült állapotát hasonlíthatjuk össze, a 15. ábra egy vasbetonkoszorú nélküli téглаépület részleges összeomlását mutatja San Felice-ben Emilia Romagna tartományban, a 16. ábrán pedig szintén egy vasbetonkoszorú nélküli téглаépület egyik részének teljes összeomlása látható Christchurch-ben.

Összességében megállapítható, hogy Budapesten ugyanúgy kis fészekmélységű rengések várhatók, mint az olaszországi L’Aquila-ban, és Emilia Romagna tartományban, vagy Új-Zélandon Christchurch-ben; a komáromi 1763-as és a pest-budai 1561-es esemény pedig arra figyelmeztet, hogy nem zárható ki ugyanakkora 6-os vagy ennél kissé nagyobb magnitúdójú rengés Budapesten és környezetében sem.



15. ábra. Téглаépület sérülése San Felice-ben Emilia Romagna tartományban
(forrás: www.demotix.com/news)



16. ábra. Tégláépület sérülése Christchurch-ben, (forrás: www.zimbio.com/pictures)

Ennyi a hasonlóság, – a különbség pedig az, hogy Budapest geológiai adottsága és a talajviszonyai lényegesen rosszabbak, ráadásul amíg az említett földrengések területén 2-3 szintesnél magasabb kő- és tégláépületek nem épültek, és ezek is jelentős sérüléseket szenvedtek, addig Budapesten gyakoriak az 5-6 szintes falazott épületek is. Hasonló méretű földrengés Budapest területén tehát lényegesen nagyobb pusztítást eredményezhet.

A károkozás mértéke azonban több más fontos tényező függvénye is. Adott épület károsodását döntően befolyásolja pl. a földrengés domináns frekvenciájának (periódusidejének) az épület sajátfrekvenciájához való viszonya, a különböző hullámok interferenciája illetve a hullámok terjedési iránya.

A földrengéshullámok frekvenciatartománya 0.01 Hz és 100 Hz közé esik, adott helyen a domináns frekvencia a keletkező földrengés fontosabb paraméterei (pl. fészekmélység, távolság) és a geológiai viszonyok függvénye. Közelebbi rengéseknél jellemzők a 0.5-20 Hz közötti frekvenciák. Sajnos az épületek sajátfrekvenciája is döntően ebbe a frekvenciatartományba esik, ráadásul ha a domináns frekvencia megegyezik az adott épület sajátfrekvenciájával, akkor rezonancia alakul ki és az épület súlyos károsodására kell számítani. Jó példa erre az 1985. évi Mexikóvárost

sújtó erős földrengés, amely során mintegy 300 vasbeton szerkezetű épület omlott össze teljesen vagy részlegesen, ugyanakkor meglepő módon mindössze 12 falazott épület szenvedett hasonló súlyos sérülést, – annak ellenére, hogy Mexikóváros épületeinek legalább a fele falazott szerkezetű volt. Utólagos elemzések kimutatták, hogy a földrengéshullámok domináns frekvenciája megegyezett a sérült vasbeton szerkezetű épületek sajátfrekvenciájával, ugyanakkor a tégláépületek sajátfrekvenciája ettől eltért.

8. ÖSSZEFOGLALÁS, FELADATOK

Az eddig ismert szeizmológiai adatok és a jelen tektonikai ismereteink birtokában biztosan kijelenthetjük, hogy Budapest területe mérsékelt földrengésveszélyes, ami alatt azt kell érteni, hogy itt ugyan ritkábban, de mindenképpen számítanunk kell földrengésekre, melyek között erősebb rengések is lehetnek, amelyek komoly károkat tudnak okozni. Egyedül csak az időpontot nem tudjuk, a legközelebbi rengés bekövetkezhet egy perc múlva, öt nappal később, vagy 200 év múlva, – de valamikor biztosan be fog következni.

Magyarország lakosságának egyötöde a fővárosban él, a város infrastruktúrája kis területre koncentrálódva óriási értéket képvisel, ezért egy nagyobb földrengés óriási károkat tudna itt okozni. Szerencsére a földrengésekre fel lehet és fel is kell készülni, – ami persze sok pénzbe kerül. Budapest belvárosi épületeinek jelentős része több mint 100 éve készült, tervezésük és építésük során földrengésekre nem gondoltak, állapotuk folyamatosan romlik, a lehető legkedvezőtlenebb talaj van alattuk, – de szerencsére eddig még nem éltek át komolyabb földrengést.

A ma készülő épületekkel már nincs ekkora probléma, hiszen az EU előírásai (az Eurocode szabványai) szerint az épületeket földrengésekre is kell tervezni. A kérdés, hogy mit lehet tenni a régi belvárosi épületeinkkel, amelyek egyébként igen értékes építészeti alkotások és összességében Budapest gyönyörű arculatát adják? Az biztos, hogy Budapest egész belvárosát nem lehet lebontani és teljesen újraépíteni, az alatta lévő kőzeteket és talajt sem lehet kicserélni. Mi akkor a megoldás?

Először is statikusoknak az Eurocode ajánlásainak figyelembevételével fel kellene mérni az épületek állapotát, majd tekintetbe véve a geoló-

giai és a talajviszonyokat meg kellene állapítani a veszélyeztetettségük fokát. A régi falazott épületek viselkedését döntően befolyásolja, hogy van-e bennük elegendő mennyiségű és minőségű falkötővas, ezért ezt is meg kellene vizsgálni. Sajnos sok régi épület esetében egyáltalán nem alkalmaztak falkötővasakat. A Sándor-palota felújításánál pl. tapasztalható volt, hogy az alkalmazott falkötővasak mennyisége csak mintegy a fele volt a szükségesnek és az alkalmazottak fele is törött vagy szakadt volt. Ha falazott épületekben sem vasbetonkoszorúk, sem falkötővasak nincsenek beépítve, földrengések esetén számolni kell az épületek komoly sérülésével, összeomlásával. (A kérdéskörre kitér a TSZ-01 MMK Műszaki Szabályzata is.) Fontos lenne továbbá meghatározni az egyes épületek sajátfrekvenciáját és a földrengés-hullámok várható domináns frekvenciáját is a helyszín és a geológiai felépítés ismeretében. Ezek függvényében fontossági sorrendet felállítva lehetne dönteni az egyes épületek esetleges bontásáról vagy megerősítéséről.

Egy lehetséges megoldásra igen jó példa látható a 17. ábrán, ilyenekkel egyre gyakrabban találkozhatunk Budapesten. Az Eötvös utcában található rossz állapotban lévő régi épületnek csak az utcafronton lévő falát tartották meg, a belső részt elbontották és új, erős vasbetonszerkezetes épületet építettek az utcafronti fal mögé. A 17. ábra felső részén az utcafronti ideiglenesen megtámasztott eredeti téglafal, alatta pedig a belső vasbetonszerkezetes építkezés látható.

További fontos teendők is vannak. A belvárosban szép számmal található foghíjakat haladéktalanul meg kellene szüntetni, és úgy beépíteni, hogy megfelelően megtámasszák a mellettük lévő téglapépületeket.

A katasztrófavédelemnek mindenképpen ki kell dolgoznia forgatókönyvet egy esetleges nagyobb rengés esetére, figyelembe véve, hogy nehézzé, vagy lehetetlenné válik a telefonok használata, eltörhetnek az idős, rossz állapotban lévő víz- és gázvezetékek, és helyenként nehézzé vagy lehetetlenné válik a közlekedés.

A szeizmológusok fontos feladata az 1561-es pest-budai földrengés paramétereinek pontosítása lenne, meg kellene vizsgálni a rengés esetleges nyomait az 1561 előtt készült épületeken. Érdekes és fontos feladat lenne további régi nagyobb földrengések nyomainak kutatása.



17. ábra. A felső képen az utcafronti ideiglenesen megtámasztott eredeti téglafal, alatta a belső vasbetonszerkezetes építkezés az Eötvös utcában

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásaink a 105399 sz. OTKA támogatásával folynak.

HIVATKOZÁSOK

- [1] *Budapest Anno* (1984): Corvina Kiadó, Budapest.
- [2] Déry A (2002): *Történeti szerkezettan*, Terc Kiadó, Budapest.
- [3] Déry A (2010): *Öt könyv a régi építészetéről 2.*, Terc Kiadó, Budapest.
- [4] Dulácska E, Kollár L (2003): Méretezés földrengésre az európai elvek figyelembevételével. *Magyar Mérnöki Kamara, Tartószerkezeti Tagozat*, TT – TS 4.
- [5] Dulácska E, Joó A L, Kollár L (2008): *Tartószerkezetek tervezése földrengési hatásokra*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [6] Réthli A (1952): *A Kárpátmedencék földrengései 455-1918*. Akadémiai Kiadó, Budapest
- [7] Zsíros T (2000): *A Kárpát medence szeizmicitása és földrengés veszélyessége: Magyar földrengés katalógus (456-1995)*. MTA GGKI, Budapest
- [8] Szeidovitz Gy, Mónus P (1993): *A magyarországi földrengések eloszlása*. MÁFI megbízásából végzett kutatási jelentés.
- [9] Szeidovitz Gy (1978): Budapest földrengésveszélyeztettség térképeinek szerkesztésénél figyelembe vett szempontok. *Mérnökgeológiai Szemle*, 20, 7-14.
- [10] Csák B, Hunyadi F, Vértes Gy (1981): *Földrengések hatása az építményekre*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- [11] Grenczy Gy, Fejes I (2007): A magyarországi GPS mozgásvizsgálatok 16 éve. *Geodézia és Kartográfia*, LIX. (7), 3-9.
- [12] Földtani térkép (2001): *A budapesti agglomeráció területfejlesztésének mérnök-hidrogeológiai megalapozása földtani térkép, M=1:100000*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- [13] Vízföldtani térkép (2001): *A budapesti agglomeráció területfejlesztésének mérnök-hidrogeológiai megalapozása vízföldtani térkép, M=1:100000*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

SEISMIC SAFETY OF THE OLD BUILDINGS IN BUDAPEST
DOWNTOWN*Summary*

The majority of the buildings in Budapest downtown had been built in the XIX-XX century mainly in classicistic and eclectic style, according to the technical and civil engineering knowledge and practice of the possibilities and limitations. As the memories of people and architects were not included in previous earthquakes felt experience, did not think the planning of structures for seismic safety. Based on our recent engineering seismological knowledge the situation of most of the old masonry buildings seems to be critical in the event of a possible earthquake in Budapest or a major earthquake near Budapest. Typical structural problems of the older masonry buildings are discussed, geological-geotechnical structure of the downtown area and unfavorably developed destructive effects of seismic waves in different soil conditions are examined. For this reason influence of the 1956 Dunaharaszti earthquake was studied in the Budapest area and the spatial distribution of the building damages was examined in the function of the subsoil properties. Analysis of the damages caused by earthquakes in recent years (eg, L'Aquila, Emilia Romagna, Christchurch) offers a good possibility to estimate the magnitude of the potential damages for structurally similar buildings in Budapest in case of a similar magnitude event.

Keywords: earthquake, engineering seismology, Budapest, masonry buildings, building damages.