

Dulácska Endre

Tartószerkezetek, földrengéskockázat

A sajtóban olvasott vagy a televízióban látott földrengési katasztrófák megdöbbenek az embereket, egy átélt földrengés maradandó rossz emlékeket hagy bennünk. A legtöbb ember azonban elfelejti a rosszat, és ezért a következő földrengésig sokszor megfedkednek a rengés elleni szükséges védekezésről. Pedig megfelelő övintézkedésekkel a földrengés okozta anyagi és emberéleti kockázatot jelentősen csökkenteni lehet, ha nem is lehetséges teljes biztonságú védekezésről beszélni.

Tekintve, hogy a földrengéskárok rendszerint a tartószerkezetek károsodása és az épületek e miatti összeomlása következtében jönnek létre, e dolgozatunkban a tartószerkezeti méretezés alapelvét és a földrengési kockázati tényezőket kíséreljük meg bemutatni, kritikai szemlélettel nézve a mai védekezési módokat, különös tekintettel a magyarországi helyzetre.

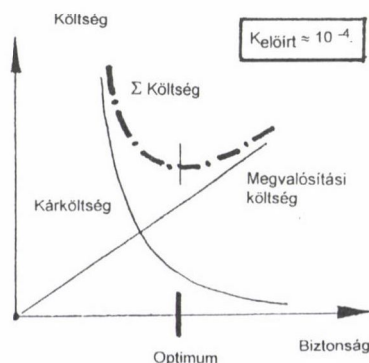
A földrengés és a földrengésmérnöki fogalmak

Az első mérnöki próbálkozások a tartószerkezetek méretezésére mintegy 250 évesek (maga a mérnöki méretezés mintegy 80 — 100 éve kezdődött); a mérnöki méretezés alapját képező mérnöki tudomány viszonylag fiatal, és még ma is számos kérdés megoldatlan.

A mai, korszerűnek tekintett méretezés alapelve az, hogy abszolút biztonság nincs, a méretezésnek mindig van valamekkora K kockázata. A kockázat fordított arányban van a biztonsággal, így pl. a zérus kockázat teljes biztonságot jelentene, az egységnyi értékű kockázat pedig biztos tönkremenetelt.

A méretezés alapelve az, hogy a kockázat mindig kisebb legyen egy $K_{\text{előirt}}$ kockázati értéknél. Az előirt kockázat legnagyobb értékét a költségminimum alapján állapítják meg (1. ábra).

1. ábra

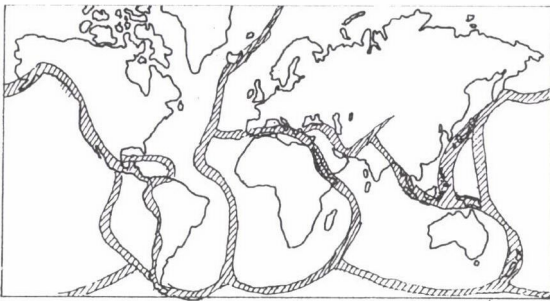


Költségoptimum a megvalósítási és a kárköltség (javítás) függvényében

Ez azt jelenti, hogy (jó kivitelezést feltételezve) minél erősebbre, azaz költségesebbre készítik a teherhordó szerkezetet, annál jobban csökken a kockázat. A szerkezet összköltségét a megvalósítási költség és a kár vagy javítási költség összege adja. E költségösszegnek van egy minimuma, és ez a költségoptimum. Az emberéletet e számításban az átlagos életkor alatt termelt, egy főre eső nemzeti jövedelem összegével számszerűsítik. Egy bizonyos építési költség szint alatt biztos a tönkremenetel, és a kockázat ilyen értelmezésének csak ennél nagyobb biztonság, illetve kisebb kockázatvállalás mellett van értelme.

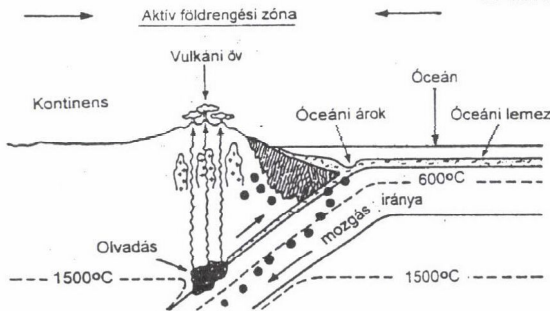
A földrengés kialakulhat erős vulkáni tevékenység vagy nagyméretű meteor becsapódásának következményeként is, de legnagyobbbrészt a földkéreg természetes mozgása a földrengés oka. A földrengésvédelemben a kockázat nehezebben becsülhető, mint az egyéb terhelési esetekben, mert még sok mindent nem tudunk a földkéreg belsejének viselkedéséről.

2. ábra



A világ legintenzívebb szeizmikus zónái (vonalkázott területek) kirajzolják a földkéreg tektonikus tábláinak határvonalát.

3. ábra



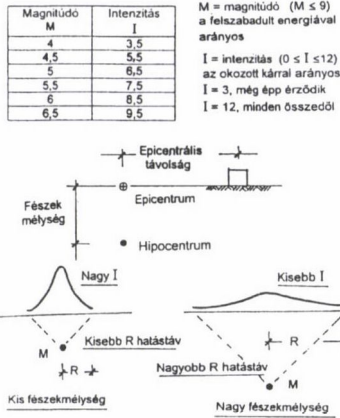
A kontinentális táblák találkozásának vázlata. A fekete pontok a földrengési hipocentrumokat jelzik.

rumban kipattant energia logaritmusával arányos. A maximális magnitúdó $M = 9$ körüli, ez jelenti a földkéreg teljes eltörését. (A korunkig észlelt, illetve mért értékek mind 9 alatt voltak.) A másik mérőszám a Mercalli—Cancani

Ha megtekintjük a Föld felületét kiterítve mutató térképet, akkor azon a nagyobb szeizmicitást mutató szakaszok — ahol a leggyakoribb a nagy földrengés — kijelölik a kontinentális táblák határvonalait (2. ábra). A határvonalak környékén az egyik tábla a másik alá nyomódik és közben szakaszos megcsúszások, letöredeзések állnak elő (3. ábra). Ezek okozzák e területeken a nagy földrengés-aktivitást. E mozgások azonban távolabbi területekre is kihatnak, ahogy a földrengéshullám végigszalad a földkéregben, és ahol a törésvonalak menti sűrűlőds kimerülőben van, ott ennek a hatására előbb-utóbb megcsúszás következhet be. Ez földrengést okozhat az intenzív földrengésszónák területén kívül is, de kisebb intenzitással.

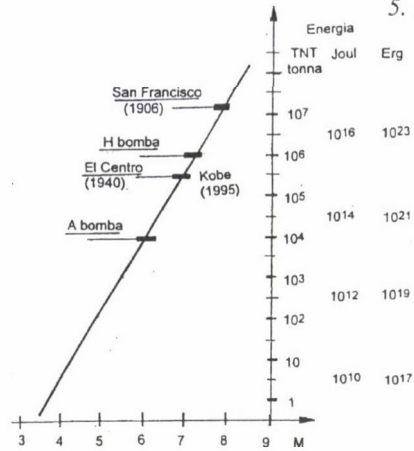
A földrengés erősségének mérésére két fogalmat használnak. Egyik a Richter által bevezetett M magnitúdó, mely a fészkekmélységben lévő kipattanási hely, az ún. hipocentrumban

4. ábra



A földrengésmérnöki ismeretek alapfogalmai

5. ábra



A különböző magnitúdok energiaszintjei

kutató szerzőpáros által bevezetett, és azóta többször módosított *I* intenzitás, mely a bekövetkezett károkkal mutat tapasztalati arányosságot. Az intenzitási skála zérustól 12-ig terjed. A 3 alatti magnitúdójú földrengés csak műszeresen érzékelhető (ember által nem), az *I* = 12-es epicentrális intenzitás pedig az *M* = 9 magnitúdo értéknek felel meg. Az intenzitási értékelés hátránya, hogy a bekövetkezett károknál nem tudják figyelembe venni, vajon méretezték-e például az összedől épületet földrengésre vagy sem, és ha igen, akkor mekkorára.

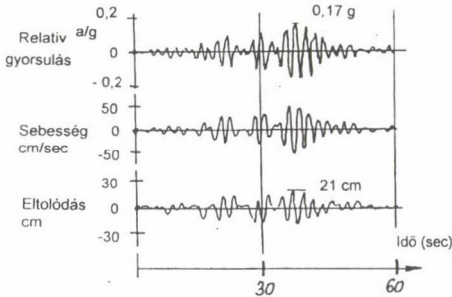
A hipocentrumból a föld felületére húzott normális a földfelszín az epicentrum pontban dőli. Az intenzitás az epicentrumtól távolodva haranggörbe szerint csökken. Ugyanazon magnitúdohoz kisebb fészkek mélység esetén kisebb hatástáv és nagyobb intenzitás, míg nagyobb fészkek mélység esetén nagyobb hatástáv, de kisebb intenzitás tartozik. Az epicentrális intenzitás és a magnitúdo közötti megközelítő összefüggést a 4. ábra táblázata tünteti fel.

A magnitúdokhoz tartozó felszabadult energia értékei láthatók az 5. ábrán, melyből kiderül, hogy a korábban etalonnak tekintett 1940. évi El Centro (USA) rengés az 1995. évi kobei (Japán) rengéssel körülbelül azonos energiájú volt, és mindkettő az atombomba és a hidrogénbomba energiámnnyisége közötti.

A földrengés hatásai

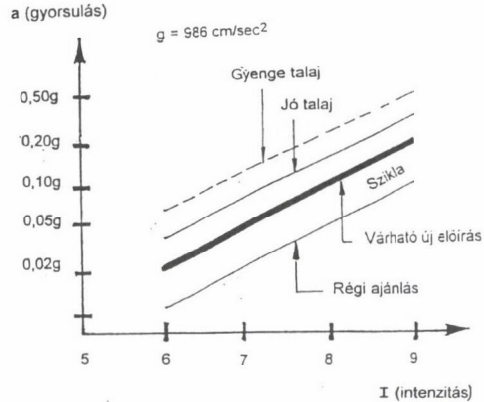
A földrengés a földkéregben hullámszerűen terjed, és a Föld kérgének felszínén rezgő, illetve lengőmozgást hoz létre. Példaképpen tekintsük meg a 6. ábrán az 1985-ös mexikói földrengés egyik szeizmogram csomagját, mely a felszínen 0,17 g maximális gyorsulást, és 21 cm-es elmozdulást mutat. Megemlíthető, hogy e földrengés során körülbelül 300 darab 10–15 emeletes épület dőlt össze, és 18 000 ember halt meg. A súlyos károsodást az okozta, hogy Mexikóváros egy része vízzel telített, gyenge, lágy talajon áll. Az ilyen talaj lefékezi a földrengési hullámokat, melyek kis helyen adják le az energiátartalmukat, és így felerősödik a rengés hatása. A 7. ábra mutatja a talajminőség

6. ábra



Az 1985. évi mexikói földrengés talajfelszíni szeizmogramjai.

7. ábra



A talajminőség hatása a földrengési talajgyorsulásra.

hatását. A régi előírás a korábbi magyar földrengési méretezési ajánlás, míg a várható új az európai előírás gyorsulási értékeit mutatja. (Emlékeztetőül: a tömeg gyorsulással való szorzata az erő, és ez töri el az épületeket.)

A földrengések gyakorisága függ a helytől, a nagyobb rengések ritkábban lépnek fel. A 8. ábra mutatja néhány ország szeizmikus aktivitását, a *Georisk Kft.* kutatásai alapján. Ebből látható, hogy a magyarországi szeizmikus aktivitás mintegy tízszerese az angliainak, és körülbelül az USA keleti része aktivitásának felel meg.

A fentiek után a földrengés okozta károk okait a 9. ábrán foglaltuk össze. Ezek megfontolandó gondolatokat tartalmaznak. A földrengés elleni védelem eszközeinek alkalmazása jelentősen képes csökkenteni a károkat (10. ábra). Így például az épületek gumitömbökre állítása a földrengési kár kockázatát az eredetinek ötödére (20%-ra) csökkenti.

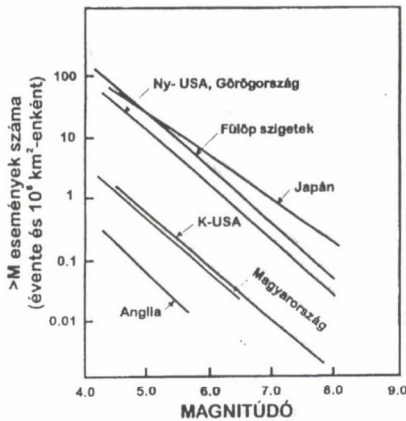
A magyarországi földrengésvédelem helyzete

Hazánkban a panelos épületeket kötelező volt méretezni az akkori szinten elképzelt intenzitású földrengésre. Az intenzitási osztályokat a korábban kipattant földrengések értékelése alapján szabták meg (11. ábra).

Az egyéb épületekre nem volt kötelező előírás, csak egy ajánlás. Ezt akkor kellett alkalmazni, ha a beruházó kívánta. A beruházó pedig gyakorlatilag sohasem kívánta, mert ez az építési költség kismértékű növekedését jelentette volna. Ezért fordulhatott elő, hogy a Paksi Atomerőmű épületeit és berendezéseit gyakorlatilag nem méretezték földrengésre, és most kell erősíteni óriási költséggel, mert előírta az atombiztonság.

Időközben változott a földrengés elleni védekezés elve. Míg korábban a már kipattant földrengés képezte a méretezés alapját, addig ma már világszerte a geológiai adottságokból következő földrengéserősség adja a földrengés-méretezés alapját. Hogy ez mennyire helyes, azt jól mutatja az 1985. évi hazai berhidai rengés esete, mely olyan helyen pattant ki, ahol még sohasem volt földrengés,

8. ábra



Több ország szeizmikus aktivitásának gyakorisága a magnitúdó függvényében

10. ábra

A földrengés veszélyes területen való építés minimalizálása

Jó földrengés elleni előírások

Az épületmervség és szilárdság együttes biztosítása.

Ennek érdekében:

- az egyszerű, földrengéssel szembeni, épület ellenállást növelő szerkezeti szabályok alkalmazása,
- a jó alaprajzi kialakítások megkövetelése, megfelelő merevítőfalak alkalmazása,
- az előregyártott vasbetonszerkezeti kapcsolatok korrekciós és jöminőségű kialakítása,
- a vasbetonszlopok hosszvasalásának korlátozása, és erős kengyelezés alkalmazása

A kiegészítő szerkezeti rendszerek merevségi elválasztása a teherhordó rendszertől

A rezgést csökkentő és elszigetelő rendszerek bevezetése

- Rezgéscsökkentő aktív és passzív kontrollok (antivirátor)
- Energiaelnyelő, cserélhető fékrendszerek
- Rezgésszigetelő gumitömbök alkalmazása

A földrengéskockázat csökkentési lehetőségei

9. ábra

- A tudatos kockázatvállalás**
A társadalom korlátozott anyagi lehetőségei nem teszik lehetővé a teljes védelmet.
- Az emberi felelősség**
Az emberek elvetik a borzalmakat, az új generáció pedig nem értesül azokról.
- A kivitelezési hibák**
Az építési ellenőrzési rendszer hiányosságai
- A gyenge építőanyagok**
Az előírásoknál gyengébb építőanyag elfűrt alkalmazása, az ellenőrzési rendszer hiányosságai, és az építési rendőrség hiánya
- A tervezési, mérzési hibák!**
A szerkezetalakítási hibás modellörvény alkalmazása, a dukális energiaelnyelési tűzoltó figyelembevétele az előírásokban, valamint tehercsoportok alkalmazása az ellenállás növelés helyett a nemválasztás összefüggésében.
- A tudatos nemtörődőmség**
PI a magyar földrengés elleni előírás hiánya. Még a gyenge, vagy hibás előírás is jobb, mint a semmi.
- A piacgazdaság törvénytörővé válása**
A befektetői alapítványon a hazai növekedés érdekében az építési költség csökkentésére törekedik, nem pedig az épület tartósságára
- Az épületalakítások**
Szokszor kibontják az épület merevítőfalait, pl. nagyterű földszinti irodák utólagos kialakítása esetében.
- Az energiaelnyelésnek a tartószerkezettel való biztosítása**
Az energiaelnyelés közben a tartószerkezet súlyosan károsodik. Helyesebb külön beépített, cserélhető fekekkel biztosítani az energiaelnyelést
- A korábbi földrengéskárok hiányos javítása**
A károsodott teherhordó szerkezeteket sokszor csak látványosan javítják ki.
- A régebbi épületek földrengés elleni méretezésének hiánya**
Régebben nem, vagy csak kisebb rengéserősségre méretezték az épületeket.
- A gyenge, átázott általános területeken jobb sikerül az építkezést**

A földrengéskárok okai

11. ábra



A 1945 — 1971 között Magyarországon kikapott $I \geq 5$ intenzitású földrengések térképe

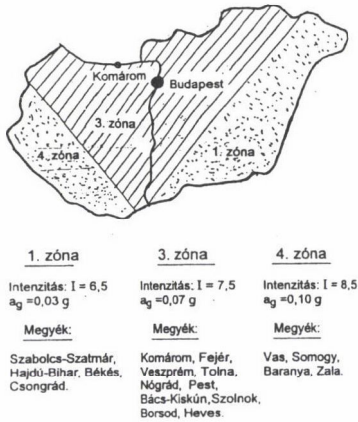
(Készítette az MTA Geodéziai és Geofizikai Intézet szeizmológiai obszervatóriumában Csomor Dezső. Ez volt a korábbi ajánlás.)

és az ott kikapott rengés mai árakon számítva mintegy 100 milliárd forint kárt okozott.

Az új elképzeléseknek megfelelő földrengéserősségi térkép a 12. ábrán látható, melyen a gyorsuláértékek az európai szintnek felelnek meg. Ez az új térkép a megyehatárokat veszi alapul, és így nem fordulhat elő az a korábbi ajánlás szerint többször bekövetkezett helyzet, hogy az utca egyik oldalán nem kell méretezni a házakat földrengés ellen, míg a másik oldalon igen.

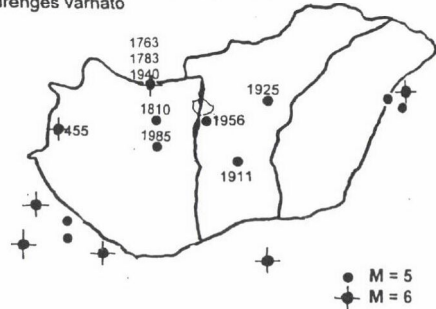
A Magyarországon máig kikapott 5 és 6 magnitúdójú rengéseket a 13. ábrán tüntettük fel. Ez összhangban van a 12. ábra rengéserősségi térképével is. A térkép 4. zóna földrengéserősségét az országhatáron túl kikapott erős földrengéseknek a hazai területre gyakorolt hatása indokolja, hisz a földrengéshullám nem ismeri az országhatárokat. A hazai földrengés-gyakoriság 20 évenként 5-ös, 200 évenként pedig 6-os magnitúdójú földrengés előfordulását valószínűsíti.

12. ábra



13. ábra

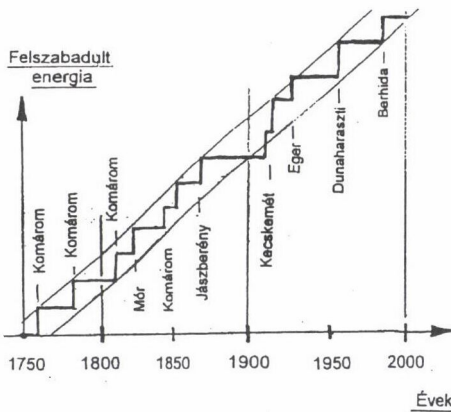
Magyarországon 20 évenként $M = 5$ - ös,
és 200 évenként $M = 6$ -os magnitúdójú
földrengés várható



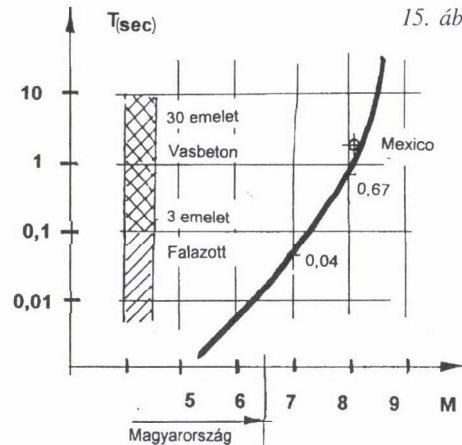
A Magyarországon lehetséges földrengés-előfordulás térképe

A Magyarországon és szomszédságában máig kipattant 5 és 6 magnitúdójú földrengések

14. ábra



15. ábra



A Benioff-féle energiakumulációs földrengés-előrejelzés Magyarország területére

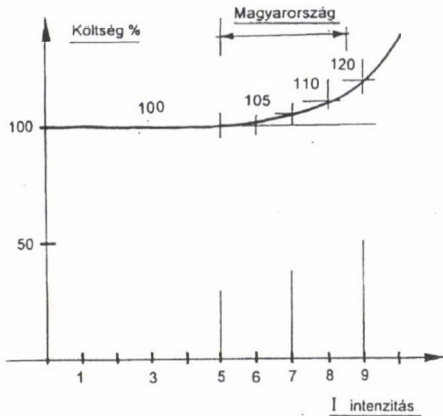
A T periódusidő és a magnitúdó összefüggése, összehasonlítva az épület periódusidőkkel

Időközben bonyolította a földrengés elleni védelem helyzetét az, hogy a korábbi MI - 04.133 sz. földrengés-méretezési ajánlást hatálytalanították, az 1998. január 1-jén életbe lépett új építési törvény és OTÉK pedig kötelezően előírta a földrengés elleni méretezést. Így jelenleg az a helyzet, hogy kötelező földrengés ellen méretezni, de nincs olyan előírás, amely megmondaná, hogy hogyan. A jövőbeli európai előírást, az Eurocode-8-at még csak most fordítják, és még sok évbe telik, hogy használható, érvényes előírásunk legyen belőle.

Így az átmeneti időben legalább a régi ajánlást kellene alkalmazni, esetleg kiadható lenne egy egyszerűsített, rövid ideiglenes előírás a közbenső időre.

Meg kell gondolni, hogy a hazai szeizmikus aktivitás meg sem közelíti a legveszélyesebb zónák értékeit, de mintegy 10-szerese az angliainak, ahol azért nem hanyagolják el a földrengésvédelmet.

16. ábra



A teherhordó szerkezet költségnövekedése az intenzitás szerint

17. ábra

Az új, 1998. jan. 1.-én életbelépett építési törvény kötelezően előírta, hogy az építmények a megkívánt mértékben álljanak ellen a földrengési hatásoknak.

Nehézségek:

Nem tudni, mi a megkívánt érték, mert

- A földrengés elleni méretezésre vonatkozó, nem kötelező műszaki irányelv már nem hatályos.
- Az új, Eurocode 8 kötelező földrengés elleni előírás még nem hatályos, mert a fordítás ellenőrzése még csak most folyik, a Nemzeti Dokumentum megjelenése és hatályba léptetése még csak 2-3 év múlva várható.
- Mi legyen a közbenső időben?
- Mi legyen a sok, földrengésre nem méretezett épülettel, (csak a panelos épületeket kellett méretezni) melyek nem fognak megfelelni az Eurocode 8 nemzeti dokumentumban előírandó ellenállási értékeknek, és valószínűen súlyos károsodásokat szenvednek egy bekövetkező földrengés esetében?

Lehetőség:

- A közbenső időre ideiglenes előírás kiadása.
- A régi épületek szakértői felülvizsgálata, és a kritikus esetekben legalább egy csökkentett ellenállási szintre való megerősítése.

A földrengés elleni védelem problémái Magyarországon

A földrengések pontos előrejelzése magától értetődően lehetetlen, de közelítő időbeli becslés lehetséges. Japánban a Hokkaido sziget minden földrengés előtt 2 métert megnyúlik, és ezért hossz-méréssel tudják a közelgő földrengést előre becsülni. Egy másik eljárás a *Benioff*tól származó energia kumulációs módszer. Itt időtörténeti sorban kiszámítják a szeizmikus aktivitás energiáit, és így egy lépcsős diagramot nyernek. Ennek függőleges lépcsői jelzik a felszabadult földrengési energia mennyiségét, a vízszintes szakaszok pedig a nyugalmi időszakokat. A lépcső alsó és felső burkoló egyenese között helyezkedik el az aktív szakasz. Ha a vízszintes lépcső nyugalmi szakasza eléri az alsó korlátegyenest, akkor a közeljövőben földrengés várható. Ezt a lépcsős diagramot elkészítettük Magyarország területére, és e közelítő értékeket a 14. ábrán mutatjuk be. Ebből úgy tűnik, hogy mintegy 15–20 év múlva várható egy komolyabb földrengés.

Japán kutatók kidolgozták a világ nagy földrengéseinek közepes periódusidőit a magnitúdó függvényében. Ezt összehasonlítva az épületek közepes rezgési periódusidőivel, úgy tűnik, hogy a földrengési kockázat szempontjából a hazánkban gyakori falazott épületek a legveszélyeztetettebbek, mert ezek kerülhetnek rezonanciába a földrengéssel (15. ábra).

A 16. ábrán bemutatottuk az épületek teherhordó szerkezeteinek közelítő építési költségnövekedését, ha azokat a földrengésre méretezzük. Ez a hazai viszonyok között 5–10% költségnövekedést jelent. Tekintve, hogy a teherhordó szerkezetek költsége mintegy 20%-a a teljes épületköltségnek, a földrengésre való méretezés mintegy 1–2% többletet jelent az építési összköltségben. Ez csak mintegy ötödrésze az I. és II. osztályú parketta közötti árkülönbségnek.

A magyarországi földrengésvédelem problémáit a 17. ábrán foglaltuk össze. Ezek alapján felmerül a kérdés, hogy szabad-e egyáltalán takarékoskodni a rengések elleni védelem elhagyásával. Jelentős probléma az is, hogy mi legyen a nemzeti álláspont a sok megépült épülettel kapcsolatosan (például Budapest), amelyeket egyáltalán nem méreteztek a földrengések ellen.