

Antal Örs
antal.ors@gmail.com

A FÖLDRENGÉSÁLLÓ ÉPÍTKEZÉS KORSZERŰ LEHETŐSÉGEI

Absztrakt

Haiti, Szecsuan, L'Aquila, Törökország; elég csak néhány esetet felsorolni az elmúlt évek súlyos földrengései közül, aminek következtében a felbecsülhetetlen anyagi károk mellett tízezrek veszítették életüket és százezrek váltak hajléktalanná. A földrengés megelőzésére és elkerülésére nincsen mód, azonban ismét bebizonyosodott, hogy a veszteségek a megfelelő építési technológia alkalmazásával minimalizálhatóak lehettek volna, a Japán mintát követve. Hazánk nem tartozik a magas földrengés veszélyeztetettséggel bíró országok közé, azonban a régi, elavult technológiával épült épületek magas száma miatt egy kisebb erejű rengés is jelentős kockázatot jelenthet a jövőre való tekintettel. Jelen tanulmány bemutatja a földrengésálló építkezés főbb szempontjait, valamint a világszerte elterjedt és hatékonyak bizonyul technológiai megoldásokat. Emellett vizsgálja, hogy az uniós szabályozás tükrében milyen tendenciák mutatkoznak az európai, így a hazai földrengésbiztonsági építkezés tekintetében is.

Haiti, Sechuan, L'Aquila and Turkey are examples for devastating earthquakes from the recent years causing ten thousands of deaths and hundred thousands of homelesses besides the inestimable property damages. No applicable method exists to prevent or avoid the earthquakes, nevertheless it had been proved again that the losses could had been minimized with the suitable earthquake-resistant building technology, following the Japanese pattern. Our country does not belong to the significantly earthquake-endangered countries, however due to the high number of buildings constructed by old and traditional technology a smaller earthquake could cause high risk in the future, too. This study represents the most important aspects of earthquake-resistant building methods and the world-wide technologies that proved to be efficient. Furthermore it investigates the future european tendencies in point of the domestic and international earthquake-resistant building technologies.

Kulcsszavak: *horizontális erő, rengéshullámok, Japán, rugalmasság, méretezés ~ horizontal force, seismic waves, Japan, flexibility, sizing*

BEVEZETÉS

A legpusztítóbb, évente százezres nagyságrendben mérhető haláleseteket okozó természeti katasztrófák a földrengések, amelyek ellen - a magas technológiai fejlettség ellenére - a mai napig nem létezik hatékony előrejelzési módszer, emellett a rengések megelőzésére nincs mód, csak a pusztító hatás csökkentésére. Ennek kulcsa a földrengésálló építészeti technológia, ami szerves részét képezi a védelmi képességek növelésére, valamint a megelőzésre irányuló tevékenységeknek. Az építészeti eljárások jelentőségét jól alátámasztja Japán, amely földünk szeizmikusan legaktívabb zónájában helyezkedik el, mégis az elmúlt évek jelentős földrengései alig tettek kárt a szigetország építményeinek szerkezeteiben. A tanulmány során részletesen bemutatásra kerülnek ezen építészeti technológiák, kiemelten foglalkozva a könnyű acélszerkezetes megoldás jelentőségével. A technológia háttér tisztázása mellett vizsgálom ennek szabályozási hátterét, ami alapvetően meghatározza az európai földrengésbiztonsági építkezési tendenciákat is a jövőre való tekintettel. Fontos továbbá tisztázni, hogy melyek azok a legfontosabb szempontok és eljárások, amelyeket a tervezésnél figyelembe kell venni. Az olykor merésznek tűnő, ugyanakkor hatékony technológiai eljárásoknak köszönhetően az elmúlt évtizedekhez képest áttörés történt a földrengésálló építkezés terén, amit a növekvő urbanizáció kiemelten szükségessé tett.

A FÖLDRENGÉSEK KÖZVETLEN HATÁSAI AZ ÉPÍTMÉNYEKRE

Az épületek tervezésénél általában fő szempont a vertikális terhek elleni ellenálló képesség, így az előírásoknak megfelelően megépített építmények saját súlyuk mellett a beltéri és a csapadékból adódó esetleges külső terheknek is biztosan ellenállnak. A földrengések esetén a problémát azonban a rengéshullámokból eredő és épületszerkezetekre ható oldalirányú talajmozgás okozza. A hirtelen fellépő horizontális terhelés következménye legtöbb esetben az épület összeomlása, totális pusztítást okozva. A földrengéshullámok gyakori jellemzője - főként a puhább talajrétegek esetén - hogy több hullámban érkeznek, ami a masszívabb, ellenállóbb épületszerkezetek tartószerkezetinek teherbíró képességét is még intenzívebben redukálja.

Az elsődleges veszélyt tehát a földrengéshullámok vízszintes irányú gyorsulása okozza, mivel a teherhordó szerkezetekben nyírófeszültségeket hoznak létre, ami sok esetben az épületszerkezeteket nem lehet megfelelően méretezni. A másik, közvetlen károsodást kiváltó fizikai tényező a rezgés frekvenciája, amelyek általában 0 és 15 Hz közé tehetőek. Az épület akkor van kitéve a legnagyobb terhelésnek, ha a maximális rengés frekvencia megegyezik az épületek sajátfrekvenciájával, mivel ilyenkor rezonancia generálódik, ami nagy rezgés amplitúdót eredményez. [1]

Számos esetben fordult már elő, hogy az épület összeomlását a földrengéshullámok mellett az épületre ható túlterheltség okozta, (utólag beépített emelettel, elválasztó falakkal, körbe épített teraszokkal, belső raktározással stb.). Ez a probléma sokszor a földrengésálló épületek összedőléséhez is közvetlenül hozzájárul, mivel a plusz terhek meghaladták az épületszerkezet méretezéséből adott határokat. Bizonyított tény, hogy a túlterhelt épületszerkezetek jelentő mértékben sebezhetőbbek földrengésekkor, sok esetben az épület összedőlését egy kisebb, ugyanakkor az előzőekhez képest más irányból érkező utórengés, vagy a rezgések frekvenciájának változása okozza.

Az eddigi bekövetkezett földrengéskárok tapasztalati alapján az épületek gyors, „kártyavárszerű” összeomlásának további oka lehet, hogy az alsóbb szinteket magasabb belmagassággal és kevesebb teherhordó fallal, vagy oszloppal tervezték, amelyek a földrengéshullámok érkezésekor elsőként veszítik el teherhordó funkciójukat az egész épület teljes pusztulását következményezve. Emellett, rendkívül fontos a talaj keménység és az

alapozás helyes megválasztása is, mivel főként magasabb, több emeletes tömbházaknál jelentkezik, hogy a puhább talaj futóhomokszerűen képes porladni a rezgések hatására.

Az épületek szerkezeti hiányosságai mellett a földrengéskárok általános oka az építőanyagok nem megfelelő megválasztása is. Hogy csak két releváns példát említsek, 2008-ban, a nyugat-kínai Szecsuan tartományban kipattanó, valamint a 2009-es észak-olaszországi L'Aquila városában pusztító földrengés által okozott jelentős épületkárok oka az előírásoknak nem megfelelő konstrukciók és anyagok használata volt. A mentésben résztvevő tűzoltók elmondásai szerint, olyan teherhordó szerkezetek zúzódtak porrá a földrengést követően, amelyek eltávolítására általában fűrészt vagy más speciális vágószerszámot kellett használni. Ebből arra lehetett következtetni, hogy sok építkezésnél - költségmegtakarítás céljából - a betonelemeket a cement magas ára miatt homokkal pótolták ki, amik a rezgések hatására rövid időn belül szétporladtak.

A földrengésálló, rugalmas tulajdonságú építőanyagok használatának kulcsfontosságát már évszázadok óta ismerik a különösen veszélyeztetett térségekben élők, a következőben ezek részletes bemutatására is sor kerül.

A FÖLDRENGÉSÁLLÓ ÉPÍTKEZÉS MÚLTJA

Ahogy az előbbieken említettem, egyes területeken már évszázadok óta fontos szempontként kezelik a földrengés ellenálló képességet az építkezések során. Földünk szeizmikusan legaktívabb térségében, a Csendes-óceán partjainál szélesen, sávyszerűen húzódó cirkumpacifikus övezetben található Fülöp-szigeteken már a XV. századtól tudatosan építkeztek a földrengésekre készülve. A helyiek által „*bahay-na-nipa*”-nak vagy „*bahay kubo*”-nak nevezett, többnyire egy légtérű bambuszból épült és nádtetővel fedett kunyhók jelesre vizsgáztak az igen intenzív, 7-8-as magnitúdójú földrengések esetén is. A kunyhók tetejét egy fából épített dúcszerkezet a bambuszból készült könnyű falaktól függetlenül tartotta, ami ily módon megfelelő rugalmasságot és ingást tett lehetővé a földrengéseknek ellenállóvá téve az építményt. Később, a nagyobb településeken ugyanezt az elvet követve már masszívabb fagerendákból épített és cseréptetővel fedett házakat kezdtek a szigeteken élők építeni, ami kiszélesítette azok kihasználásának és funkcionális lehetőségeit.

A helyi építési kultúra fejlődésének, és az idegen telepeseknek is köszönhetően a városokban a nipa-kat fokozatosan felváltották a több szintes kőből és téglából épített „*bahay-na-batok*”, (1. ábra) amelyeknek - elődeik szerkezetén alapulva - masszívabb és merevebb szerkezetű kőfalai egy rugalmas faszerkezet beépítésével el voltak választva a tetőtől, így biztosítva azt, hogy a rezgéshullámok hatására ne omoljanak össze. A „*batok*” a mai napig biztonságos otthonként szolgálnak a Fülöp-szigeteken élők számára. [2]



1. ábra. „Bahay-na-bato” lakóház modern változata a Fülöp-szigeteken Forrás: <http://www.bokkins3d.blogspot.hu/2008/03/bahay-na-bato.html> Letöltés ideje: 2012.08.14.

KORSZERŰ FÖLDRENGÉSÁLLÓ ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIÁK

A földrengésálló építkezés alapja az építőanyagok megfelelő megválasztása. Az intenzív rezgéshullámoknak a rugalmas anyagok - mint a fa és az acél - ellenállnak, a téglá és a beton viszont egyáltalán nem biztosít megfelelő rugalmasságot, ami az esetek többségében épületszerkezet összeomlását eredményezi. Ismét felhozható példának az észak-olaszországi L'Aquilában pusztító, 6,3-as magnitúdójú - nem kivételesen nagymértékű energia felszabadulással járó - földrengés, amelynek következtében csaknem 70.000 ember vált hajléktalanná. A magas kár fő oka a sok merev építőanyagból készült lakóház és műemlék épület volt (2. ábra), az újraépítés során már könnyűszerkezetes épületeket építettek. [3] A közép- és kelet-európai térségben, így hazánkban is jelentős a téglá és betonépítésű lakóházak aránya, míg a világ más tájain a könnyű acélszerkezetes építmények száma rohamosan terjed, szem előtt tartva a földrengések általi veszélyeztetettség mértékét, valamint az erre vonatkozó nemzetközi irányelveket és szabályozásokat.



2. ábra. Santa Maria Suffragio templom romjai a 2009-es l'aquilai földrengést követően

Forrás: <http://www.i-italy.org/bloggers/8564/invisible-victims-abruzzo-earthquake>

Letöltés ideje: 2012.08.14. (Készítette: Samuele Pellicchia)

Hogy említsünk pozitív példát is, az építési technológia fontosságát kiválóan demonstrálja a 2011. március 11-i, 9-es magnitúdójú japán földrengés, ahol a megfelelő építési technológiának köszönhetően az épületek szerkezetében csak a legkritkább esetben keletkezett komoly kár. Az, hogy ennek ellenére óriási pusztítást szenvedett el a „felkelő nap országa”, a földrengés másodlagos hatásaként jelentkező szökőárnak volt köszönhető, ami ellen nem létezik technológiai eljárás.

A következő kép (3. ábra) egy klasszikus japán földrengésre tervezett lakóházat szemléltet. A biztonság és statikai tulajdonságok mellett a formatervezés is hangsúlyt kap az esetek többségében.

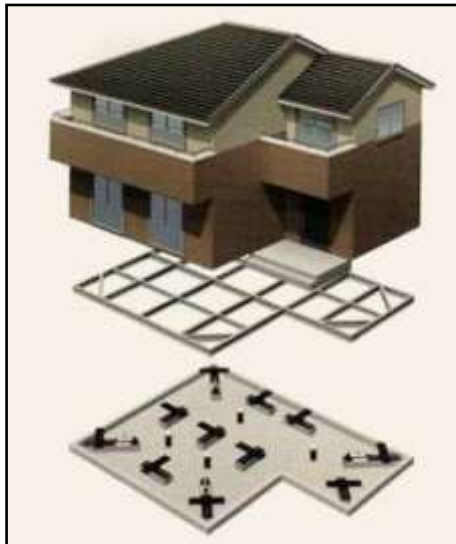


3. ábra. Földregésálló könnyűszerkezetes lakóház Japánban

Forrás: <http://kp.hu/mibol-epitkeznek-a-japanok-mitol-foldrengesbiztos-egy-haz/>

Letöltés ideje: 2012.08.12.

A védekezést tekintve két földrengésálló technológiai megoldás ismert, amely alapján létezik a rezgésálló megoldással épített ház, amikor az építménybe rugalmas teherbíró szerkezetek kerülnek beépítésre, valamint a földrengés szigetelés (4. ábra), mely esetben a talapzatba beépített acélszerkezet biztosítja a szeizmikus energia elnyelését. A különböző konstrukciós megoldásoknál fő szempont, hogy a talapzatot és az alapozást nem szabad egybeépíteni, mivel így megelőzhető, hogy a rezgések direkt átadódjanak a ház szerkezetére. A hatékonyság fokozása érdekében a két eljárás kombinálása is adott, mint lehetőség. A világon elterjedt védekezési építési megoldás, a könnyű acélszerkezetes technológia részletes bemutatására a következő fejezetben kerül sor. [3]



4. ábra. Földrengésálló szigetelés

Forrás: <http://kp.hu/mibol-epitkeznek-a-japanok-mitol-foldrengesbiztos-egy-haz/>

Letöltés ideje: 2012.08.14.

A könnyű acélszerkezetes technológia, mint a földrengéskárok elleni védekezés első számú lehetősége

Az eddigiekben tárgyaltak alapján megerősíthető, hogy az egyetlen korszerű építőanyag a földrengésálló épületek létrehozására az acél. Az acélszerkezet jellemzője, hogy még a fánál is könnyűszerkezetesebb, ami annyit jelent, hogy egy azonos statikai mutatókkal rendelkező acélgerenda jóval kisebb súlyú (kb. 1/7), mintha fából készült volna.

Felépítésüket tekintve az acélszerkezetes épületek (5. ábra) falai vázszerkezetből állnak össze, amely közé hőszigetelő anyagok kerülnek beépítésre. Értelmszerűen a hőszigetelő anyagok szerepe a hőátbocsátás csökkentése, míg a hidegen hengerelt vékonyfalú acél U és C profilokból szerelt vázszerkezetnek statikai, teherhordó funkciója van. [4.]



5. ábra. Acélszerkezetes épület szerkezeti rajza

Forrás: <http://samarasbau.hu/wp-content/uploads/2012/01/acelszerkezetes-haz.jpg>

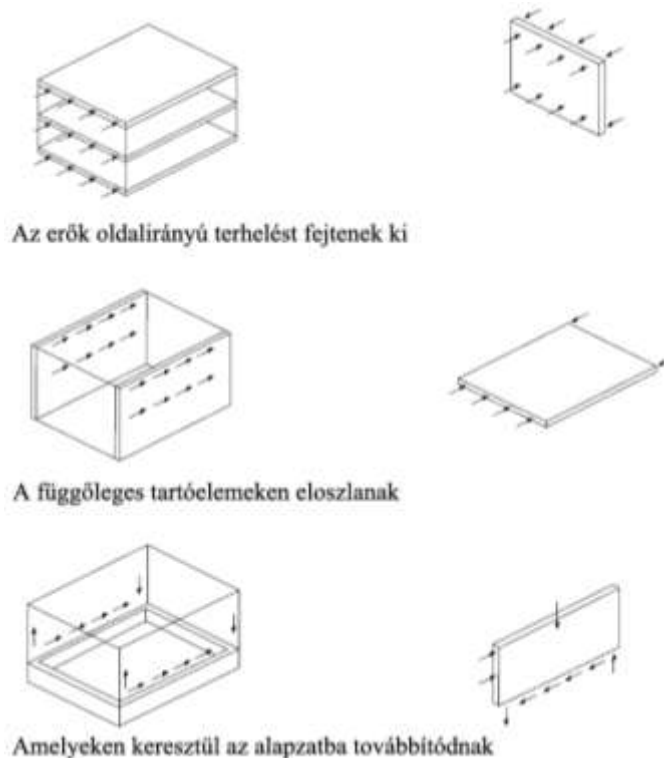
Letöltés ideje: 2012.08.14. Készítette: nincs megnevezve

A könnyű acélszerkezetes házak száma ma már meghaladja a hagyományos építőanyagokból készült házakét a világon, mivel földrengés ellenállóságuk mellett számos más előnnyel rendelkeznek: [1]

- az acélszerkezet profiljainak gyártása során nem keletkezik hulladék,
- az egyes elemeket nem kell vegyszerrel kezelni (szemben a faszzerkezettel),
- a szerkezet nem vetemedik a hőmérséklet és az öregedés hatására,
- az elemek nagy méretpontossággal gyárthatóak,
- környezetbarát megoldás, mivel nem kell fákat kivágni, alapanyaga újrahasznosítható,
- az acélszerkezet nem tűzveszélyes, valamint a bogarak és kártevők nem tudják károsítani.
- a szerkezetek könnyű súlya miatt egyszerűbb és olcsóbb a szállíthatóságuk.

A földrengésálló acélszerkezetes épületek jellemzői

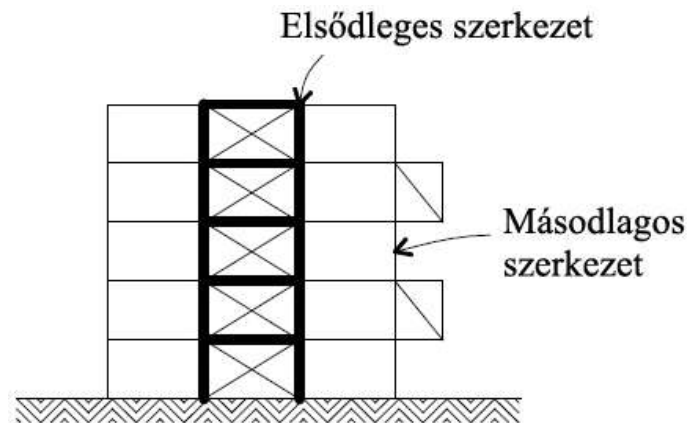
A könnyű acélszerkezetes építmények esetén a merev és ellenálló vízszintes épületelemek lehetővé teszik minden emeleten, hogy a horizontálisan ható erők szétszóródjanak a merőlegesen kapcsolódó függőleges szerkezeti elemeken, illetve válaszfalakon. A függőleges épületszerkezetek az így érkező erőhatásokat (pl. nagy erejű rezgéseket) az alapzatba továbbítják, a következő ábrán vázolt módon. [5]



Elsődleges-másodlagos szerkezetek

A védekezőképesség fokozása érdekében a függőleges acél tartóelemekbe beépítésre kerülhet egy ún. „elsődleges szerkezet”, melynek fő funkciója az összes földrengés terhelés elvezetése, és egy „másodlagos szerkezet”, amely csak a nehézségi erőkből származó terhek viselésére van tervezve. A másodlagos váz hosszanti ellenálló képessége és merevsége nem haladhatja meg az elsődleges szerkezet 15%-át, emellett a tervezésnél figyelmet kell fordítani a másodlagos szerkezet elsődlegeshez való csatlakozásainak illeszkedésére, a

földrengéshullámok okozta eltolódások esetén. Az említett szerkezeti felépítést az alábbi ábra (6. ábra) illusztrálja. [5]



6. ábra. Acélszerkezetes épület szerkezeti rajza

Forrás: http://www.arcelormittal.com/sections/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/Earthquake/Earthquake_EN.pdf Letöltés ideje: 2012.08.14.

Az alapzatnak biztosítania kell, hogy földrengés esetén, a talajból érkező rezgéshullámok az épület egészen egyenletesen oszlódjanak el. Másik funkciójuk, hogy a talaj süllyedése esetén is megfelelő tartást biztosítson az épületnek, ami egyaránt elérhető sík- és mélyalapozással is. Cölöpök vagy lábazat beépítése esetén fontos, hogy a stabilitás érdekében a cölöpök kötőgerendákkal, vagy lemez alappal egymáshoz legyenek rögzítve.

Toronyházak földrengésvédelme

A lakóházak, felhőkarcolók, hidak és vasúti pályák földrengésálló építészeti megoldásainak alkalmazásában Japán világelsőnek számít, ami szoros összefüggésben van a szigetország magas veszélyeztetettségével és technológiai fejlettségével. Az egyszerű lakóházak földrengésekre való méretezését viszonylag egyszerűbb előírások szabályozzák, a 60 méternél magasabb építmények esetén már jóval bonyolultabb ellenőrzési folyamatok és számítógépes szimulációk alkalmazása szükséges, ami lehetővé teszi a több száz méter magasságú és extrém formájú felhőkarcolók földrengés állósági modellezését is. Az építmények méretezésénél egyaránt figyelembe kell venni a gyakoribb vízszintes és kevésbé gyakori függőleges szeizmikus hullámok általi terhelést is.

Földrengésálló tartószerkezetek magasépítésnél

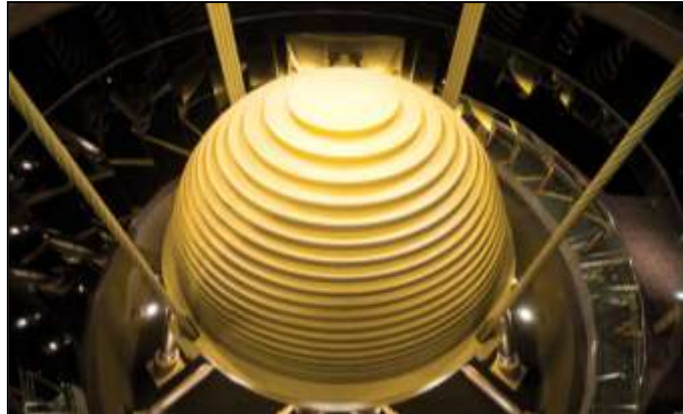
A kis elmozdulást lehetővé tevő merev vasbeton szerkezetekkel szemben a korszerű magasházak a már tárgyalt könnyű acélszerkezetes technológiával, szeizmikus csillapítóelemek beépítésével épülnek nem csak Japánban, hanem szerte a világban. A csillapító elemeknek hála, a rezgések elnyelődnek a szerkezeti elemek nagyobb elmozdulása mellett. Ezzel magyarázható az a jelenség, amikor egy intenzívebb földmozgás eredményeképpen a magas épület akár több méter kilengés mellett is biztosan ellenáll a rengéseknek, valamint az épületben jóval kisebb rezgés érzékelhető az elnyelődésnek köszönhetően.

A rengés-csillapítás elérése érdekében bevált technológiai eljárás a csillapító-falak beépítése az egyes szintek közé. Erre például szolgál a Tokióban található Roppongi Hills felhőkarcoló.

A csillapító elemeknél hatékonyabb, ugyanakkor költségesebb megoldás a szeizmikus szigetelők használata, ami nem befolyásolja az alaprajzi és homlokzati tervezést. Az alaptól a falszerkezeteket elválasztják, vagy az épület magasságát megosztják legalább egy köztes szinttel, ami lehetővé teszi, hogy földrengés esetén az épület egyes részei egymástól

függetlenül mozogjanak. Ezen eljárás a toronyházak mellett kiemelten fontos rendeltetésű épületeknél is alkalmazzák a biztonság fokozása érdekében. Ilyen szeizmikus szigetelők kerültek alkalmazásra például a Shiodome Sumitomo bankház épületénél, ugyancsak Japánban.

A földrengésvédelemre felsorolt főbb technológiák mellett léteznek alternatív, azonban költséghatékonyan nem nevezhető megoldások is. Példának okáért a Taiwanon található Taipei 101 nevezetű, 106 szintes felhőkarcoló stabilitását egy csaknem 730 tonnás inga (7. ábra) biztosítja, ami kiegyenlíti és csillapítja a földrengések okozta kilengéseket és rezgéseket. Az épület tetejébe beépített hatalmas „acélgolyó” mindig a kilengéssel ellentétes oldalra mozdulva minimalizálja az elmozdulást. [6]



7. ábra. A Taipei 101 toronyház kilengés csillapító ingája Forrás:

<http://mathspig.wordpress.com/category/popular-posts/cool-formula-for-calculating-skyscraper-sway/> Letöltés ideje: 2012.08.14.

A földrengések elleni építészeti megoldások tisztázásánál említésre került az alapozás jelentősége, ami a magas építésű épületekre is elmondható. Az acélszerkezetes toronyházak, középmagas épületek és hídszerkezetek építésénél világszerte alkalmazott ún. „földrengés-szigetelő pogácsák”, azaz lengéscsillapítók feltalálása Tarics Sándor (olimpiai bajnok vízilabdázó, építésmérnök professzor) nevéhez fűződik, aki nem mellesleg a világ jelenleg élő legidősebb olimpiai bajnokának mondhatja magát. A tarics-féle pogácsák energia-elnyelő hatása jóval hatékonyabbnak bizonyult, mint az ugyancsak az alapzatban épített bármelyik másik rugós, vagy gumis megoldás. Többek között ez a konstrukció biztosítja a San Franciscóban található Golden Gate-re felvezető autópályákat és felüljárókat, valamint hazánkban Paksi Atomerőmű kiemelten veszélyeztetett építményeit is. [7]

A továbbiakban nézzük, hogy milyen egységes szabványrendszer szabályozza az Európában, így hazánkban is épülő építmények földrengés állósági méretezési és tervezési szempontjait.

A Eurocode 8

A Eurocode 8 (MSZ EN 1998) egy olyan Európai Unió szabványcsomag, melynek alapelve, hogy az adott épület típust olyan földrengésre kell tervezni, ami 50 év leforgása alatt 10%-os valószínűséggel fordulhat elő. A teherbírás követelmények alapján az építmény nem dőlhet össze a rengéstől, egyes épületeknek pedig a károsodási mértéke is meg van határozva. Ez esetben az épületszerkezet nem amortizálódhat jelentősen egy olyan földmozgás esetében, amelynek előfordulási lehetősége 10 év leforgása alatt 10%. A szabványcsomag három fő célja a következő: [8]

- az emberi életek megóvása,
- a károk mértékének csökkentése,
- és a kiemelt fontossággal rendelkező építmények funkciójának védelme.

Az Eurocode 8 hazánkban 2009. január 1. óta van érvényben, felépítését tekintve az alábbi szabványokból épül fel: [9]

- EN 1998-1 - magaspépítési szerkezetek
- EN 1998-2 - hídszerkezetek
- EN 1998-3 - kárfelmérés és helyreállítás
- EN 1998-4 - silók, tartályok és csővezetékek
- EN 1998-5 - alapok, támaszszerkezetek
- EN 1998-6 - tornyok, kémények

Épületszerkezetek földrengésekre való méretezése

Az eddigiek alapján megállapítható, hogy az egyes épületek földrengésbiztos építése a helyes anyag és módszer megválasztásán, valamint a szerkezet megfelelő méretezésén múlik. Utóbbi részletes ismertetésére a következő pontokban kerül sor.

A tervezési válaszspektrum

A Eurocode 8 alapján a földrengésálló szerkezetek tervezésének alapja a tervezési válaszspektrum, amely egy adott frekvencián várható szeizmikus aktivitás hatását a frekvencia függvényében adja meg. A válaszspektrum meghatározása 4 lépésből tevődik össze: [9]

1. az építési terület szeizmikus zóna besorolásának meghatározása (pl. a szeizmikus zónatérképről) *(1. melléklet)*
2. a talaj típusának és talajmechanikai jellemzőinek meghatározása (A,B,C,D,E, S1,S2) *(2. melléklet)*
3. szeizmikus együtthatók meghatározása
4. válaszspektrum kiértékelése és grafikonos ábrázolása

A tervezési válaszspektrum az épületszerkezet valós válaszait, illetve gyorsulásait megadó diagram, amely alapján az alábbi képlet segítségével meghatározható a földrengési teher nagyságának felső értéke a szerkezet tömegének és a válaszspektrum megfelelő értékének szorzatából:

$$F_b = m \times S_d(T_1) \text{ (tömeg} \times \text{gyorsulás} = \text{erő)}$$

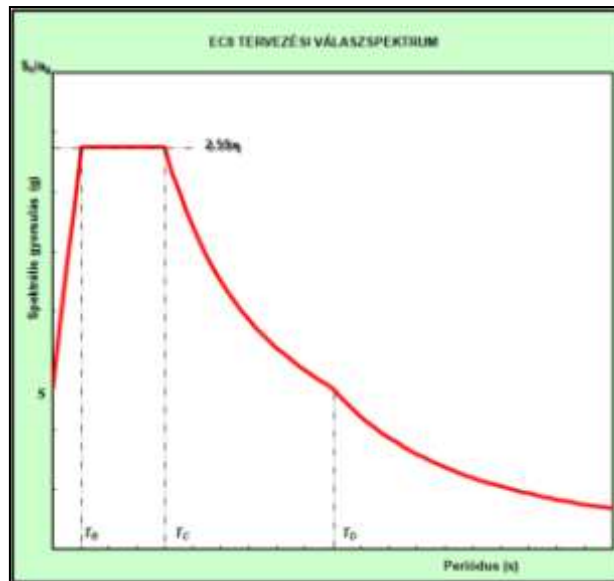
ahol:

m: tömeg

S_d: válaszspektrum

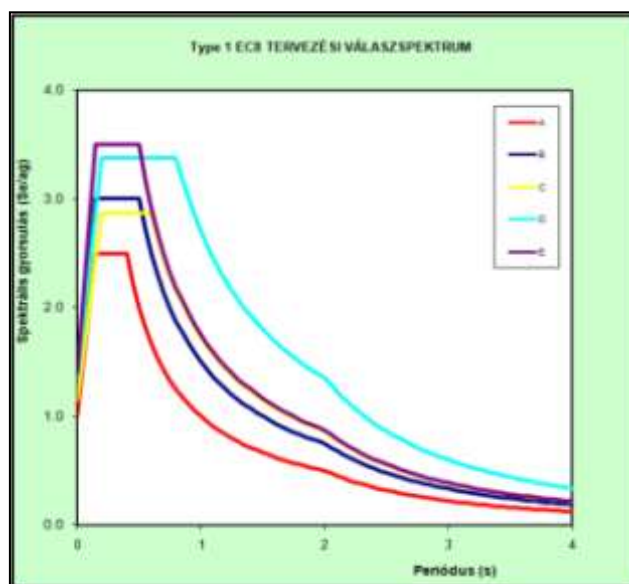
T₁- alaprezgési periódusidő (vízszintes mozgás esetén)

A kiértékelésnél a válaszspektrum függőleges és vízszintes összetevőjét is meg kell határozni, mivel földrengéskor a gyorsulásnak vertikális és horizontális (általában ez a pusztítóbb) komponense is van. Ez alapján az MSZ EN-1998-1 (Eurocode 8) vízszintes tervezési válaszspektrumát az alábbi diagramból *(1. diagram)* lehet kiszámítani a spektrális gyorsulás és periódus függvényében. [1]



1. diagram. Az Eurocode 8 vízszintes tervezési válaszspektruma Forrás: http://www.foldrenges.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=94:magyarorszag-foeldrenges-veszelyeztetettsege&catid=5:geofizika&Itemid=7 Letöltés ideje: 2012.08.14.

A fenti diagramnak megfelelően az A, B, C, D, E talajtípusok esetén a tervezési válaszspektrum a következő ábra (2. diagram) szerint alakul.



2. diagram. Az Eurocode 8 vízszintes tervezési válaszspektruma Forrás: http://www.foldrenges.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=94:magyarorszag-foeldrenges-veszelyeztetettsege&catid=5:geofizika&Itemid=7 Letöltés ideje: 2012.08.14.

A válaszspektrum függőleges komponensét a diagram alapján a következő lépésekben, az értékek behelyettesítésével lehet meghatározni:

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{(ve)}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

Ahol az MSZ EN-1998-1-ben meghatározott 1. típusú spektrum esetén:

$$a_{vg}/a_g = 0,9$$

$$T_B (s) = 0,05$$

$$T_C (s) = 0,15$$

$$T_D (s) = 1,0$$

MAGYAR VONATKOZÁSOK

Hazánk földrajzi elhelyezkedése a természeti katasztrófák szempontjából szerencsésnek mondható, mivel a jelentős törésvonalak nagy távolsága miatt nem kell számolni gyakori, nagy intenzitású földrengéssel. Azonban, az elmúlt évtizedek során, az országban néhány esetben akár 5-6 magnitúdójú rengés is tapasztalható volt. Ezen földmozgások előfordulása teljesen rendszertelen területi eloszlásban következik be, egyes régiókban folyamatosan erősebb szeizmikus intenzitás mérhető. Ilyen például Komárom, Dunaharaszti, Mór és Eger térsége, amit a mellékelt szeizmikus zónatérkép (1. melléklet) jelöl. Az alacsony gyakoriságú előfordulással szemben a várható pusztítás mértéke miatt a kockázat azonban így is jelentős mértékű. Ezt tovább fokozza, hogy az ország területét nagyrészt laza üledékes kőzetek borítják, amelyek könnyedén átengedik, illetve felerősítik az - épületkárokért legnagyobb mértékben felelős - alacsony frekvenciájú rezgés hullámokat. Az üledékes talaj mellett, az országban jelentős mennyiségben épített merev épületszerkezetek (tégla- és betonépítésű lakóházak, egyéb építmények) azok, amik a földrengéskockázatot tovább fokozzák. A tapasztalatok alapján a vasbeton szerkezet, illetve a doboz szerű forma miatt egyes épületek ugyan jobban ellenállnak a rengéseknek, mint a téglából készült épületek, azonban a biztonságos szint eléréséhez nem elégséges módon, amit alátámaszt az 1977-es romániai, Richter-skála¹ szerinti 7,2-es erősségű földrengés, aminek következtében rengeteg panelépítésű vasbetonház omlott össze. A Eurocode 8-nak köszönhetően az elmúlt néhány évben már jelentős mértékben előtérbe kerültek a földrengés biztonsági szempontok az épületek tervezése során, azonban főként az ország nagyvárosaiban nagy számban található, régi, akár 100-150 éves életkort is meghaladó polgári épületek veszélyeztetettsége kritikus. Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet kutatóinak álláspontja szerint, amennyiben Budapestet egy Richter-skála szerinti 7-e erősségű földrengés érné, a zsúfolt, sűrűn beépített belső kerületek esetén a károk felbecsülhetetlen mértékűnek prognosztizálhatóak. A többségében a 100 éves életkort is meghaladó bérházak nagy része minden bizonnyal a földdel válna egyenlővé egyrészt az elavult, merev építési technológia, másrészt az évtizedek során a válaszfalak sokszori átrendezése miatt, ami az épület statikai teherbíró képességét csökkenti. Sok régi templom is várhatóan összeomlana, viszont köszönhetően annak, hogy a parlament kupoláit könnyű acélszerkezet tartja, képes az intenzívebb földrengéseknek is

¹ Richter-skála: A földrengések energiájának a pontos megállapítására bevezetett skála, mértékegysége a magnitúdó (M) [10]

ellenállni. A kutatók véleménye alapján emellett jelentős károkat szenvedne a főváros közműhálózata is, mivel az öntöttvas víznyomócsövek és elöregedett gázcsövek rövid ideig tudnának csak ellenállni a földrengéshullámok okozta terhelésnek. [11]

Saját véleményem szerint az óriási károk bekövetkezéséhez nem szükséges 7-es magnitúdójú rengés, egy intenzívebb, 5-6-os erősségű csapás - aminek előfordulása reális veszély lehet az elkövetkezendő évtizedekben, vagy akár évek ben is - hatására is rengeteg épület szenvedne jelentős pusztítást, és minden bizonnyal a halálesetek száma is kirívóan magas lenne. Az ország jelenlegi gazdasági helyzetét és a költségvetési korlátait is figyelembe véve egyre aktuálisabb lenne egy olyan átfogó terv, illetve koncepció elkészítése, amelyben amellett, hogy megfogalmazódik az, hogy hogyan lehetne költséghatékony módon Budapest belvárosának földrengésbiztonságát növelni az előfordulás várható kockázatán alapulva, olyan építészeti tendenciát irányozna elő, ami a jövőre való tekintettel országos szinten jelentősen hozzájárulna a földrengéskockázatok csökkentéséhez. A koncepció alapjául szolgálhat az EUROCODE 8 szabványcsomag, a könnyű acélszerkezetes építészeti megoldások, valamint a nemzetközi tapasztalatok.

ÖSSZEGZÉS

Az eddigi földrengés katasztrófák tapasztalati alapján bebizonyosodott, hogy a védekezés leghatékonyabb módja az építészeti technológiában rejlik, amelyre vonatkozóan fő szempontként említhető az építőanyag megfelelő megválasztása és a szerkezeti felépítés. A biztonsági szempontok mellett, a különböző fejlettségű országok lehetőségeit is figyelembe véve szem előtt kell tartani a költséghatékonyt is, ezért az Európai Unió szabályozás irányelvei alapján is a földrengésálló építkezésnek és tervezésnek célszerűen összhangban kell lennie a veszélyeztetettség mértékével, amit földtani és statisztikai mérésekkel és adatokkal lehet meghatározni. Mivel bizonyítást nyert, hogy a tégl- és betonépítésű lakóházak vesztik el teherbírásukat leghamarabb és dőlnek össze földrengés esetén, célszerű az építkezéseknél a rugalmasabb anyagok, mint az acél vagy akár a fa használata. Japánban is - amely etalonnak számít a földrengések elleni építészeti fejlesztések terén - a lakóházak többsége acél könnyűszerkezetes megoldással épült.

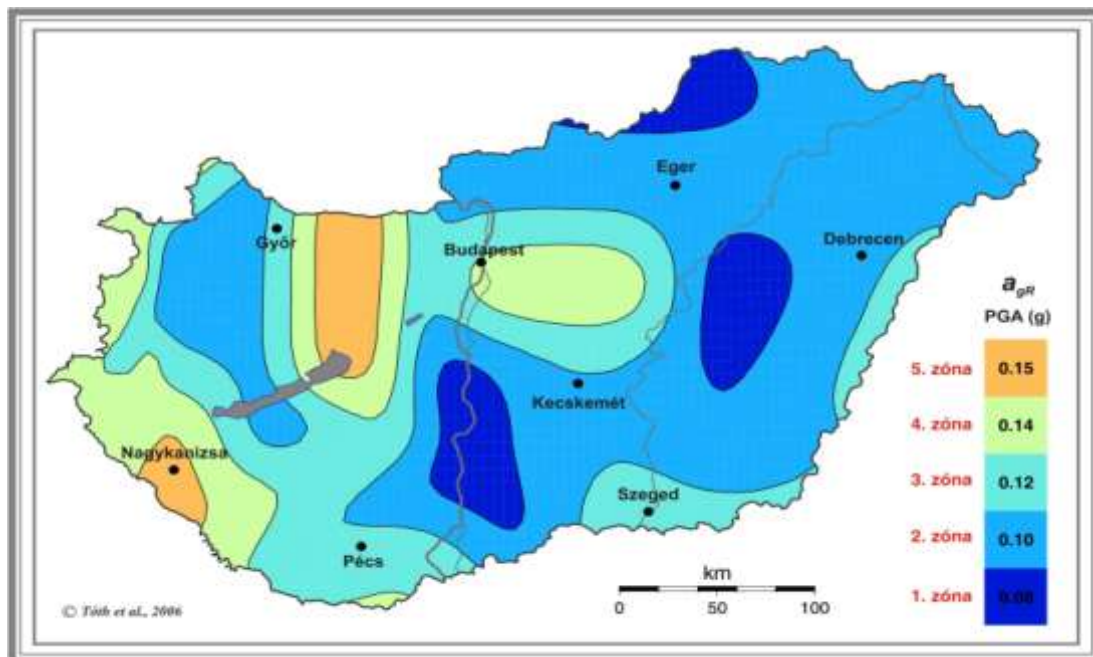
Magyarország földrengés veszélyeztetettsége nem indokolja a jelenlegi építészeti irányzatok gyökeres megváltoztatását, azonban a pusztítás várhatóan nagy mértéke miatt jelentős kockázattal kell így is számolni, ami egyértelműen szükségessé teszi a régi épületeink földrengésbiztonsági szempontból való felülvizsgálatát, illetve korszerűsítését a kritikus infrastruktúrákkal egyetemben.

Felhasznált Irodalom

- [1] Földrengés hatása épületekre, HUN-Reng Magyarország Földrengés Információs Rendszere
http://www.foldrenges.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=20:foeldrengesek-hatas-a-epueletekre&catid=1:altalanos-fogalmak&Itemid=23
Letöltés: 2012.08.12.
- [2] Augusto F. Villalon: Are heritage buildings earthquake-proof? Philippine Daily Inquirer, 2011.03.28.
<http://lifestyle.inquirer.net/artsandbooks/artsandbooks/view/20110328-327971/Are-heritage--buildings--earthquake-proof> Letöltés: 2012.08.12.
- [3] Miből építkeznek a Japánok? Mitől földrengésbiztos egy ház? Készház portál, 2011.03.13. <http://kp.hu/mibol-epitkeznek-a-japanok-mitol-foldrengesbiztos-egy-haz/>
Letöltés: 2012.08.12.

- [4] Acélszerkezetes készházak, Samarasbau építéstechnológia
<http://samarasbau.hu/acelszerkezetes-keszhazak/> Letöltés: 2012.08.12.
- [5] Earthquake Resistant steel structures, ArcelorMittal
http://www.arcelormittal.com/sections/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/Earthquake/Earthquake_EN.pdf Letöltés: 2012.08.12.
- [6] Várhelyi Judit: Tokióban a helyzet - Építészet és természeti katasztrófák, Építészfórum, 2011.08.19. <http://epiteszforum.hu/node/19412> Letöltés: 2012.08.12.
- [7] Magyar találmány óvta meg a nagyobb tragédiától Japánt, hirado.hu, 2011.03.20.
http://www.hirado.hu/Hirek/2011/03/20/19/Magyar_talalmany_ovta_meg_a_nagyobb_t_ragediatol_Japant.aspx Letöltés: 2012.08.12.
- [8] Eurocode 8 - Földrengés, Eurocodes Expert
<http://www.eurocodes.co.uk/EurocodeDetail.aspx?Eurocode=8> Letöltés: 2012.08.12.
- [9] Tornai László (KÉSZ Zrt) előadása: A földrengésről mérnök szemmel, méretezés földrengésre, Budapest, 2011.12.16.
<http://www.csmi-mernoki-kamara.hu/files/2011.12.16.%20-%20M%C3%A9retez%C3%A9s%20f%C3%B6ldreng%C3%A9sre.pdf>
 Letöltés: 2012.08.12.
- [10] Magyar Larousse Enciklopédia III. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1994 ISBN: 963-05-6748-2, a Richter-skála kifejezésre (478. o.)
- [11] Földrengések Magyarországon és az épületek földrengés-biztonsága, Készház portál, 2011.01.29.
<http://kp.hu/foldrengesek-magyarorszagon-es-az-epuletek-fodrengesbiztonsaga/>
 Letöltés: 2012.08.12.

Mellékletek



I. melléklet. Magyarország szeizmikus zónatérképe Forrás:

<http://www.foldrenges.hu/images/stories/cikkek/images/TLfoldrengeskockazat4.jpg>

Talaj típus	A rétegsor leírása	Jellemző paraméterek		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (ütés/30cm)	c_u (kPa)
A	kőzet vagy kőzetszerű geológiai formáció, beleértve legfeljebb 5 m gyengébb anyagot a felszínen	> 800	-	-
B	konzolidált, nagyon szilárd homok, kavics vagy agyag rétegek legalább több tíz méter vastagságban; a szilárdsági tulajdonságok a mélységgel fokozatosan javulnak	360 – 800	> 50	> 250
C	szilárd és közepesen szilárd homokos, kavicsos, agyagos rétegek, melyek vastagsága tíz métertől több száz méterig terjed	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	laza, közepes tartóképeségű talaj rétegek	< 180	< 15	< 70
E	Olyan talaj profil, ahol a felső 5-20 méteren a v_s sebesség a C vagy a D talaj típusnak megfelelő, alatta pedig szilárdabb ($v_s > 800$ m/s) anyag található			
S ₁	A felső rétegek között egy legalább 10 m vastag puha, képlékeny (PI>40), nagy víztartalmú agyag réteg található	< 100	-	10 – 20
S ₂	Talajfolyósodásra hajlamos réteg(ek) fordulnak elő; minden olyan profil, mely nem sorolható az A-E vagy S ₁ kategóriák valamelyikébe			

2. melléklet. A talajviszonyok osztályozása

Forrás: az MSZ EN 1998-1/ EUROCODE 8 szabvány 3.1. táblázata