

## FÖLDRENGÉSI SZABVÁNYOK FEJLŐDÉSE ÉS ALKALMAZÁSA ERDÉLYBEN

### THE EVOLUTION AND PRACTICE OF SEISMIC CODES IN TRANSYLVANIA

Gobesz F. Zsongor<sup>1</sup>, Kegyes Csaba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, Románia, 400020 Cluj-Napoca, C. Daicoviciu u. 15, V. épület, III/305; Telefon / Fax: +40-264-401351, levelezési cím: [go@mecon.utcluj.ro](mailto:go@mecon.utcluj.ro)

<sup>2</sup>PIUS Építészeti, Mérnöki és Számítástechnikai Kft, Magyarország, 9024 Győr, Hunyadi u. 18; Telefon / Fax: +36-96-411568, levelezési cím: [kcs1@pius.hu](mailto:kcs1@pius.hu)

#### Abstract

In terms of seismic safety, the knowledge of the given field's seismicity is a fundamental issue. The earthquakes in the Carpathian Basin are known since 463, Transylvania is a part of this region. At the end of 1800's the researchers have discovered that in those places where an earthquake happened, the occurrence of another similar or stronger quake is very likely. The evolution of the seismic design codes during time is mainly determined by the technical-economic development. Knowing the history of standards and their application, the current requirements of seismic safety regulations and concepts can be understood and implemented in a better way.

**Keywords:** *seism, code, evolution, practice, Transylvania.*

#### Összefoglalás

A földrengés elleni védekezésben alapvető kérdés az adott terület szeizmicitásának ismerete. A Kárpát-medence földrengései 463-tól ismertek, Erdély egy része ennek a területnek. Az 1800-as évek végén a kutatók felismerték, hogy ahol egy földrengés volt, ott valószínű legalább olyan erősségű földrengés bekövetkezése. Az esztendő folyamán a földrengésméretezési szabványok alakulását főleg a műszaki-gazdasági fejlődés határozta meg. Ismerve a földrengési szabványok és alkalmazásaik történetét, jobban meg lehet érteni a jelenlegi fogalmakat és az érvényes előírások követelményeit, és hatékonyabban lehet őket alkalmazni.

**Kulcsszavak:** *földrengés, szabvány, fejlődés, alkalmazás, Erdély.*

#### 1. Bevezetés

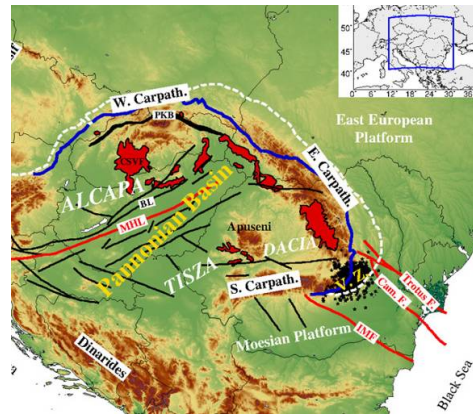
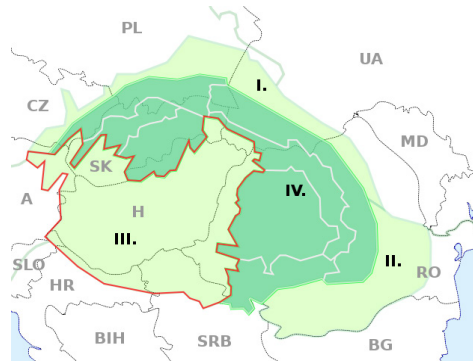
Erdély földrengés-veszélyeztetettsége szorosan összefügg a Kárpát-medence szeizmicitásával (**1. ábra**). A Kárpát-medence (helyenként Pannon-medencének is nevezik, bár ez utóbbi tulajdonképpen egy alegység) geológiailag a néhai Tethys óceán egyik üledékgyűjtő medencéje, melyből az alpi orogén fázis során kiemel-

kedtek a Kárpátok. Nyugatra a DK-Alpok, délre a Dinári-hegység, északra és keletre a Kárpátok hajlatai határolják. A medence-aljzat sávós, parkettaszerű szerkezete több lemezdarabból áll össze, melyek részben összeforrtak, és már inaktívak. Felépítésében elsősorban fiatalabb (neogén és kvarter) medenceüledékek vesznek részt, amelyekből mintegy szigetként állnak ki a túlnyomóan mezozós kőzetekből és neogén

vulkanitokból álló hegységek. A földtörténeti előzmény egyfelől a domborzati sajátosságok kialakulásáért felelős, másfelől viszont meghatározza azt a gazdag nyersanyagbázist, amellyel a Kárpát-medence rendelkezik. A só mellett jelentős érctelepek alakultak ki. Első ütemben a Belgrád–Temesvár–Kolozsvár vonalban, azután Pécs–Debrecen illetve Zagráb–Miskolc sávban, majd a színorogén fázis ugyanezt a mozgás irányt követte Belgrád–Nagyvárad és Balaton–Darnó vonalban. Ezek a jura – alsó kréta idejére tehető, összefüggésben a Tethys felnyílásával, a húzóerők és a tértágulás okozta árkos beszakadások és térszín-süllyedés miatt. A korábbi, triász vulkanizmust a diabáz, gabbró és kvarcporfir előfordulása jelzi.

A kárpáti vulkáni ív tagjai nyugatról kelet felé egyre fiatalodnak, nagyjából hasonlóan a forrópontos vulkanizmushoz. Nem a lemez forrópont feletti mozgása okozta, hanem a felszakadó törésvonalak aktivitásának eltolódása. Ezt a vulkanizmus jellege igazolja: nem híg bazaltos, kiömléses tevékenység folyik, amely pajzsvulkánokat hoz létre, hanem andezites összetételű, robbanásos kitörést produkáló. A Keleti-Kárpátokban a mai napig megfigyelhetők egyes vulkáni utóműködések, gáz- és gőzkifúvások, illetve szénasavas borvízfeltörések. A középhegységi területeken pedig sok helyen magas a geotermikus energia szintje, amely hévizes feltörésekkel jár együtt. A pliocénben a Paratethyst szegélyező „frissen” kiemelkedett hegyvidék szolgáltatotta a Dés–Brassó, Eperjes–Radna vonalakon, valamint a Felvidék nagy részén található nemesfémbányák készleteit létrehozó vulkanizmust.

A földrengések általában a törésvonalak, azaz a nagyobb lemezhatárok mentén robbannak ki. A Kárpát-medence szeizmicitása mérsékeltnek tekinthető a széleihez képest, az Erdélyre jellemző földrengések pedig sekély és közepes fészekmélységből (15–200 km) törnek fel.



1. ábra. Felső: a Kárpát-medence (I. – Kárpátalja, II. – Román alföld, III. – Pannón-medence, IV. – Kárpátok beltere) [4]. Alsó: a Kárpát-medence felszíni szerkezete (pirossal a vulkánitos réteg, MHL – a közép-magyar vonal, IMF – az bel-moéziai törésvonal, Cam.F. – Camena törés, V.Z. - Vrāncsa) [11].

## 2. Történelmi áttekintés

Az európai földrengések mérését már az ókori görögök is megkísérelték. Az egyik legrégebbi skálát Jacopo Gastaldi piemonti térképrajzoló dolgozta ki az 1594-es Nizza környéki földrengéskor [12]. Eleinte négy fokozatot jeleztek, de a XIX. században már tíz fokozatú skálát használtak. A Mercalli-féle 10 fokú skálát Cancani 1904-ben 12 fokúra bővítette, figyelembe véve a talajmozgást (gyorsulást) is az intenzitás mel-

lett. Sieberg ezt tökéletesítette az épületekre mért hatások osztályozásával, és így lett 1917-ben nemzetközi mérceként elfogadva.

A Kárpát-medencében a földregések összeírása tulajdonképp Grossinger János komáromi jezsuita 1783-ban megjelent munkájával kezdődött. Őt követte Kitaibel Pál és Tomtsányi Ádám 1814-ben megjelent munkája az 1810-es móri földregésről (az első izoszeiszta térképpel), majd 1858-ban Kornhuber, Schmidt és Hunfalvy, illetve 1869-be Jeitteles dolgozatai a zsolnai földregésről. Az 1880-as erdélyi földregésről Koch és Schuster készített tanulmányt 1881-ben, míg a szintén az évi zágrábi földregést Hantken, Torbar (1882) és Wahner (1883) értékelték tanulmányaikban. Edward Suess 1897-ben jelentette meg monográfiáját az 1895-ös ljubljanai földregésről.

Egy terület szeizmicitásának, földregés-veszélyességének vizsgálata a múltban keletkezett földregések számbevételét jelenti. A Kárpát-medence környezetében a történelem során változó határokkal elhelyezkedő országok közül Magyarország az az állam, mely a történelmi földregések legteljesebb Kárpát-medencei adatbázisát elsőként kiépíti. A Magyarhoni Földtani Társulat 1881-ben létrehozta a Földregési Bizottságot, melynek kiemelkedő tagjai Kövesligethy Radó és Schafarzik Ferenc hozzájárultak, hogy 1914-ig Magyarország kiépítette azt az állomáshálózatot, mellyel a szeizmológiai kutatás élvonalába tartozott. Ezek az állomások: Budapest, Kolozsvár, Temesvár, Szeged, Belgrád, Pécs, Zágráb, Fiume, Kalocsa, Kecskemét, Ógyalla, Ungvár helységekből felállított mérőműszerekből álltak.

Az erdélyi földregések adatai több katalógusban is szerepelnek. A négy legismertebb magyar földregés-katalógus (Réthly, 1952; Csomor és Kiss, 1962; Zsíros, Mónus és Tóth, 1988; Zsíros, 2000) közül a Zsíros Tiboré a legjelentősebb, mert 20 478 bejegyzést tartalmaz a 455–1995-ös évek idő-

szakából szinte a teljes Kárpát-medencére. E 20 478 földregés közül 3751-nek ismert a fészekmélysége, melynek a meghatározását a Kövesligethy-féle képlet adja:

$$I_0 - I_k = 3 \cdot \log(D_k / h) + 3 \cdot \alpha \cdot \log(e) \cdot (D_k - h) \quad (1)$$

$$D_k^2 = R_k^2 + h^2 \quad (2)$$

A fenti képletekben  $I_0$  az epicentrális intenzitás,  $I_k$  az intenzitás értéke a  $D_k$  hipocentrális távolságban,  $R_k$  az izoszeiszta sugárértéke,  $h$  a fészekmélység és  $\alpha$  az abszorpciós együttható. A magnitúdó érték a rengések olyan méret szerinti osztályozása, mely a földregéshullámok műszeres regisztrátumai alapján történik. A Kárpát-medencében, így Erdélyben is, az Ambraseys által felállított gyorsulás-gyengülési modellt használták az adott helyen a számításba vehető gyorsulás becslésére:

$$\log(a_h) = -1,39 + 0,266 \cdot M_S - 0,922 \log(D) \quad (3)$$

$M_S$  a felületi, főleg Rayleigh-hullámból meghatározott magnitúdó;  $M_B$  a kompressziós (primer) térhullámból meghatározott magnitúdó;  $M_L$  a kéreg-, azaz Love-hullámból meghatározott (úgynevezett Richter) magnitúdó;  $M_D$  pedig a szeizmogramon mért időtartamból becsült magnitúdó. Ezek között a következő összefüggések léteznek [13]:

$$M_S = 0,97(\pm 0,05)M_B + 0,04(\pm 0,24) \quad (4)$$

$$M_S = 0,86(\pm 0,06)M_L + 0,57(\pm 0,27) \quad (5)$$

$$M_S = 1,21(\pm 0,11)M_D - 1,23(\pm 0,52) \quad (6)$$

$$M_B = 0,59(\pm 0,05)M_L + 1,75(\pm 0,22) \quad (7)$$

$$M_B = 0,90(\pm 0,08)M_D + 0,20(\pm 0,32) \quad (8)$$

$$M_L = 1,14(\pm 0,02)M_D - 0,69(\pm 0,06) \quad (9)$$

Az  $M$  átlagos műszeres magnitúdó a felszabadult energiát jellemzi, és függ az  $I_0$  epicentrális intenzitástól, valamint a  $h$  fészkmélységtől:

$$M = a \cdot I_0 + b \cdot \log(h) + c. \quad (10)$$

Amennyiben a Kárpát-medencét a 44.0N–50.0N és 13.0E–28.0E földrajzi koordináták közé eső területként értjük, akkor elfogadott az alábbi:

$$M = 0,68(\pm 0,02) \cdot I_0 + 0,96(\pm 0,07) \cdot \log(h) - 0,90(\pm 0,10). \quad (11)$$

Háromszék–Vráncafsóldtet a 44.5N–46.5N és 25.5E–28.0E földrajzi koordináták közötti területre vetítve, a magnitúdó értéke:

$$M = 0,52(\pm 0,02) \cdot I_0 + 0,55(\pm 0,11) \cdot \log(h) + 1,18(\pm 0,20). \quad (12)$$

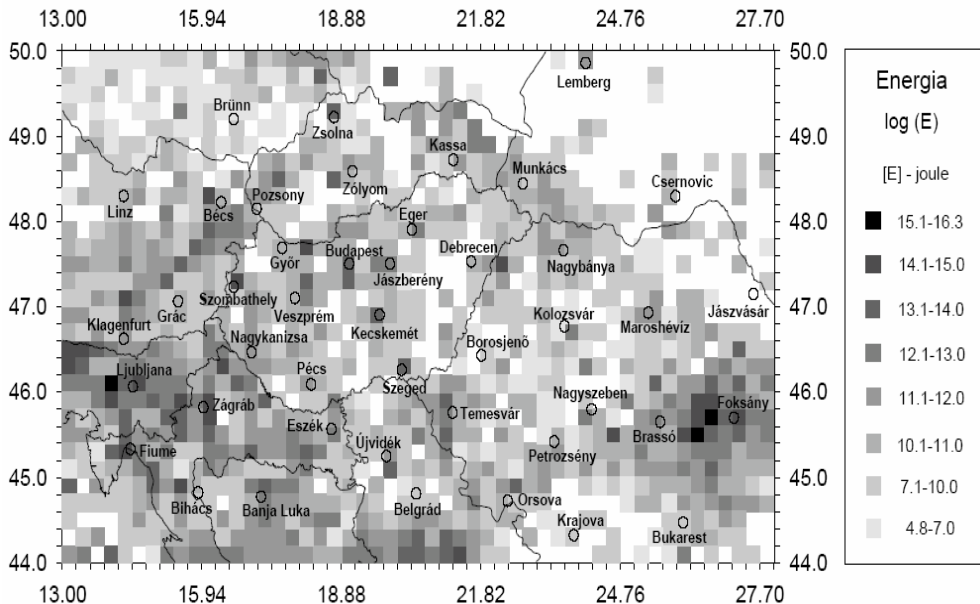
Egy térségben a várható földregések száma egyenes arányban van a magnitúdó értékükkel (Gutenberg–Richter-összefüggés):

$$\log N = a + b \cdot M. \quad (13)$$

A földregések által felszabadult rugalmas energia becslését a Gutenberg–Richter-összefüggéssel lehet elvégezni, ahol az  $E$ -vel jelölt energia Joule-ban értendő:

$$\log(E) = 1,5 \cdot M + 4,8. \quad (14)$$

A Kárpát-medence földregés-veszélyességét a Cornell (1968) által kidolgozott módszerrel határozták meg, mely figyelembe veszi a várható földregések forrásterületeit, a tapasztalt gyakoriságot, a veszélyeztetettségi paramétereket (csúcs-gyorsulás, földregés-intenzitás) és azok távolság-szerinti gyengülését, illetve az ismert forrásterületeken az adott gyakorisággal keletkező földregések hatásának számítását az adott gyengülés figyelembevételével.



2. ábra. A földregések által felszabadult energia területi eloszlása a Kárpát-medencében [13]

**1. táblázat.** Válogatás az 1100–1995 között észlelt legnagyobb magnitúdójú erdélyi földrengésekből [13].

Dátum	Epicentrum koord.	$M$	$I_0$	Helység
1196.02.13	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1230.05.10	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1327	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1446.10.10	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1471.08.29	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1516.11.24	45,70N; 26,60E	6,9	9,0	Háromszéki-havasok
1545.07.19	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1569.08.17	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1590.08.10	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Háromszéki-havasok
1595.04.21	45,60N; 26,00E	6,4	8,0	Barcaság
1604.05.03	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1605.12.24	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1606.01.13	45,70N; 26,60E	6,2	7,5	Háromszéki-havasok
1620.11.08	45,80N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1701.06.12	45,70N; 26,60E	6,2	7,5	Vrâncsaföld
1738.06.11	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1790.04.06	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1793.12.08	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1802.10.26	45,70N; 26,60E	7,2	9,5	Háromszéki-havasok
1829.11.26	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1838.01.23	45,70N; 26,60E	6,9	9,0	Háromszéki-havasok
1868.11.13	45,70N; 26,60E	6,2	7,5	Háromszéki-havasok
1903.09.13	45,12N; 26,54E	6,0	6,5	Háromszéki-havasok
1908.10.06	45,50N; 26,50E	6,8	8,0	Háromszéki-havasok
1929.11.01	45,90N; 26,50E	6,2	6,5	Háromszék
1934.03.29	45,80N; 26,50E	6,6	8,0	Vrâncsaföld
1940.10.22	45,76N; 26,42E	6,2	7,0	Háromszék
1940.11.10	45,77N; 26,73E	7,3	9,0	Vrâncsaföld
1945.09.07	45,90N; 26,50E	6,5	7,5	Vrâncsaföld
1945.12.09	45,70N; 26,80E	6,1	7,0	Vrâncsaföld
1977.03.04	45,77N; 26,76E	7,2	9,0	Vrâncsaföld *
1986.08.30	45,54N; 26,31E	6,9	8,0	Háromszéki-havasok
1990.05.30	45,85N; 26,66E	6,6	8,0	Háromszéki-havasok
1990.05.31	45,81N; 26,77E	6,1	–	Vrâncsaföld

\* Jelentős károkat okozott Bukarestben.

### 3. A méretezési előírások fejlődése

A földrengések kutatásaival gyakran egy időben készítették el azokat a méretezési módszereket, melyek gyűjtőnéven konvencionális statikus eljárások címen szere-

pelnek. Az 1800-as évek végén minden kutató felismerte, hogy ahol volt földrengés, ott valószínű majd legalább olyan erősségű földrengés bekövetkezése. Simon [9] idézi Sieberg számítását is, annak a kutatónak eljárását, akinek nevéhez nemcsak az intenzitás skála kapcsolható (Mercalli-

Cancani–Sieberg-féle intenzitási skála), hanem az első rázóasztal is. Ezen a rázóasztalon felépített falazott szerkezet modellje bizonyította elképzeléseinek helyességét, miszerint „a négyzetes oszlop alakú test eltörik”, ha az  $a_1$  gyorsulás:

$$a_1 = \frac{J \cdot g \cdot Z}{b \cdot h \cdot G \cdot P} \quad (15)$$

$J$  a tehetetlenségi momentum,  $g$  a nehézségi gyorsulás,  $Z$  a húzószilárdság,  $b$  az eltört felület oldalhosszának a fele,  $h$  a letört rész súlypontjának a magassága a törési felület felett,  $G$  a test térfogategységének súlya,  $P$  pedig a letört rész térfogata. A szeizmikus terhet úgy számították, hogy az épület függőleges tengelye egyenes marad, függetlenül a rezgésektől és a merevségtől. Az épület súlyát egyenletesen megoszlnak tekintették, akár csak a gyorsulást:

$$H_i(S_i) = \frac{Q_i}{g} \cdot a_i = c \cdot Q_i \quad (16)$$

Kétféle tehetetlenségi erőt különböztettek meg ( $S = k \cdot P$ , ahol,  $k$  a szeizmikus tényező,  $P$  a súlyterhelés): hosszú periódusú rezgések, illetve rövid periódusú rezgések szeizmikus tehetetlenségi erőit. A hosszú periódusú rezgések tehetetlenségi erőit az épületek és létesítmények egészének és részeinek (épületvázak, falak, oszlopok, tornyok, gyárkémények, világítótornyok, támfalak) szilárdsági és állékonysági számításai során vették figyelembe (épület elemeinek önsúlya, földemekre háruló terhelés, daruk önsúlya, hóterhelés stb.). A rövid periódusú rezgések szeizmikus tehetlenségi erőit csak a merev lehorgonyzások (oszlopok, rácsostartók, gerendák lehorgonyzásánál) nyírásra történő számításakor vették figyelembe. A más erőkkel való terhelésekkel együtt fellépő szeizmikus erők a különleges behatásokhoz tartoztak, ezért a szeizmikus erőkre való számításakor a legkisebb biztonsági tényezőt vették figyelembe.

A számítások a földrengés intenzitásához voltak kötve.

A dinamikus méretezési elmélet később jelent meg, ez a szemlélet figyelembe veszi a talajmozgást (gyorsulás, frekvencia), az altalaj minőségét, a szerkezet dinamikus választát (merevség, szilárdság, csillapítás, duktilitás). A talajgyorsulás nagyságát az intenzitásokhoz kötötték (ma az Európai Makroszeizmikus Skála érvényes, melyet összehangoltak az EC8-cal). A talajmozgást a szeizmogram írja le, amely a talaj-elmozdulást ábrázolja az idő függvényében:  $1gal = 1 \text{ cm/s}^2$ . A szeizmogram általában szabálytalan diagram, bár van bizonyos periodicitása. Bármelyik földrengés út-, sebesség- és gyorsulási diagramját vizsgáljuk, mindig meghatározható egy periódusidő. A földrengés bekövetkezési valószínűsége, magnitúdója, intenzitása mind a geológiai adottságoktól függ. A méretezéshez szükséges gyorsulást a szeizmológiai kutatások által összeállított valószínűségi térképek adják. Az altalaj minőségi hatását befolyásolja a felső laza rétegek által jelentkező szűrőhatás, mely a saját frekvenciatartományt növeli, az ettől távol lévőt csökkenti. Ismert, hogy a felső néhány tíz méteres talaj a felszínen kialakuló gyorsulásokat jelentősen módosítja. A helyi hatás figyelembevételéhez szükséges a laza rétegek transzverzális sebességének függvényében az úgy nevezett helyi módosító tényező meghatározása. Ez lebontható településekre vagy nagyobb területre, mikro- és makrozónákra.

Az építménynek a földrengés következtében fellépő mozgását, a szerkezet választát döntő módon befolyásolja a saját frekvenciája és a csillapítás. Egy szerkezet sajátfrekvenciája függ a tömegeloszlástól és a merevségi tulajdonságoktól. A több szabadságfokú rendszer esetében mindegyik saját rezgés alak más-más kritikus csillapításának a hatékonysága is függ a sajátrezgés alakjától. Az épületek méretezése azon az elven alapszik, hogy feltételezték, hogy a szerke-

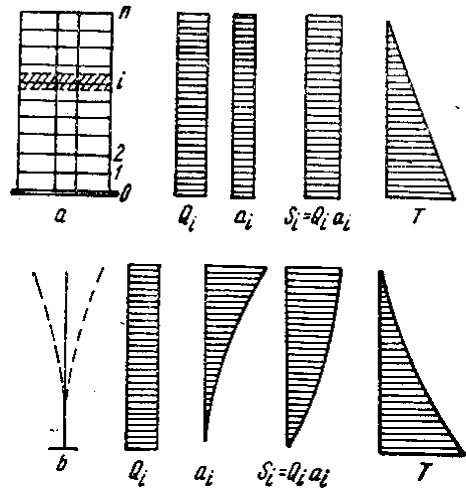
zet rugalmasan viselkedik, a sajátrezgések ortogonálisak, így a rengésnek az egyes sajátrezgés-alakokra gyakorolt hatását külön-külön, egymástól függetlenül vizsgálhatták. A földrengés az épületet, építményt alsó részének a talajjal érintkező felületén gerjeszti. A dinamikus elmélet fejlődése és az El Centro-i földrengés feldolgozása lehetőséget adott egyszerűsített számításához. A szerkezet maximális gyorsulása függ a szerkezet sajátrezgésének periódusidejétől, a maximális talajgyorsulástól, a szerkezeti csillapítástól, duktilitásától és az altalaj tulajdonságától. A szeizmogramra különböző válaszokat jelentő görbesereget burkoló görbe (az úgynevezett  $\beta = a_{\max}^{\text{szerk}} / a_{\max}^{\text{talaj}}$  görbe), mely a számítások egyszerűsítéséhez vezetett elősegítette, hogy a kapott maximális szerkezetgyorsulásból meghatározható legyen az egyes tömegpontok gyorsulása, az  $i$  sajátrezgés-alak szerint:

$$\eta_{ik} = \frac{x_{ik} \cdot \sum_{k=1}^n Q_k \cdot x_{ik}}{\sum_{k=1}^n Q_k \cdot x_{ik}^2} \quad (17)$$

Ez az eljárás a modális analízis, azaz minden rezgésmódra meghatározható a sajátvektor alakja. A kezdeti statikus elméletet felváltó dinamikus szemléletből, vagyis az alakváltozási formát figyelembe vevő megoldásokból születtek azok a szabványok, melyek az 1970-es éveket jelentik.

A fellelhető források szerint úgy tűnik, hogy az 1940. november 10. -i nagy földrengésig Romániában nem volt hivatalos méretezési előírás. Addig inkább olasz, német, angol vagy francia előírások alapján méreteztek szeizmikus hatásokra, főleg statikus számításokat végezve. Az első, az 1941-ben megjelent (Közmunkák és Távközlési Minisztérium által kiadott) 84351/1941.12.30 jelölésű határozat volt „Ideiglenes előírás a földrengés okozta károsodás megelőzésére és a károsodott épü-

letek visszaállítására” címmel. Ezt követte az „Útmutató földrengések okozta károk megelőzésére” (Közmunkák és Távközlési Minisztérium 60173/1945.05.19 számú előírása, melyet a Legfelső Műszaki Tanács is jóváhagyott) című anyag. Érdekes és említésre méltó, hogy 1958-ban elkészült egy szabvány (STAS 2923-58), ami nem került jogerőre, és így alkalmazva sem volt. Ez a szabvány jóval bővebb volt, mint a későbbi P.13-as hivatalos előírás. Időközben ismert volt az amerikai (Californian Code) és a szovjet előírás (SN 8-50) is.



3. ábra. Egyenletes tömegeloszlás és gyorsulás a P.13 előtt (a) és a P.13-63-ban szeplő módosítás (b)

A P.13-63 1963. július 18. -án lett közzétéve. Ez volt az első „dinamikus” számításra vonatkozó hivatalos előírás melyben figyelembe vették a zóna szeizmikus fokát és az épület fontosságát is. A szeizmikus erők várható nagyságát az intenzitásokhoz kötötték (ezt a STAS 3684-63 előírás tartalmazta) és az ország térképén feltüntették a 7., 8. és 9. intenzitású területet. A számításba vett szeizmikus erő a következőképp volt számítható (ismerve a  $K_s$  együtthatót, ami a szeizmikus övezet függvénye, a  $\beta$

dinamikai jellemzőjét a szerkezetnek, ami a  $T$  sajátrezgési periódustól és az alapozási rétegtől függ, meg a  $\psi$  csillapítási együtt-

$$\text{hatót): } S = c \cdot Q = K_S \cdot \beta \cdot \varepsilon \cdot \psi \cdot Q = \sum_i^n S_k,$$

$$\text{ahol } c = K_S \cdot \beta \cdot \varepsilon \cdot \psi \quad (18)$$

Az ekvivalenciát jelentő (a több szabadságfokú épületszerkezet megfelelősége az egy szabadságfokúval)  $\varepsilon$  együtttható az alábbi képlettel volt számítható (a gravitációs terhek számításánál figyelembe kellett venni a terhelési tényezőt is, mely táblázatban volt megadva):

$$\varepsilon = \frac{\left[ \sum_1^n Q_k \cdot u_k \right]^2}{\left[ \sum_1^c Q_k \right] \cdot \left[ \sum_1^n Q_k \cdot u_k^2 \right]} \quad (19)$$

A földrengésből ébredő vízszintesen működő alapnyíróerőt a tömegekkel arányosan kellett szétosztani. Az egyszerűsített számításnál szükséges kezdeti feltétel az volt, hogy a (18)-as képletben szereplő  $c$  globális szeizmikus együtttható értéke ne legyen 0,02 alatt. A szerkezet főbb tehervisselő elemeinek ellenőrzése a földrengésből ébredő függőleges erőkre szintén elő volt írva, ehhez a szabvány százalékos növekményeket adott. A nem szerkezeti elemeket is ellenőrizni kellett földrengési hatásokra, növekménnyel meghatározott saját súlyt véve figyelembe.

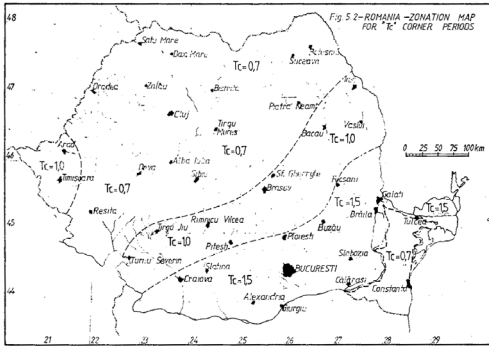
Hat év után került sor az előírás módosítására, P.13-70 jelöléssel. Ebben, a legfontosabb a  $K_S$  intenzitás függvényű együtttható és a  $\beta$  dinamikai jellemzők változása volt, bevezetve egy új (az alapozási réteget jellemző) együttthatót is az intenzitászónák gyarapítása mellett. Az  $\varepsilon$  ekvivalencia együttthatónál figyelembe lehetett venni a magasabb rezgésformákat, de az első rezgésmódnál szintén be kellett tartani a 0,02-es határértéket a  $c$  globális együttthatónál.

Magas, hajlékony szerkezetek (önálló képmények, toronyszerű építmények) esetében legalább három rezgésformát kellett figyelembe venni. Az előírás egyik legfontosabbnak bizonyult része az volt, amelyik a szomszédos építmények közötti hézag számítását írta elő (hogy földrengés hatására keletkező kilengések folyamán ne ütközzenek). Az 1977. március 4. -i földrengés tanulságai új szemlélethez és új előírásokhoz vezettek. Az 1940. novemberi és 1977. márciusi földrengések tanulmányozása vezetett az újabb szeizmikus zónák körülhatárolásához Romániában (izo-szeiszta térkép a STAS 1 1100/1-77 szabványban), ezek a tapasztalatok a későbbi előírásokban is hasznosítva lettek.

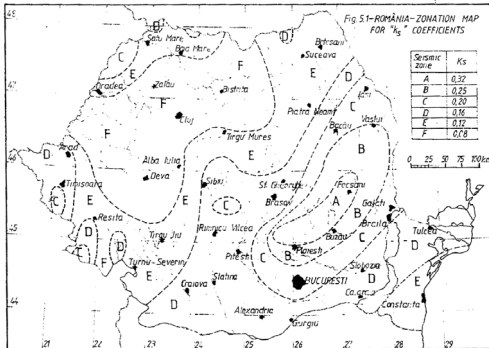
A P.100 bevezetésével 1978-ban (P.100-78) sok minden megváltozott. Igaz, hogy a fontossági osztálybesorolás nem változott, ellenben új intenzitási zónákat és ezeknek megfelelő együttthatókat iktatott be, változtatva a rezgésmódokon is. A szomszédos épületek közötti hézag számítása is figyelembe vette a magasabb rezgésmódokat. Az emeleti alakváltozás (relatív kihajlás) korlátozását a szintmagasság 1/200-ad, illetve 1/150-ed részében állapították meg. A P.100-81 lényegileg csupán a 6. zónának megfelelő  $k_s$  tényezőt módosította a P.100-78-hoz képest. Kilenc év után jelent meg egy modernbb P.100 (P.100-90), melyben a földrengések átlagos visszatérési intervallumát (románul IMR) 50 évre vették.

A P.100-90 és a P.100-92 alig különbözött egymástól, mindkettőben két térkép volt: az egyik a  $T_c$  (0,7s 1,5s és 1,5s) sarokperiódusok segítségével a helyi hatásokat vitte be a számításokba, a másik pedig az új (A, B, C, D, E, F) védettségi zónákra előírt  $K_s$  szeizmikus intenzitási együttthatót (0,32 az A zónában; 0,25 a B; 0,20 a C; 0,16 a D; 0,12 az E és 0,08 az F zónában) – **4.b. ábra.**



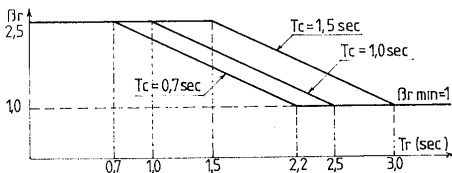


a.

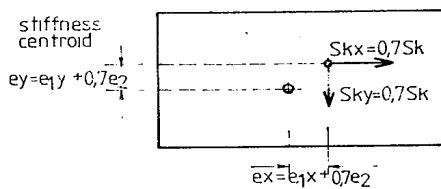


b.

4. ábra. A P.100-90-ben megjelent új térképek (a. A jellemző  $T_c$  sarokperiódusok; b. A védettségi zónákhoz tartozó  $K_s$  együtthatók) [7].



a.



b.

5. ábra. A P.100-90-ben megjelent  $\beta$  görbe (a), valamint a járulékos külpontosság figyelembevétele (b) [7].

A  $\beta$  dinamikus tényező is át lett alakítva, a görbe alakja is megváltozott (5.a. ábra). A rezgésmódnak megfelelő  $\varepsilon_i$  alakú tényezőt a tömeg és a lengésforma függvényében kellett számítani. A merevségi és tömegközponatok eltérése csavaró rezgéshez vezet, ha mindkét fő irányban egyidejűnek tekintik a külpontosságokat, akkor a földrengésből származó alap nyíróerőket csökkenteni lehet. A szerkezet torzulását okozó csavarónyomatékok járulékos külpontossággal növelt külpontosságból lehet meghatározni ( $M = S \cdot e$ , ahol  $e = e_1 \pm e_2$ ,  $e_1$  a merevségi és a tömegközponat közötti távolság,  $e_2$  pedig a járulékos külpontosság, 5.b. ábra). A csillapítási tényező is sokkal változatosabb lett, a szerkezet felépítésétől és összetételétől függően.

Az európai normák megjelenése után lett kiadva a P100-1/2004, majd a jelenlegi P100-1/2006 (a SR EN 1998-1:2004 alapján), mely eredetileg egy átmeneti szabályozásként volt tekintve az Eurocode 8-as 2010-ben bekövetkező kötelező alkalmazásáig. Érdekes, hogy, bár a talajosztályozás az EC8-nak megfelelő volt, az épületfontossági osztályok a régebbi P.100-as szerint maradtak. A sarokperiódus ellenőrzési periódus lett, és új makrozónás térképek lettek szerkesztve. A szeizmikus szerkezeti vizsgálat a várható legnagyobb talajgyorsulást vette alapul, nem a földrengés intenzitását. Ennek megfelelően két újabb térképet tartalmaz a P100-1/2006, egy  $a_g R$  referenciagyorsulási térképet (100 éves átlag visszatérési intervallumra), illetve egy periódusellenőrzési térképet (6. ábra). A szabvány háromféle  $\beta$  görbét ír elő a három védelmi zónára, illetve egy negyedik fajtát a Bánát környéki sekély fészekmélységű földrengési területekre (ezek a sátrózott részek az 6.a. ábrán). Ezek a dinamikus tényezők jellemzik a rugalmas válaszspektrum számítását:

$$S_e(T) = a_g \cdot \beta(T). \quad (20)$$

ahol a  $\beta(T)$  képlete a szerkezet kiszámolt periódusától függ, és ennek a  $T_B$ ,  $T_C$  és  $T_D$ -hez való viszonyulásától, így mindegyik  $\beta$  görbe négy részből áll. A talaj rugalmas elmozdulását a

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left[ \frac{T}{2 \cdot \pi} \right]^2 \quad (21)$$

képlettel számolják a rugalmas válaszspektrumból, a földrengés okozta függőleges rugalmas rezgések értékét pedig az ellenőrzési periódus értékek módosítják, miszerint  $T_{Bv} = 0,1 \cdot T_{Cv}$ , ahol a  $T_{Cv} = 0,45 \cdot T_C$ , illetve  $T_{Dv} = T_D$  [10]. A függőleges rugalmas válaszspektrum értéke ennek megfelelően:  $S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \beta_v(T)$  lesz és az  $a_{vg} = 0,7 \cdot a_g$  [10]. Az előbbieket értelmében lényegesen módosult a tervezési válaszspektrum is, amit az alábbi képletekkel lehet kiszámítani (ahol  $q$  a viselkedési együttható, ami főleg a szerkezet duktilitásától függ):

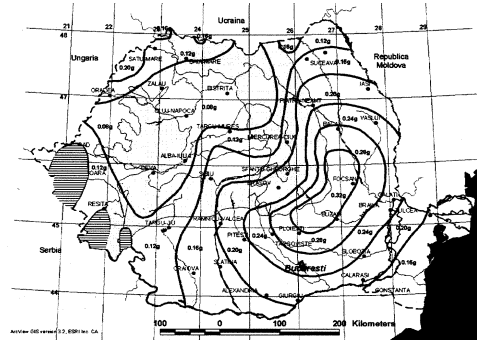
$$S_d(T) = a_g \cdot \left[ 1 + \frac{\frac{\beta_0}{T_B} - 1}{\frac{q}{T_B}} \cdot T \right],$$

amikor  $0 < T \leq T_B$  (22)

$$S_d(T) = a_g \cdot \frac{\beta(T)}{q}$$

amikor  $T > T_B$  . (23)

A P100-1/2006 szerint az épületek szeizmikus védelmét a tervezési, kivitelezési és hasznosítási előírások betartásával lehet és kell megoldani, és nem az egyedi helyzetekben jelentkező különös következményekből kiindulva. Így az EC8 bevezetésével és a nemzeti alkalmazási dokumentum (SR EN 1998-1/NA) elkészítésével nem szűnt meg a P100-1/2006 hatályossága, hanem továbbra is kötelező maradt a használata.



a)



b)

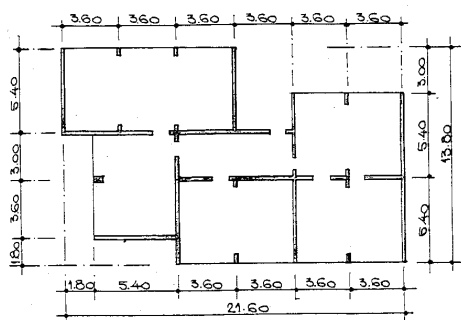
6. ábra. A P100-1/2006-ban megjelent  $a_g R$  (PGA) térkép (a), valamint az ellenőrzési periódus zónái (b).

2013. augusztus 8. -án lett jóvá hagyva a P100 legújabb változata (P100-1/2013), ami 2014. január elsejétől lesz hatályos [8]. Ez a szabvány még több újdonságot vezet be, a talajgyorsulásoknál figyelembe vett ÁVI (IMR) 225 évre lett emelve, a magas (DCH) és közepes (DCM) duktilitású osztályok mellé bevezeti az alacsonyt (DCL) is, előírva a kimondott helyi duktilitás ellenőrzését (elfordulászámítással) rudakként, illetve bevezet egy  $\Omega$  hajlékonysági tényezőt, ami (még) nem szerepel az európai EC8-as szabványban.

#### 4. Számítási példa és következtetések

A szabványfejlődés egyszerű szemléltetéséhez egy 1970-ben tervezett ötszintes lakóház szerkezetét választottuk, mely az 1977-es földrengést minden károsodás nélkül átvészelte. Az épület cellaszerkezetes, ahol a öntött vasbeton falak, pillérek és gerendák alkotják a szerkezetet. A terv szerint előre gyártott vasbeton födémelemeket használtak. Az alaprajz is mutatja, és a számítások is bizonyították, hogy az épületen csavaró hatást kelt a külpontosság miatt a földrengés. A kiszámolt önrezgési módok periódusai a **2. táblázat**ban vannak feltüntetve, mint látható, az  $X$  irányú periódusok a jelentősebbek. Elhelyezésként a Szemerja negyedét választottuk Sepsiszentgyörgyön. A különféle szabványok szerint számított globális szeizmikus együtthatók szintén a **2. táblázat**ban vannak feltüntetve a könnyebb összehasonlítást, a három lengésalak szerint.

Az újabb szabványok alkalmazásához már a talajgyorsulás referenciaértékét kell figyelembe venni. Az EC8 (SR EN 1998-1:2004) illetve a P100-1/2006 alkalmazása eltér a régebbi szabványok előírásaitól, ezért az ezek alkalmazásából kapott értékeket nem foglaltuk táblázatba.



7. ábra. A példaként számolt lakóház alaprajzának vázlatja.

A Sepsiszentgyörgynek megfelelő talajgyorsulás referenciaértéke  $0,20g$  a térkép szerint (ÁVI = 100 év). Erdélyre az  $a_{g(475\text{év})} / a_{g(100\text{év})} = 1,45$  érvényes, így a tényleges talajgyorsulás értéke  $2,8449 m/s^2$  lesz. Az  $X$  irányban számolt rugalmas válaszspektrum globális szeizmikus együtthatója az első három lengésalakra  $0,473$ ;  $0,184$ ; illetve  $0,102$  lesz, összesítve  $0,518$  (mivel  $\eta = 0,8165$ ). Ha ezeket az értékeket elosztjuk a  $q$  viselkedési tényezővel (ami DCM esetén  $3,00$  lesz), megkapjuk a tervezési válaszspektrum  $X$  irányban érvényes globális szeizmikus együtthatóit:  $0,193$ ;  $0,078$  és  $0,054$  az első három lengésalakra, összesítve pedig  $0,215$  lesz. A fenti értékek természetesen más olyan helységek esetében is érvényesek, ahol a talajgyorsulás referenciaértéke és az ellenőrzési periódus megegyezik a Sepsiszentgyörgyével ( $a_g R = 0,20g$  és  $Z_I: T_C = 0,7s$ ).

Könnyen észrevehető, hogy a globális szeizmikus együttható értéke (ami a földrengési terheléssel egyenesen arányos) csökkenő tendenciát mutatott a P.13-63-as szabványtól a P.100-78-as szabványig. Ez azt jelenti, hogy az illető periódusban a műszaki-gazdasági fejlődés a szerkezetek kisebb anyagbefektetését ítélte fontosabbnak (a pénzmegtakarítást helyezte előtérbe) a szeizmikus kockázattal szemben. Ezt a szemléletet felborította az 1977-es földrengés tanulsága, ezért mutatnak növekvő tendenciát a globális szeizmikus együttható értékei a P.100-78-as szabványtól napjaink felé. A túlzott kockázatvállalás tehát nem bizonyult gazdaságosnak. A jelenlegi P100-1/2006 alkalmazása is szigorúbb keretet teremt az EC8-hoz képest, és a soron következő P100-1/2013 még nagyobb szeizmikus biztonságot ígér.

2. táblázat. A lakóház önrezgési periódusai a főtengelyek szerint, valamint a régi szabványok szerint kiszámított globális szeizmikus együttható értékei

Lengésforma Tengely- irány $T [s]$	1			2			3		
	$X$	$Y$	$\theta$	$X$	$Y$	$\theta$	$X$	$Y$	$\theta$
Szabvány:	0,345	0,212	0,148	0,065	0,052	0,041	0,032	0,026	0,024
	A globális szeizmikus együtthatók értéke:								
P.13-63	0,0738			0,0144			0,0063		
P.13-70	0,054			0,0106			0,0046		
P.100-78	0,0736			0,0144			0,0063		
P.100-81	0,0775			0,0144			0,0063		
P.100-90	0,082			0,016			0,007		

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] ASRO: SR EN 1998-1:2006, Eurocod 8: *Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur. Partea 1: Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri*. Asociația de Standardizare din România, București, 2006.
- [2] CSEAL – MCInd: *Normativ pentru proiectarea antisismică a structurilor clădirilor de locuit și social-culturale*. P-13-63. București, 1963.
- [3] CSEAL – MCInd: *Normativ pentru proiectarea antisismică a structurilor clădirilor de locuit și social-culturale*. P-13-70. București, 1970.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pannonian\\_Basin.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pannonian_Basin.svg)
- [5] ICCPDC: *Normativ pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*. P-100-78. București, 1978.
- [6] ICCPDC: *Normativ pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*. P-100-81. București, 1981.
- [7] MLPAT: *Normativ pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*. P-100-90. București, 1990.
- [8] MDRAP: *ORDIN MDRAP nr. 2465/08.08.2013 privind aprobarea reglementării tehnice „Cod de proiectare seismică - Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri”*, indicativ P 100 - 1/2013. ([http://www.mdr.ro/userfiles/rt\\_OMDRAP%202465.pdf](http://www.mdr.ro/userfiles/rt_OMDRAP%202465.pdf)).
- [9] Simon B.: *Földregések*. Magyar Királyi Tudományos Társaság, Budapest, 1943.
- [10] UTCB: *Cod de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri, P100-1/2006*. Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2006.
- [11] Y. Ren et al.: *Upper mantle structures beneath the Carpathian–Pannonian region: Implications for the geodynamics of continental collision*. Earth and Planetary Science Letters 349-350, Elsevier B. V., 2012. 139–152.
- [12] Zsákai R.: *A cunami előrejelzése*. ABV Katasztrófavédelem, 67–77. ([http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2012/1/06\\_zsakairobert.pdf](http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2012/1/06_zsakairobert.pdf))
- [13] Zsíros T.: *A Kárpát-medence szeizmitása és földregésveszélyessége*. Magyar földregészkatalógus (456-1995). MTA GGKI, Budapest, 2000.