

**Nyugat-Magyarországi Egyetem**

Doktor (PhD) értekezés tézisei

**Földrengések helyi hatásának vizsgálatához szükséges  
paraméterek meghatározása geofizikai módszerekkel**

Tildy Péter

Sopron  
2016

**Doktori iskola:** Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola

**Program:** K2 Geo-környezettudományi program

**Témavezető:** Dr. Wesztergom Viktor egyetemi magántanár

## Előzmények

A dolgozat szerzője az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Mérnökgeofizikai Főosztályának munkatársaként a 2000-es évek elején kezdett foglalkozni a földrengések helyi hatásának térképezésével. A földrengéskárok és a helyi földtani felépítés kapcsolata régóta ismert, különösen a XX. század utolsó negyedében irányult egyre nagyobb figyelem a laza üledékekkel fedett területeken tapasztalható rengéskárok nagyságára (1985. Mexikóváros, 1994. Northridge, 1995. Kobe, 1999. Izmit, Taiwan). A jelenség magyarázata az ilyen típusú képződmények környezetüktől eltérő hullámvezetési tulajdonságában rejlik.

A helyi hatások becslésére számos analitikus és empirikus módszer létezik, amelyek többé-kevésbé hűen visszaadják a tapasztalt amplitúdó erősödéseket, vagy legalábbis a jellemző rezonanciafrekvenciákat. Természetes igény, hogy a helyi földtani felépítés okozta erősítéseket a méretezési szabványok is képesek legyenek kezelni és, hogy azokat a kockázati számításokban is figyelembe lehessen venni. Ezekhez a célokhoz olyan osztályozás bevezetésére van szükség, amely lehetőség szerint térképen ábrázolható, és beépíthető a méretezési eljárásokba. A különböző analitikus és empirikus módszerek nagy adatigénye, és az általuk leírt hatások erős irányfüggése miatt ezek bevezetése helyett egy egyszerűbb, a felszín közeli földtani képződmények osztályozására alkalmas paramétert kerestek, amit végül a felső 30 m-es összetétel átlagos nyíróhullám sebességében ( $V_{S,30}$ ) találták meg. Ez a paraméter és a hozzá kapcsolódó telephely típusok az USA-ban az NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) 1994-es ajánlásaiban jelentek meg először, amelyeket rövid idő alatt beépítettek a méretezési szabványba is (UBC – Uniform Building Code 1997).

A térképezéshez nagyszámú mérési eredményre és ezek kiterjesztéséhez szükséges földtani adatra – lehetőleg nagy méretarányú földtani térképre – van szükség. A nyíróhullám sebesség adatok meghatározására számos mérési módszer ismert, de ezek jó részéhez igen költséges fúrásokra van szükség. A program indulásakor nagy segítséget jelentett, hogy az ELGI Mérnökgeofizikai Főosztályán a szerző munkatársai Hermann László vezetésével számos felületi hullám módszerrel foglalkozó fejlesztést végeztek. Ez megfelelő alapot jelentett, egy olyan módszert kialakításához, amellyel jelentős anyagi ráfordítás nélkül is elvégezhetőek a szükséges mérések. A mérési eredmények térbeli kiterjesztéséhez az 1970-es 80-as években a Magyar Állami Földtani Intézetben Raincsák Györgyné által vezetett térképezés eredményeként megszerkesztett Budapest Építésföldtani atlasz lapjai adták meg a megfelelő földtani adatrendszer.

## **Kutatási célok**

A dolgozatban bemutatott kutatási program a következő célokat tűzte ki:

- A  $V_{S,30}$  értékek terepi meghatározására alkalmas hatékony felületi hullám mérési rendszer és feldolgozási módszertan kialakítása.
- A rendelkezésre álló földtani adatok lehetőleg minél teljesebb felhasználása a mérési eredmények kiterjesztésére

A program előrehaladtával, újabb kihívásokkal és lehetőségekkel kerültünk szembe, amelyek újabb célokat jelöltek ki. Ezek a következőképpen csoportosíthatók:

A korábbiakhoz képest eltérő adottságú területek térképezése a mérési módszertan és a földtani adatok felhasználása terén egyaránt új, a korábbiaknál kifinomultabb eljárásokat igényelt:

- Felületi hullám mérések nagy forgalmú, zajos területeken.
- Térképi adatok felhasználása változatos földtani felépítésű területeken.

Újabb térképezési módszerek jelentek meg a szakirodalomban, amelyeket nem lehetett figyelmen kívül hagyni:

- Lejtőkategória térképek tesztelése.

A paraméter tesztelése „élesben” – földrengéssel sújtott terület vizsgálata:

- A helyi hatás paraméter és földrengéskárok eloszlásának összehasonlítása Törökországban.

A dolgozat további célkitűzése, hogy bemutassa a  $V_{S,30}$  paraméter, a telephely típus osztályok és az ezeket megjelenítő térképek helyét a földrengés-veszélyeztetettség meghatározásában.

## **Az elvégzett munka**

A dolgozat szerzője széleskörű, a felszíni laza réteg átvitelének vizsgálatára, a felületi hullám módszerre és a térképezési eljárásokra vonatkozó szakirodalmi kutatást végzett.

A megfelelő behatolási mélység, zajtűrés, spektrális felbontás eléréséhez az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben végzett fejlesztésekre építve, a szakirodalomból származó információk, valamint saját terepi és feldolgozási tapasztalatait felhasználva a szerző terepi kísérleteket végzett, és azok feldolgozása után alakította ki a célnak megfelelő mérési rendszert. A passzív mérési elrendezés kialakításához a szakirodalomban megjelent módszert MATLAB rendszerben implementálta, és a szintetikus adatokon végzett tesztek követően azt a gyakorlatban is alkalmazta. A három bemutatott helyszínen, több mint száz mérési ponton végzett felületi hullám méréseket, ezek feldolgozását, esetenként részfeldolgozását is elvégezve.

A mérési adatok területi kiterjesztéséhez a szakirodalomban használt fedett földtani térképeken kívül a fedetlen és kvarter vastagság-, valamint építés-alkalmassági térképek adatait is felhasználta. A földtani adatok áttekintését jelentős adattári munkával, a földtani térképek digitális állományainak átszerkesztésével, később térinformatikai program segítségével végezte. A szkennelt földtani szelvényeket digitalizálta, a digitális adatokat MATLAB script segítségével konvertálta térképen megjeleníthető formátumba. A lejtőkategória térképeket az SRTM digitális domborzati modell és Surfer program felhasználásával szerkesztette meg.

## Új tudományos eredmények

### 1. tézis

#### a

A szerző a rendelkezésre álló szeizmikus műszerparkra és feldolgozóprogramokra építve, a szakirodalom ajánlásait és saját kísérleti eredményeit figyelembe véve olyan felületi hullám módszeren alapuló mérési elrendezést alakított ki, amellyel a felső 30 m-es rétegsor sebességviszonyait tükröző diszperziós görbék leképezhetők. Ezek lehetővé teszik, hogy megfelelő inverziós eljárásokkal a felső 30 m-es rétegsor átlagos nyíróhullám sebessége ( $V_{S,30}$ ) nagy biztonsággal meghatározható legyen, a vonatkozó szabványoknak megfelelő homogén adatrendszer eredményezve. Az elrendezést fúrásban meghatározott ismert sebességprofil közvetlen környezetében tesztelte, igazolva a módszer használhatóságát.

#### b

A mérési adatok területi kiterjesztéséhez a szakirodalomban használt fedett földtani térképeken kívül a fedetlen és kvarter vastagságtérképek adatait is felhasználta. Ezek segítségével a földtani felépítés és a képződmények hasonló fáciése miatt várhatóan egységes merevségi jellemzőkkel rendelkező blokkokat alakított ki, amelyek támpontot adnak a mérési pontok kijelölésére, és alkalmasak az eredménytérkép ellenőrzésére.

#### c.

A kijelölt pontokon elvégzett terepi felületi hullám mérések eredményeivel igazolta, hogy a blokkosítás megfelelően reprezentálja a sebességadatok eloszlását, a blokkok segítségével megszerkesztette Budapest XVIII. kerületének Eurocode-8 szabvánnyal konform telephely típus térképét.

#### d.

A szakirodalomban közölt passzív módszerek egyikét sikeresen adaptálta nagy forgalmú belvárosi területeken fekvő mérési helyeken végzett vizsgálatokra. A módszer algoritmusait számítógépes programkódba foglalta, ezeket szintetikus adatokkal tesztelte. A tesztelés alapján kialakított elrendezéssel sikeres terepi méréseket végzett, amelynek eredményeit beépítette a VIII. kerület telephely típus térképébe.

### 2. tézis

#### a

A Budapest Építésföldtani Atlasz alapozási adottság térképek kategóriáit összekapcsolta a felületi hullám mérésekkel meghatározott sebesség-mélység függvényekkel így a különböző mélységre vonatkozó szelet-térképekhez nyíróhullám-átlagsebesség értékeket rendelt. Ezek felhasználásával,

térinformatikai műveletek segítségével meghatározta a felszín közeli – jellemzően kvarter képződményeket tartalmazó – rétegsor átlagsebességét.

**b**

Az építésföldtani atlaszhoz szerkesztett földtani szelvények segítségével, azok georeferálását, a felszín közeli szilárd képződmények digitalizálását és térképi megjelenítését követően a szerző lehatárolta a földrengés szabvány szerinti rezonanciára potenciálisan hajlamos területeket.

A mérési pontok sebesség-mélység függvényei és különböző térinformatikai adatok alapján nyíróhullám átlagsebesség értékeket rendelt a 30 m-es rétegsor mélyebb képződményeihez.

**c**

Mindezen műveletekkel a szerző Óbudán, bonyolult földtani felépítésű területen térinformatikai program és adatok, valamint terepi mérési eredmények felhasználásával megszerkesztette a kerület telephely típus térképét.

### **3. tézis**

A szerző munkatársaival nagyszámú felületi hullám mérést végzett Dinarban (Törökország), ezek eredményeiből nyíróhullám eloszlás és telephely kategória térképeket szerkesztettek, amelyeket összevetettek a korábbi földrengés szakirodalomban fellelhető káreloszlásaival. Megállapították, hogy a káreloszlások nem magyarázhatók a felszín közeli laza rétegsor egydimenziós átviteli sajátosságival, az adatok a medenceperem hatás közrehatását mutatják.

A szerző saját munkája volt a pályázati kutatási terv módszertani részének megfogalmazása, a terepi észlelés, a felvételek diszperziós görbéinek meghatározása. Tevékeny része volt az eredmények megjelenítésében, az interpretációban, az eredményeket ismertető zárójelentés és publikáció összeállításában.

### **4. tézis**

A rendelkezésre álló mérési eredmények segítségével a szerző vizsgálta a lejtőkategóriákon alapuló telephely osztályozási módszert. Megállapította, hogy a mért sebességadatokhoz hozzárendelt lejtőgradiens értékek eloszlása alapján Magyarországra a szeizmikusan aktív területekre meghatározott összefüggés érvényes, de az így meghatározott kategóriák nagy méretarányú térképeken számos esetben – például csúszásra hajlamos lejtőkön – akár többszörös eltérést mutatnak a mért értékekből meghatározotthoz képest. Ezek alapján arra a következtetésre jutott, hogy részletes földtani és geotechnikai térképek birtokában a kisléptékű térképezést inkább ezek segítségével érdemes végezni.

## Az eredmények hasznosításának lehetőségei

Az elmúlt évtizedekben új, egységes szerkezettervezési szabványt alakítottak ki Európában, amelynek egyik önálló kötete ad útmutatást a földrengésterhekkel szembeni méretezéshez (Eurocode-8). A szabvány 2010-es bevezetése előtt Magyarországon nem volt kötelező a földrengésekkel szembeni méretezés, ezért a hazai szakemberek számára számos új fogalmat, vizsgálati és tervezési eljárást hozott a megváltozott előírás. Ezek egyike a helyi hatást leíró jól specifikált szeizmikus altalaj osztály.

A dolgozatban vázolt kutatási program indulásakor a szeizmikus altalaj osztályok még inkább földtani leíráson alapultak, de sorozatos pontosítások után a 2004-es tervezetben már megjelent az amerikaihoz nagyon hasonló, a felső 30 m-es rétegsor átlagos nyíróhullám sebességére ( $V_{S,30}$ ) épülő osztályozás. A szabványt ebben a formában véglegesítették, és 2010 óta a méretezést már kizárólag ennek előírásai alapján lehet végezni. Így az általunk szerkesztett telephely típus térképek hasznos kiegészítői a hazai alkalmazást segítő Nemzeti Mellékleteknek. Ez természetesen nem közvetlen felhasználást jelent, hiszen azok méretaránya ezt nem teszi lehetővé, de a térképek egy – a szerkesztés elveit és a figyelembe vett adatok körét bemutató – térképmagyarázóval együtt nagymértékben tudják segíteni a hazai geotechnikus szakembereket a számukra teljesen új szemléletű szabvány előírásainak alkalmazásában, a szükséges telephelyi vizsgálatok kiválasztásában.

Módszertani oldalról a különböző típusú felületi hullám mérések a leggyorsabban fejlődő sekélygeofizikai módszerek közé tartoznak, amelyek sokféle geotechnikai célú (pl. alapozási, lejtőállékonysági) vizsgálatra alkalmazhatók.



## **A szerző témához kapcsolódó publikációi**

Kanlı, A. I., Tildy P., Prónay Zs., Pınar A. and Hermann L.,  $V_{S,30}$  (2006) Mapping and Soil Classification for Seismic Site Effect Evaluation in the Dinar Region of SW Turkey, *Geophysical Journal International*, **165**(1), 223-235

Kanlı, A.I., Kang, T.S., Pınar, A., Tildy, P. and Pronay, Zs. (2009) A systematic geophysical approach for site response of the Dinar region, Southwestern Turkey, *Journal of Earthquake Engineering*, **12**(S2), 165-174

Bánné Győri E., Hermann L., Tildy P., Törös E. (2009) Az Eurocode 8 szabvány földtani-geotechnikai vonatkozásai és alkalmazásának gyakorlata *Mélyépítés*, **7**(1)

Kegyes-Brassai, O., Ray R. P. and Tildy, P. (2015) Predictive equations for soil shear-wave velocities of Hungarian soils based on MASW and CPT measurements around Győr, *Acta Geodaetica et Geophysica*, **50**(4),1-23, **50**(4),1-23, DOI: 10.1007/s40328-015-0148-y

## **A szerző témához kapcsolódó jelentései**

Tildy P. (2003) Településgeofizika (Mérnökszeizmológiai térképezés), Kutatási zárójelentés, Kézirat, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, 14 lev.

Tildy P. (2004) Településgeofizika (Mérnökszeizmológiai térképezés), Kutatási jelentés, Kézirat, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, 13 lev.

Neducza B., Tildy P. (2005) Településgeofizika (Mérnökszeizmológiai térképezés), Kutatási jelentés, Kézirat, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, 21 lev.

Neducza B., Tildy P. (2006) Kutatási jelentés, Kézirat, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, 24 lev.

Tildy P. (2007) Településgeofizika (Mérnökszeizmológiai térképezés), Kutatási jelentés, Kézirat, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, 15 lev.

Tildy P. (2008) Településgeofizika (Mérnökszeizmológiai térképezés), Kutatási jelentés, Kézirat, Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest, 15 lev.

### **A szerző témához kapcsolódó nyomtatásban megjelent előadáskivonatai**

Tildy P., Hermann L., Neduczka B. and Prónay Zs., (2003) Seismic Microzoning Based on Shear Wave velocity measurements, EEGS-ES 9<sup>th</sup> Meeting — Prague, Czech Republic, 31 August – 4 September, **P-003**

Tildy P., Kanlı, A. I., Prónay Zs., Pınar, A. and Hermann L. (2005a) MASW measurements for soil classification in Dinar, Turkey, EEGS-ES 11<sup>th</sup> Meeting — Palermo, Italy, 4–7 September, **P019**

Tildy P., Hermann L., Kanlı A. I., Prónay Zs., Pınar A., and Törös E., (2005b) MASW measurements for Seismic Site Effect Evaluation, Fourth Congress of Balkan Geophysical Society, Bucharest, Romania, 9-12 October, **O5–03**

Tildy P., Hermann L., Neduczka B., (2007) Problems and Possible Solutions of Geophysics in Eurocode 8 Based Soil Classification. EEGS-ES 13<sup>th</sup> Meeting — Istanbul, Turkey 3-5 September, **P01**

Tildy P., Hermann L., Kanlı A. I., (2008) Multichannel Analysis of Surface Waves Technique in Geotechnical Studies. EEGS-ES 14<sup>th</sup> Meeting, Krakow, Poland, 15–17 September, **P13**

Tildy P., Prónay Zs., Taller G., 2013 Condition Mapping using Topographic Slopes, P-18800, 7<sup>th</sup> Congress of Balkan Geophysical Society – Tirana, Albania 7-10 October, **P-18880**

### **A szerző témához kapcsolódó előadásai**

Tildy P., Hermann L., Prónay Zs., Törös E. (2004) A helyi hatás értékezése szabványos paraméterek alapján, Magyarország Földrengésbiztonsága Konferencia, Győr, november 4-5

Hermann L., Neduczka B., Prónay Zs., Tildy P., Törös E., (2005) Helyi hatás paraméter meghatározása felszíni hullám módszerrel Eredmények a hazai földrengéskutatásban Előadások a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából, Budapest, november 7.

- Tildy P., Hermann L., Neduczka B., Törös E. (2007) Geotechnika és földrengésvédelem — Eurocode 8 talajosztályozás, VI. Földtani Veszélyforrások Konferencia, Tengelic, május 30.
- Tildy P., Hermann L., Neduczka B., Törös E. (2007) Geotechnika és földrengésvédelem — Eurocode 8 talajosztályozás, Geotechnika 2007 Konferencia, Ráckeve, október 16-17.
- Tildy P., Hermann L., Neduczka B., Törös E. (2007) Az Eurocode szabvány geotechnikai vonatkozásai, Magyarország Földrengésbiztonsága 2007 Konferencia, Győr, október 25-26
- Tildy P., Hermann L., Törös E. (2008) Az Eurocode 8 szabvány földtani-geotechnikai vonatkozásai és alkalmazásának gyakorlata, Geotechnika 2008 Konferencia, Ráckeve, október 28-30.
- Tildy P., Prónay Zs., Taller G., Törös E., Hermann L.† (2015) Földrengés általaj típus térképezés az MFGI-ben Magyar Geofizikusok Egyesületének 34. vándorgyűlése Budapest, szeptember 24-26.

