

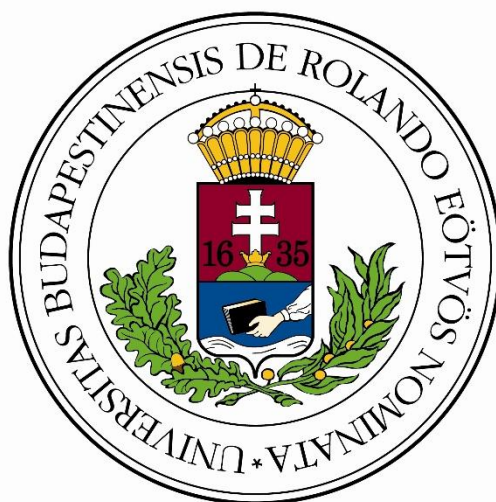
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KUTATÁS

**A Magyarországon jelenleg használt makroszeizmikus
kérdőív módosítása és a kiértékelés számítógépes
programmal történő felgyorsítása**

WEISZ PÉTER

Földtudományi BSc

Geofizika szakirány



Témavezetők:

DR. GYŐRI ERZSÉBET

Tudományos főmunkatárs

DR. KALMÁR DÁNIEL

Tudományos munkatárs

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Geofizikai és Űrtudományi Tanszék
Budapest, 2024

Tartalom

1	Bevezetés és célkitűzések	4
2	A magyarországi makroszeizmikus kérdőív ismertetése	8
3	Az Európában használatos EMS-98 intenzitásskála	10
3.1	Kiegészítő a természeti hatások vizsgálatához: az ESI-2007 intenzitásskála	14
3.2	Az intenzitásértékek értelmezési tartománya a magyarországi viszonyok között	15
4	Makroszeizmikus kérdőívek más európai országokban.....	15
4.1	Szlovákia (https://www.seismology.sk/Makroseizmika/makro1_H.php)	16
4.2	Ausztria (https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/erdbeben)	17
4.3	Románia (https://infapi.infp.ro/feedback/40254)	18
4.4	Horvátország (http://www.gfz.hr/seizmologija/upitnik.php)	18
4.5	Olaszország (https://www.hsit.it/compile.html , és https://www.hsit.it/emergeo.html) ..	19
4.6	Svájc (http://www.seismo.ethz.ch/en/earthquakes/did-you-feel-an-earthquake/)	20
4.7	Egyesült Királyság (https://www.earthquakes.bgs.ac.uk/questionnaire/EqQuestIntro.html)	21
4.8	Franciaország (https://www.franceseisme.fr/formulaire/index.php)	21
4.9	Spanyolország (https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-cuestionario-macrosismico)	21
5	Javaslatok a magyarországi kérdőív javítására	22
5.1	Az automatikus kiértékelés elősegítése	22
5.2	A kitöltési hajlandóság és az áttekinthetőség javítása	22
5.3	Biztonság és adatvédelem	24
5.4	Harmonizálás az EMS-98 skálával	24
6	A módosított magyarországi makroszeizmikus kérdőív	25
7	A kérdőívek adatbázisának kiértékelése	29
7.1	A kiértékelés jelenlegi módszere	29
7.2	Figyelembe vett szempontok a kiértékelőprogram készítése során	31

7.3	A program fejlesztéséhez használt adatbázis	33
7.4	A számítógépes kiértékelés általános menete és lehetséges algoritmusai	33
7.5	A kiértékelőprogram eredményeinek verifikálása.....	37
7.6	Tapasztalt nehézségek és feltárt hibák.....	39
8	Két bevezetendő kiértékelési technika: a fuzzy logika és a spatial outlier detection	40
8.1	A fuzzy logika és alkalmazhatósága a kiértékelésben.....	40
8.2	Két bevezetendő kiértékelési technika: a fuzzy logika és a spatial outlier detection.....	43
8.3	A „spatial outlier detection” használhatósága az intenzitás-kiértékelésben.....	44
9	Összegzés	45
10	Köszönetnyilvánítás	46
11	Ábrajegyzék	46
12	Felhasznált irodalom	48
Függelék: Saját eredmények		51

1 Bevezetés és célkitűzések

A földrengések az emberek millióit fenyegető természeti jelenségek, amelyek komoly károkat képesek okozni. Kitörésüket és erejüket lehetetlen pontosan előre jelezni, csak valószínűségeket állapíthatunk meg egy adott területen kialakuló földrengésekről. A múltbeli földrengések adatait visszamenőlegesen elemezve képet kaphatunk a hely földrengés-veszélyeztetettségének időbeli alakulásáról.

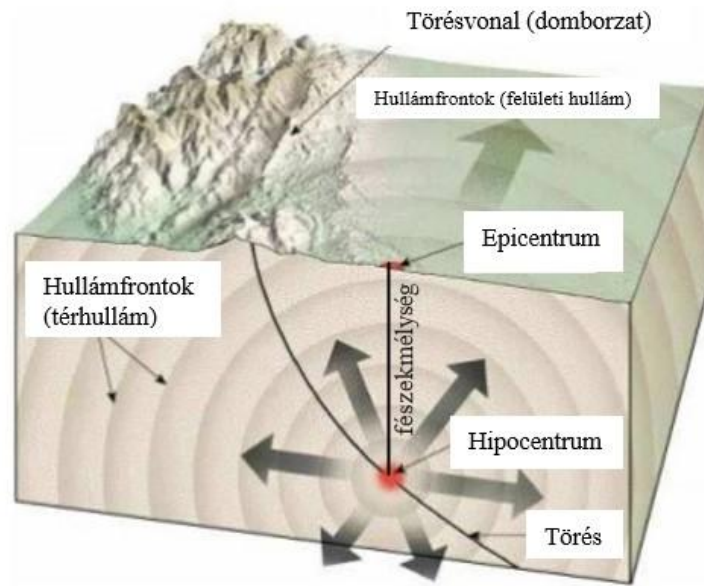
A földrengések erősségének egyik mérőszáma a rengésházban (hipocentrum) felszabadult energia összmenyisége, a magnitúdó. Mérésére szeizmográfokat telepítenek, melyek képesek a legapróbb talajrezgéseket is érzékelni. Telepítésük azonban költséges, így például Magyarországon jelenleg csak 15 helyen üzemel állandó jelleggel.

A földrengések erősségét az intenzitásukkal is jellemezhetjük. Ez a mérőszám a rengések által okozott hatásokból számolható, és így értéke helyről-helyre változik. Az intenzitás meghatározásában a terepi kárfelmérések mellett a lakosság személyes tapasztalataira is építünk. A Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium (KRSZO) egy kérdőívet tart fenn a honlapján, amelyet a földrengést észlelők kitölthetnek. A beérkezett válaszokat kiértékelve következtethetünk a rengés intenzitására egy adott helyen. A következő néhány bekezdésben rámutatok arra, hogy miért fontos ez a számadat a rengések jellemzésében.

A történelmi időkben is számos leírás született a földrengések okozta károkról, ezekből következtethetünk a műszeres idők előtt kipattanó rengések erősségére. Az első, még nem túl érzékeny *szeizmométert* az 1870-es években építette az olasz Filippo Cecchi. Az 1880-as yokohamai földrengés idején hoztak létre először *szeizmogramot*. A rengések okozta kilengéseket grafikusan lejegyző készüléket John Milne brit geológus, „a modern szeizmológia atyja” készítette (Reitherman, 2012).

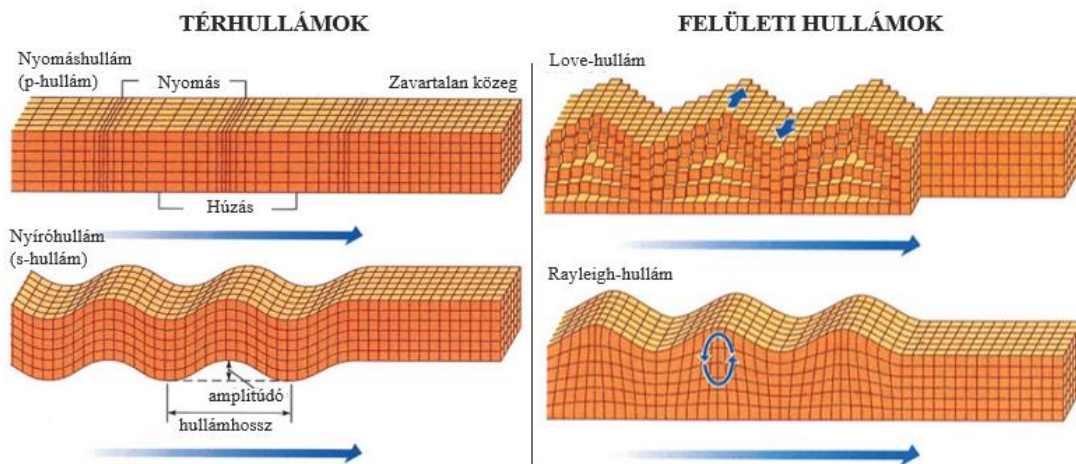
A földrengések kialakulásának oka, hogy a Föld köpenyének legfelső részén, az asztenoszférán úszó kőzetlemezek mozgásban vannak, egymásnak ütköznek, illetve elcsúsznak egymás mellett és felett. Ez a mozgás időnként megtorpan, a lemezek egymásnak feszülnek, és amikor újra elválnak egymástól, a felhalmozódott energia földrengés formájában szabadul fel (1. ábra).

A rengés kipattanási helyét a mélyben *rengésháznak* (*hipocentrumnak*) nevezzük, ennek merőleges vetülete a földfelszínre a *rengésközpont* (*epicentrum*), jellemzően itt okozza a legnagyobb károkat a rengés.



1. ábra – A földrengéshullámokkal kapcsolatos legfontosabb alapfogalmak (quizlet.com alapján a szerző módosította)

A földrengés kipattanásakor rugalmas térhullámok indulnak meg a hipocentrumból (a primer nyomáshullámok és a szekunder nyíróhullámok), amelyek a felszint elérvé felületi hullámokat keltenek (2. ábra). A rengések okozta károk szempontjából ezek a felszíni hullámok bírnak a legnagyobb jelentőséggel.



2. ábra – A földrengések során kialakuló hullámok: baloldalt a primer és szekunder hullámok, jobboldalt a felületi hullámok modellje (vhmsscience8.weebly.com alapján a szerző módosította)

A felületi hullámok energiája a térhullámok négyzetes csillapodásához képest már csak lineárisan csökken, így nagy területen képesek kifejteni káros hatásukat.

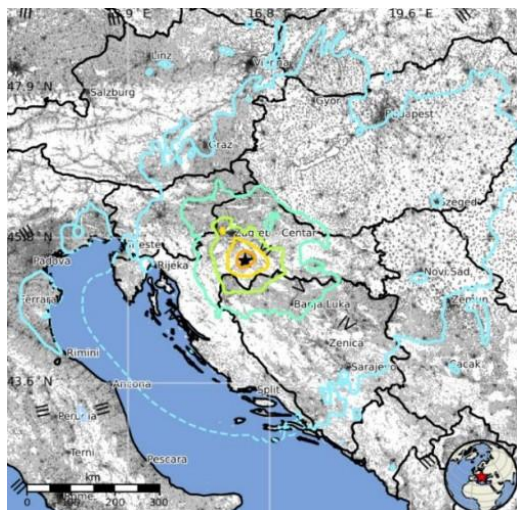
Egy földrengés erősségét műszeresen a talajfelszínen mért sebességgel és gyorsulással lehet a legpontosabban meghatározni. A gyakorlatban viszont ehhez nem lehet kellően sűrűn szeizmométereket telepíteni. A lakosság bevonása itt jut szerephez, mivel a rengést bejelentő minden személy egy-egy szenzornak, illetve mérésnek tekinthető.

A szeizmológiai kutatásokban kétféle skálával szokás jellemezni a rengés erősségét: a *magnitúdóskálánál* a rengésfészekben felszabaduló energia, míg a kutatásomban vizsgált *intenzitásskálák* esetében a földfelszínen érzékelhető hatások és okozott károk képezik a besorolás alapját. Ezeken kívül (Wald et al., 1999) elkülönít egy köztes lehetőséget, az úgynevezett műszeres intenzitásskálát is: itt a talaj földrengés okozta mozgásának műszerrel mérhető paramétereit (pl. talajrészecskék maximális gyorsulása és sebessége) korrelációs összefüggések felhasználásával az USA-ban használt makroszeizmikus intenzitásskála valamelyik fokozatának feleltetik meg.

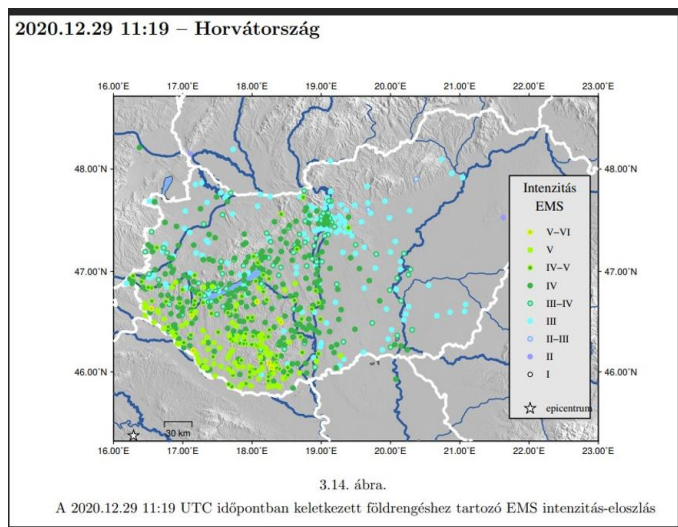
A *magnitúdóskála* a rengéshullámok fizikai tulajdonságain alapul, és ebből következtetünk a felszabadult energia összmenyiségére. Ezek a skálák logaritmikusak (két magnitúdó különbség kb. 1000-szeres energiaszabadulást jelent). A magnitúdó előnye, hogy minden földrengést egyetlen számértékkel jellemez. A *Richter-skála* a legismertebb magnitúdóskála, de az ismert korlátai miatt ma már inkább a *momentum magnitúdóskálát* használjuk.

Másféle megközelítést ad az *intenzitásskálák* használata. Az intenzitás leírja a földrengés által a felszínen okozott, az embereket, állatokat, az épített környezetet, valamint a természetet ért hatásokat, és azok súlyosságát. Egyik változata az USA-ban máig használt *módosított Mercalli-skála* (Wald et al., 1999), Európában viszont az *EMS-98 intenzitásskálát* (Grünthal, 1998) használják a leggyakrabban.

Az intenzitás helyről helyre változik: általában az epicentrumban veszi fel a legnagyobb értéket, onnan távolodva pedig fokozatosan csökken. Az azonos intenzitással jellemezhető földfelszíni pontok az *izoszeiszták*, amelyek homogén felszíni közet esetén koncentrikus körökben vennék körül az epicentrumot (3. ábra). Változó összetételű kőzeteknél az ellenállóbb kőzetekben kisebb az intenzitás, a puha, mállékony, vagy töredező kőzetekben viszont az epicentrumtól távol is magas intenzitást lehet meg tapasztalni. Az izoszeiszták torzuló alakjából nemcsak a földtani felépítésre lehet következtetni, hanem a földrengés fészekmélységére is. Mélyfészű földrengésnél nagy területen, lassan csökken az intenzitás, míg sekély fészűnél az epicentrum környékén kiugróan magas, majd onnan távolodva rohamosan csökken az értéke (4. ábra).



3. ábra – A 2020. decemberi petrinjai földrengés izoszeisztái (forrás: Robertson et al., 2021)



4. ábra – A földrengés Magyarországon észlelt intenzitásértékei (forrás: Süle et al., 2021)

Az intenzitás meghatározásához egyrészt szakemberek utólag felméri az okozott károkat, másrészt kiértékelik az átlagemberek tapasztalatait egy ún. *makroszeizmikus kérdőív* segítségével, amely bárki által könnyen felismerhető jelenségekre kérdez rá (edények csörömpölése, tárgyak elmozdulása, állatok zavart viselkedése stb.).

Ha rendelkezésünkre állnak megfelelően részletes feljegyzések, akkor az intenzitás a régmúlt rengéseinek utólagos elemzésére is felhasználható. Az intenzitások ismeretében becsülhetők a rengések magnitúdói is, amely a földrengés-veszélyeztetettségi számításoknak és a kockázatbecslésnek is az egyik kulcseleme. Még többet segít, ha egyszerre több embertől állnak rendelkezésre hiteles beszámolók. Jelenleg a makroszeizmikus kérdőívet kitöltve bárki könnyedén létrehozhat ilyen feljegyzést, és ezt beküldve segítheti a tudósokat munkájuk végzésében.

Ahhoz viszont, hogy ténylegesen ki is töltsék a kérdőívet, fontos, hogy kellően részletesen kérdezzen rá az egyes hatásokra, de ne legyen túlságosan hosszú és bonyolult. A kiértékelésnél, és a más országok kérdőíveinél leszűrt tapasztalatok összehasonlításánál pedig annak van lényeges jelentősége, hogy a kérdések minél jobban igazodjanak az intenzitásskála definícióihoz, hiszen egységes makroszeizmikus kérdőívet nem vezettek be Európában. A magyarországi kérdőívre rátekintve viszont feltűnt nekem, hogy nem mindenben teljesíti a követelményeket, ezenkívül viszonylag kevés olyan elemet tartalmaz, amelyek sokakat bátorítanának a kitöltésre. A kiértékelésnél pedig nincsen semmilyen számítógépes automatizáltság, helyette egy régimódi, kézzel végzett vizsgálati folya-

matot követnek, amely hosszú időt, időnként akár több hetet is igénybe vehet. Ezen kívántam változtatni dolgozatomban, ahol a földrengés-intenzitás számításával kapcsolatos eredményeimet mutatom be:

- összehasonlítom a magyar kérdőívet a környező országokéval és az EMS-98 európai makroszeizmikus skála ajánlásaival, majd javaslatokat teszek a kérdőív javítására,
- ezenkívül bemutatom a kiértékelést segítő saját fejlesztésű számítógépes programot.

2 A magyarországi makroszeizmikus kérdőív ismertetése

Hazánkban már a műszeres mérések előtt is kiemelt jelentősége volt annak, hogy földrengéseknél a lakosság tapasztalatait tekintetbe vegyék. A makroszeizmikus kérdőív elindulása gyakorlatilag egybefonódik az intézményes magyarországi földrengéskutatás kezdetével (a XIX-XX. század fordulója). Magyarország élen járt a szeizmológia tudományágának létrehozásában, 1881-ben alakult a Földrengési Állandó Bizottság, amely Európa második hasonló jellegű intézménye volt, a KRSZO jogelődjét, a Budapesti Földrengés Obszervatóriumot pedig 1905-ben alapították (www.seismology.hu). Ebből a korai időszakból bemutatok egy kérdőívet, amely egy 1906-os földrengésről beküldött információkat rekonstruálja (5. ábra). Szembetűnő, hogy a mai kérdőívhez képest meglehetősen kevés hatásra kérdeztek rá.

Kérdőlap:

19⁰⁶ év *januárius* hó ¹⁰ napján észlelt földrengésről. Szerda.

Észlelési hely: *Nagyszombat* község *Pozsony* vármegye.

Hány órakor? *5* óra *5-6* perc *...* mp. (Helyi idő vagy zóna idő?) *Zóna idő.*

Dél előtt-e vagy délután? *dél előtt.* Az időadat perce pontos.

Hoi tartózkodott az észlelő. Szabadban? Otthon? *Otthon, ágyban.*

Minő foglalkozás közben észlelte a földrengést? *Aludt és a földrengés felkellette.*

Hányadik emeleten? *Első emeleten.*

A lökések száma és ideje? *2 lökés, 12-15 mp. között. Hullámzó mozgás.*

A lökések iránya? *nyugatról-keletre, lámpa ingásából következtetve.*

Minő hatással volt a földrengés? *Függő-lámpák 15 cm.-nyire kilengtek. Nehéz bútordarabok megmozdultak, harang megkondult, kémények bedőltek, kisebb repedések támadtak.*

Minő moraj észleltetett? *Melegdörgésszerű moraj; a rengéssel egyidőben.*

Források, kutak viselkedése? *Előtte ismeretlen.*

Egyéb megjegyzések: *Általános ijedelmet okozott. Az első lökés oly erős volt, hogy az ágyból majd kidobott. A távirda-oszlopok mozogtak a húzalok erősen feszültek. A moraj a rengéssel egyidejűleg megszűnt.*

Az észlelő neve és címe? *Kösch Irma, póstatiszt.*

5. ábra – Kitöltött makroszeizmikus kérdőív rekonstrukciója 1906. januárjából (a KRSZO archívumából, a szerző saját felvétele)

A mostani kérdőív a <http://www.seismology.hu/index.php/hu/foeldrengest-erzett/lang/hu-HU> oldalon bárki számára elérhető. Kitöltés előtt felugrik egy ún. CAPTCHA-teszt annak ellenőrzésére,

hogy élő személy tölti ki. Hasonló funkciót egyébként más ország kérdőíveinél nem találtam. A funkció bevezetését Magyarországon egy korábbi hackertámadás tette szükségessé, amikor robotokkal nagy mennyiségű hamis kitöltést kezdeményeztek. A kérdőív öt oldalon keresztül, kizárólag szöveges módon méri fel a rengés hatásait, rövidített kivonata a következő:

1) az észlelő és a földrengés adatai:

- személyes adatok (név és e-mail cím), előtte az Európai Unió GDPR-irányelvének megfelelő rövid nyilatkozat arról, hogy a kitöltő hozzájárul ahhoz, hogy adatait bizalmasan kezelik, kizárólag tudományos kutatás céljából, és harmadik félnek nem adják át,
- az illető érzett-e földrengést a közelmúltban, és ha igen, hány alkalommal,
- az észlelés helye (település-utca pontossággal) és ideje (újonnan megadva, vagy választva)

2) az észlelés körülményei:

- szabadtéren, álló/mozgó járműben vagy épület belsejében tartózkodott-e az észlelő,
- milyen testhelyzetben volt éppen (álló-ülve-fekve-járáskor-egyéb),
- milyen elmozdulással jellemezhető a rengés (hullámzó mozgás, hirtelen lökés, rázkódás),
- mekkora erősségűnek érződött (alig, gyengének, közepesnek, erősnek), és hanggal járt-e,

3) élőlényekre gyakorolt hatások:

- hány ember érezte a földrengést a válaszadó környezetében,
- egyensúlyát veszítette-e valaki a rázkódástól, felébredt-e a kitöltő vagy más személy,
- kimenekültek-e emberek az épületekből, megijedtek-e a környékbeli állatok

4) hatások a környezetre és élettelen tárgyakra, (egy terjedelmes felsorolásban jelölhető, mely hatást tapasztalta az észlelő, esetenként pedig legördülőlistából választható ki a hatás erőssége):

- kilengett-e valamilyen szabadon függő tárgy (pl. csillár), és milyen erősen,
- hatás poharakra és edényekre (zörrentek, csörömpöltek, összetörték, egyik sem),
- hatás ablaküvegekre (megrezdültek, megrepedtek, betörték, egyik sem),
- falon lógó tárgyakat, képeket ért hatás (megmozdultak, elferdültek, leestek, egyik sem),
- kisebb tárgyak eldőltek-e vagy leestek-e a polcra (egy sem, néhány, sok),
- a kisebb vagy nagyobb bútorok megmozdultak, elcsúsztak, esetleg fel is borultak,
- faszerkezet, pl. tetőzet vagy ajtó nyikorgott-e, recsegett-e, egész épület rázkódott-e,
- ajtó, illetve ablak becsukódott-e vagy kinyílt-e,
- leesett-e nagyobb tárgy, például tévékészülék,
- sírkövek, szobrok, emlékművek elmozdultak-e, illetve ledőltek-e,

- megszólalt-e a templomharang,
 - épület megsérült-e: ha *nem* a válasz, akkor az oldal kitöltése itt véget is ér, ha *igen*, akkor a sérült épületre, valamint a sérülésekre vonatkozó kérdések következnek,
 - a sérült épület típusa: vertfalú, vályog, téglá, kő, salak, vasbeton, faház, egyéb,
 - a sérült épület földemének anyaga: vasbeton, fa, egyéb (kézzel beírva),
 - hajszálrepedések, repedések a vakolatban, vagy magán a falon,
 - burkolóelemek, csempék megsérültek-e, lehullottak-e,
 - a kémény sérülése (néhány téglá kimozdult/lehullott, részben/teljesen ledőlt, egyik sem),
 - cseréphullás (néhány vagy sok cserép hullott-e le, esetleg egy sem),
 - mély törések/rések lettek-e a válaszfalon, főfalon, mennyezeten vagy az oromfalban,
 - leomlott a mennyezet, válaszfal, főfal, egy teljes épületrész, összedőlt-e akár a teljes épület
- 5) az utolsó oldalon a földrengéssel kapcsolatos egyéb megjegyzéseit írhatja le az észlelő szabad-szövegesen.

3 Az Európában használatos EMS-98 intenzitásskála

A magyar kérdőív felépítése nagyban követi az EMS-98 intenzitásskála logikáját, ebben a fejezetben csak az érdekesebb eltérésekre térek ki.

Az EMS-98 skálát az Európai Szeizmológiai Bizottság (ESC) hozta létre. Az 1998-as publikálása óta (Grünthal, 1998) szinte minden európai ország átvette, de Olaszország például vele párhuzamosan használja a hagyományos Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) skálát is.

A skála 12 fokozatba sorolja a rengés intenzitását, ezek saját fordításban a következők:

EMS in- tenzitás	Meghatározás	Jellemzően megfigyelhető hatások
I	Nem érezhető	Nincs érezhető hatás.
II	Alig érezhető	Csak nagyon kevés beltéren tartózkodó, nyugalomban lévő ember érzi.
III	Gyengén érezhető	Beltéren néhányan megérik. A nyugalomban lévő emberek imbolygást vagy enyhe remegést éreznek.
IV	Széles körben megfigyelhető	Beltéren sokan megérik, kültéren csak nagyon kevesen. Néhányan felébrednek rá. Az ablakok, ajtók és edények zörögnek.
V	Erős	Beltéren a legtöbben érik, kültéren csak kevesen. Sok alvó ember felébred. Néhányan megijednek. Az épületek minden része rázkódik. A felfüggesztett tárgyak erősen kilengenek. A kisméretű tárgyak elcsúsznak. Az ajtók és ablakok kinyílnak vagy bezáródnak.

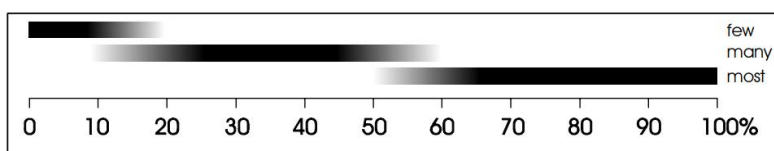
VI	Kisebb károkat okozó	Sokan megijednek és szabadba menekülnek. Néhány tárgy leesik. Sok ház enyhe, a szerkezetet nem veszélyeztető károkat szenved: hajszálrepedések keletkeznek, kisebb vakolatdarabok hullanak.
VII	Károkat okozó	A legtöbben megijednek és szabadba menekülnek. A bútorok elcsúsznak, tárgyak nagy számban esnek le a polcra. Sok hagyományos építésmódú épület mérsékelt károkat szenved: kisméretű repedések a falakban, vakolat hullás, kémények részben ledőlnek; a régebbi építésű épületek falaiban nagyméretű repedések jelenhetnek meg és a válaszfalaik súlyosan megrongálódhatnak.
VIII	Súlyos károkat okozó	Sokan nehezen tudnak megállni a lábukon. Sok ház falában nagyméretű repedések keletkeznek. Néhány hagyományos építésmódú épület falai is súlyosan megrongálódnak, a gyengén kivitelezett, régi konstrukciójú épületek összedőlhetnek.
IX	Pusztító	Altalános a pánik. Sok gyenge építésű épület összeomlik. Még a jól megépített hagyományos építésű épületek is nagyon súlyosan károsodnak: a falaik komolyan megrongálódnak és részleges strukturális károsodásokat szenvedhetnek.
X	Nagyon pusztító	Sok gondosan megépített hagyományos építésű épület összedől.
XI	Megsemmisítő	A legtöbb gondosan megépített, hagyományos építésű épület összedől, még néhány földrengésbiztosra tervezett épület is elpusztul.
XII	Teljesen megsemmisítő	Majdnem minden épület elpusztul.

A magyar kérdőívhez hasonlóan az EMS-98 is a *szenzorok* 4 csoportját vizsgálja, melyekkel a rengések intenzitása mérhető: (1) élőlények, (2) tárgyak, (3) épületek, (4) természeti környezet.

Minden hatás, amely egy szenzort ér, *diagnosztikus jelnek* tekinthető, és megfeleltethető az intenzitásskála valamelyik fokozatának. Például a „sokan megijednek és szabadba menekülnek.” a VI-os intenzitású rengés diagnosztikus jelének tekinthető.

A szenzorokat ért hatásokat és a hozzájuk rendelt intenzitásokat településenként / területenként összegzik és statisztikusan elemzik, növelve a pontosságot. Magyarországon is ez a gyakorlat.

Az EMS-98 a „néhány-sok-legtöbb” szavak értelmezésében is segít. 20 és 60%-nál húzza meg a határt, hogy hány tárgyra, emberre, épületre vonatkozott a megfigyelt hatás (6. ábra).



6. ábra – A kvalitatív intenzitások kvantitatív megfeleltetése (Grünthal, 1998)

Szerkezet fajtája		Sérülékenységi osztály					
		A	B	C	D	E	F
FALAZOTT	kőtörmelék, terméskő	○					
	vályogtégla	○	—				
	egyszerű kő	—	○				
	erős kő		—	○			
	nem megerősített, benne kőből készült megerősített egységekkel	—	○	—			
	nem megerősített, VB padlókkal teljesen megerősített vagy zárt		—	○	—		
VASBETON (VB)	keret földrengés-ellenálló tervezés (FET) nélkül	—	—	○			
	keret mérsékelt szintű FET-vel		—	—	○		
	keret magas szintű FET-vel			—	—	○	
	falak FET nélkül	—	○				
	falak mérsékelt szintű FET-vel		—	○			
	falak magas szintű FET-vel			—	○		
ACÉL	acélszerkezetek			—	—	○	
FA	faszerkezetek		—	—	○		

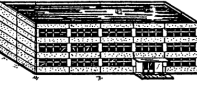
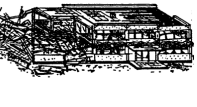
○ legvalószínűbb sérülékenységi osztály; — valószínűségi tartomány;
 csekély valószínűség tartománya; kivételes esetek

Az EMS-98 figyelembe veszi az épületek és építkezések minőségi eltéréseit, aminek érdekében egy *sérülékenységi táblázat* vezettek be. Ez egy osztályozási rendszer, amely A-tól (károknak legjobban kitett) F-ig (legellenállóbb) sorolja kategóriákba az épületeket és segítséget nyújt a tervezőknek, illetve a biztosítótársaságoknak a rengések kockázatainak értékelésében (7. ábra).

A magyar intenzitásskála ennél jóval egyszerűbb formában kérdez rá a sérült épületek jellemzőire (vertfalú, vályog, téglá, kő, salak, vasbeton, faház).

7. ábra – Sérülékenységi táblázat (Grünthal, 1998 alapján a szerző fordítása)

Az EMS-98 volt a világ első illusztrált intenzitásskála: az észlelő számára rajzokat, fotókat kínált a rengés hatásainak pontos beazonosításához. Ennek feladata a földrengés sújtotta területet felmérő szakemberek számára a károk kiértékelésének elősegítése (8. ábra).

Épületkárosodási szintek					
	Elhanyagolható / enyhe (D ₁)	Mérsékelt (D ₂)	Lényeges / súlyos (D ₃)	Nagyon súlyos (D ₄)	Összeomlás (D ₅)
Falazott					
Vasbeton					

8. ábra – Épületkár szemléltetése falazott és vasbeton épület esetében (Grünthal, 1998) alapján

Az EMS-98 fényképekkel és részletes leírásokkal is bemutatja, hogy milyen károsodás melyik intenzitásnak felel meg, ezzel segítve a szakembereket a terepi kárfelmérésben. Például:

- **3-as fokozat (lényeges vagy súlyos kár):** kiterjedt repedések a legtöbb falban, tetőcserepek leváltak, kémények elrepedtek, válaszfalak, oromfalak tönkrementek (9-10. ábra).



9. ábra – Az 1976-os friuli földrengéstől megrongálódott ház az olaszországi Gemonában (forrás: Grünthal 1998)



10. ábra – 3-as fokozatú kár falazott épületen az 1979-es montenegrói rengés után (forrás: Grünthal, 1998)

- **4-es fokozat (nagyon súlyos kár):** falak, tetők, emeletek súlyosan, strukturálisan rongálódtak (11-12. ábra).



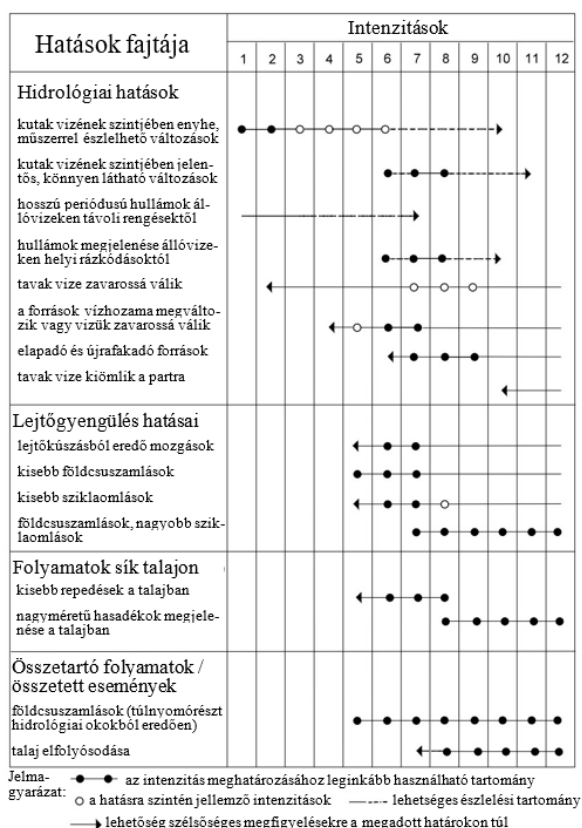
11. ábra – 3-as fokozatú kár falazott épületen az 1979-es montenegrói rengés után (forrás: Grünthal, 1998)



12. ábra – Az 1995-ös észak-peloponnészoszi földrengés okozta károk a görögországi Aegionban (forrás: Grünthal, 1998)

Érdekesség, hogy a négy fő szenzorkategória közül a természeti környezetre gyakorolt hatások szinte teljesen hiányoznak, (kizárólag a puha talaj hullámnzó mozgása kerül megemlítésre). Ennek fő oka, hogy ezek a jelenségek eleve csak magasabb intenzitásnál várhatóak és nem egyértelműen csak egy intenzitásra jellemzőek. Gyakran különleges geomorfológiai, hidrológiai tényezők befolyásolják, hogy tapasztalható-e a hatás. Mégis érdemes a kérdőívben szerepeltetni őket, mert a szabadban tartózkodó megfigyelőktől jobbra ilyen adatok gyűjthetők be. A 13. ábra jól mutatja, hogy ezek a szenzorok mekkora bizonytalanságot rejtenek magukban a rengések intenzitásának becslésében.

13. ábra – a földrengések okozta természeti hatások bekövetkezésének lehetséges intenzitástartományai (forrás: Grünthal, 1998)



3.1 Kiegészítő a természeti hatások vizsgálatához: az ESI-2007 intenzitásskála

Az EMS-98 skálához az évek során számos kiegészítés született. Az egyik ezek közül az ESI-2007 intenzitásskála (Michetti et al., 2007), amelyet Olaszországban vezettek be először, ahol gyakoriak az erős földrengések. A magas intenzitások nehezen mérhetőek gyéren lakott vidéken, vagy ahol az összes épület összedőlt, így itt a természeti környezetet ért hatások felmérése kerül előtérbe.

A skála más 12 fokozatú makroszeizmikus skálákhoz igazodik, de az első három fokozat ezek közül kimarad, mert az ilyen kis intenzitásnál teljesen hiányoznak a diagnosztikus jegyként felhasználható környezeti hatások. Az EMS-98-hoz hasonlóan illusztrációkat is közölnek a terepi felmérést végző szakemberek munkájának megkönnyítésére. Például:

VIII. fokozat: kifejlődhetnek szárazföldi repedések akár több száz méter hosszúságban, néhány cm-t nem meghaladó méretű elvetésekkel, különösen sekély fészktű földrengéseknél, emellett néhány cm-es tektonikus besüllyedés vagy kiemelkedés is bekövetkezhet (14-15. ábra)



14. ábra – Az 1988-as spitaki (Örményország) földrengéstől létrejött felszíni repedések (forrás: Guerrieri – Vittori, 2007)



15. ábra – A 2003-as altaji (Oroszország) földrengés okozta hasadék (forrás: Guerrieri – Vittori, 2007)

3.2 Az intenzitásértékek értelmezési tartománya a magyarországi viszonyok között

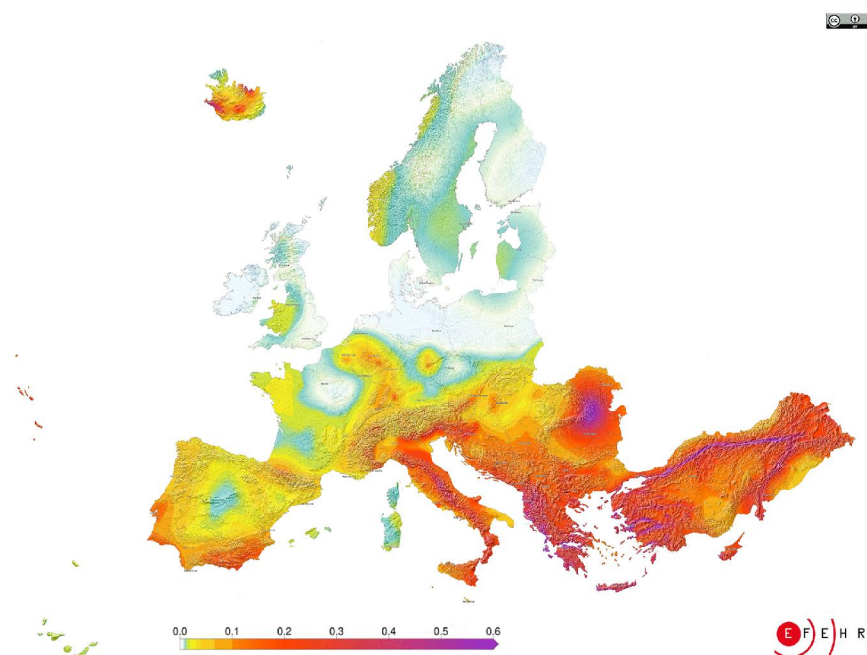
Az EMS-98 intenzitásskála több oldalon át ismerteti a 12 fokozat mindegyikére, hogy milyen jelenségek, hatások tapasztalhatóak az adott intenzitás fokozatnál. Az I-es intenzitás az emberek által még nem érzékelhető, csak műszeresen. A két szélső intenzitás, amire Magyarországon reálisan számítani lehet a II-es és a VIII-as (esetleg a IX-es). A dokumentáltan legerősebb intenzitás hazánkban ugyanis az 1763-as komáromi rengése volt: 6,2-es magnitúdó, VIII-IX-es maximális intenzitás (forrás: <http://www.seismology.hu/index.php/hu/szeizmicitas/a-mult-nagy-rengesei>).

Összehasonlítva a magyarországi makroszeizmikus kérdőív kérdéseit, többségük olyan, amely az EMS-98 skála leírásában is szerepel. A korábbi kérdőív készítői is igyekeztek tehát hűen követni azt. Az egyezés viszont nem teljes, aminek több oka lehet:

- Bizonyos hatások hiányoznak, pedig jól detektálhatóak (pl. víz kiömlése edényekből), ezek csak véletlenül maradhattak ki.
- Mások kissé eltérő formában szerepelnek (pl. az épülettípusok, épületkárok), ami a helyi építkezési szokásoknak tudható be.
- Magyarországon a VIII-as fokozatnál erősebb hatásokra nem érdemes rákérdezni, így a kérdőívben is hiányoznak ezek a kérdések (csak a teljes épület összedőlésére van külön kérdés).

4 Makroszeizmikus kérdőívek más európai országokban

Ebben a fejezetben áttekintem, hogy más európai országok milyen kérdőíveket alkalmaznak. A szomszédos országok mellett a nagy lélekszámú, illetve a legveszélyeztetettebb országokra (16. ábra) koncentráltam, különös tekintettel arra, hogy mi hasznosítható a magyar kérdőív javítására.



16. ábra – Európa földrengés-vesélyeztetettségi térképe az ESHM20 modell alapján
(forrás: EFEHR, <http://www.efehr.org/earthquake-hazard/hazard-map/>)

4.1 Szlovákia (https://www.seismology.sk/Makroseizmika/makro1_H.php)

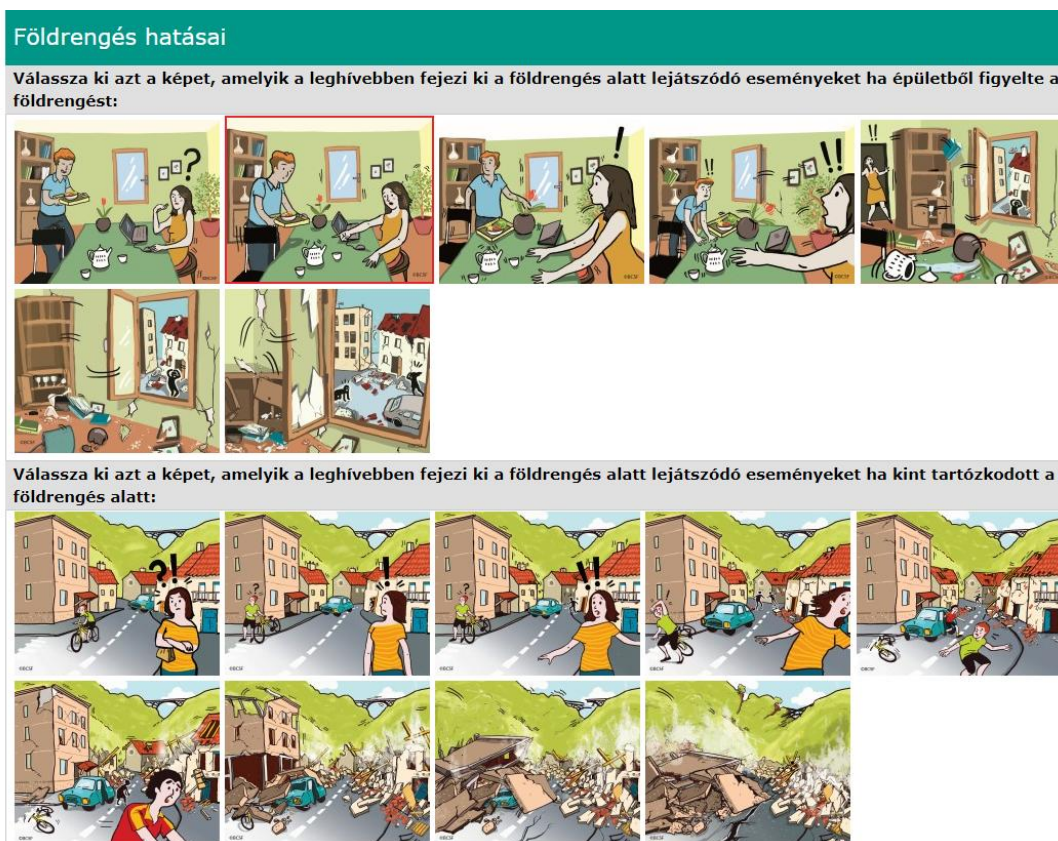
A Szlovák Tudományos Akadémia Földtudományi Intézetének honlapjáról nyitható meg a kérdőív. Megfontolandó számunkra is, hogy a kérdőív több nyelven is kitölthető: szlovák mellett magyarul és angolul is, illetve egyoldalas, így könnyebb benne mozogni, mint az ötoldalas magyarban. Érdekesség, hogy a kérdőívet kinyomtatva, postai úton beküldve is elfogadják.

Könnyítésképpen a települések legördülő listából választhatók, gépelésre a megfelelő névhez ugrik a kurzor. Ez a módszert a magyar kérdőívhez is javaslom átvenni az elírások kiküszöbölésére.

A magyartól eltérően a hanghatások listából választhatók, nem pedig szabadszövegesek, ezzel az utólagos kiértékelést nagyban megkönnyítve.

Az edényekben lévő folyadékokat ért hatásokat könnyű detektálni, amelyhez tartozó kérdés a szlovákban szerepel a magyarból viszont valamilyen okból kimaradt, így javasolt beletenni.

Szintén megfontolandó a magyar kérdőívben is szerepeltetni egy ábraszorozatot, amely nagyon szemléletesen mutatja be, hogy mit tapasztal a különböző erejű rengéseknél a megfigyelő az ártalmatlan meglepődéstől egészen a teljes pusztulást mutató Armageddon-szerű jelenetekig (17. ábra).



17. ábra – A szlovákiai makroszeizmikus kérdőív ábraszorozatai (forrás: https://www.seismology.sk/Makroseizmika/makro1_H.php)

4.2 Ausztria (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/erdbeben>)

A kérdőív a GeoSphere Austria honlapján található. Érdekessége, hogy az Ausztriával szomszédos országokból is elfogadnak bejelentéseket, illetve a magyarhoz hasonlóan a korábban rögzített földrengések időpontját külön kiválaszthatjuk.

A természeti adottságokhoz igazodva több a környezeti jelenségekre (talaj hullámzó mozgása, repedések a talajban, földcsuszamlás, kőomlás) vonatkozó kérdés, illetve az építési mód mellett rákérdeznek a sérült épület korára, illetve állapotára is. A szlovákiai kérdőívhez hasonlóan itt is vannak ábrák, amelyek elsősorban az emberek reakcióira kérdeznek rá a földrengés idején.

Itt is van a kérdőív végén „személyes megjegyzések” szakasz, ahol bátorítják a kitöltőt arra, hogy minden egyéb körülményt részletezzon, illetve megadnak egy e-mail címet, ahova fényképeket lehet beküldeni. Ezt a lehetőséget a magyar kérdőívben is érdemes megfontolni.

4.3 Románia (<https://infpapi.infp.ro/feedback/40254>)

Romániában hazánknál nagyobb a földrengés-aktivitás, különösen a Kárpátok brassói kanyarulata veszélyeztetett terület, ahol átlagosan évtizedenként pattan ki egy 6 körüli magnitúdójú rengés. (A www.earthquake.gov.ro alatt országonkénti csoportosításban érhetőek el a földrengésadatok).

A földtudományi kutatóintézet weboldaláról nyitható meg a kétnyelvű kérdőív (román, angol), amelyen számos, máshol nem látott újdonsággal találkozhatunk.

Egyrészt rögtön az elején választhatunk egy gyors, képeken alapuló kitöltési módot (20 másodperc), illetve egy részletes táblázatos formát (60 másodperc). Újdonság az automatikus helymeghatározás is, amely a mobilos kitöltésnél lehet előnyös. Mindkét újítás hozzájárul ahhoz, hogy minél több ember adjon visszajelzést, így Magyarországon is megfontolandó a bevezetésük.

A kitöltésnél szinte minden listából vagy jelölőnégyzettel választható, alig van szabadszöveges válaszadási lehetőség. Ez megkönnyíti a kiértékelést, illetve megadható a hatás időtartama is, ami utal a rengés jellegére és lefolyására. A ritkán lakott hegyvidéki régiók miatt az osztrák és olasz kérdőívhez hasonlóan itt is sok kérdés vonatkozik a természeti környezetet ért hatásokra.

Újdonság, hogy a kérdőívben rákérdeznek a rengést kísérő égi fényjelenségekre, villámlásokra is. Ezek ritkán, de előfordulhatnak, és nincs is még általánosan elfogadott magyarázatuk. A témával kapcsolatban elérhető források szerint a jelenség kapcsolatban lehet bizonyos típusú kőzeteknél az őket ért óriási feszültség hatására fellépő oxigénionizációval és az így keletkezett plazmának a repedéseken keresztül történő felszínre emelkedésével (Stromberg, 2014), illetve a kvarctartalmú kőzetek deformációját kísérő piezoelektromos hatás következtében létrejött elektromos térrel (Takaki & Ikeya, 1998).

4.4 Horvátország (<http://www.gfz.hr/seizmologija/upitnik.php>)

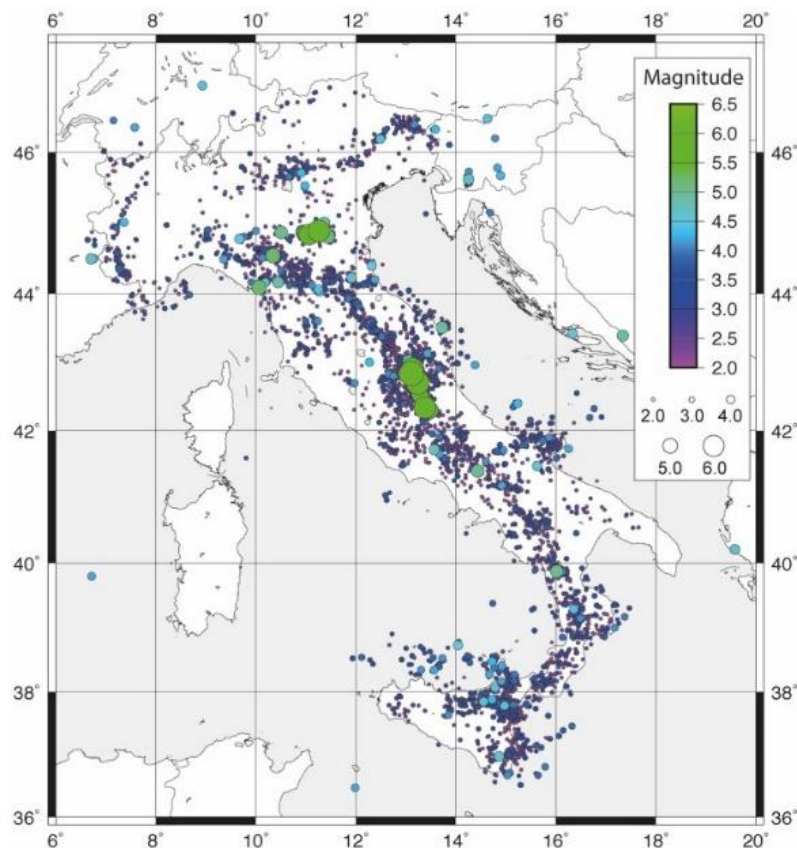
A Zágrábi Egyetem Geofizikai Tanszékének honlapján érhető el a kérdőív, sajnos csak horvát nyelven. Az erős horvátországi földrengések mellett a környező országok (Olaszország, Montenegró) rengései is érzékeltek itt a hatásukat.

A kérdőív szerkezete és kérdései nagyon hasonlítanak a már bemutatott kérdőívekéhez. Valószínűleg nem programmal értékelik ki, ugyanis a numerikusan megválaszolható kérdéseket is sokszor szabadszövegesen kérik be. Összességében nem sok minden használható a magyar kérdőív fejlesztéséhez. Néhány érdekesség:

- Az építőanyagon kívül arra is rákérdeznek, hogy milyen keménységű talajra épült az épület, és melyik emeletet érintették a sérülések. Puha talajon nyilván a gyengébb rengések is nagyobb károkat okozhatnak, és a magasabb emeleteken is erősebb lehet a rengés hatása.
- Nem csak az illető saját házát ért károkkal foglalkoznak, hanem bekérlik azt is, hogy hány másik ház károsodott a településen, és milyen súlyosan. Ez az erősebb intenzitások meghatározásánál segít, mert ott a károsodott épületek száma is számít a besorolásnál.

4.5 Olaszország (<https://www.hsit.it/compile.html>, és <https://www.hsit.it/emergeo.html>)

Olaszország különösen ki van téve a pusztító földrengések hatásainak, hiszen az Appennini-félsziget az Eurázsiai- és az Afrikai-kőzetlemez ütközésénél helyezkedik el. A 18. ábrán bemutatott térkép jól mutatja, hogy az ország területén rendszeresen kipattannak 4-5 körüli magnitúdójú földrengések, de nem ritkák a 6-os vagy még nagyobb magnitúdóval jellemezhető földmozgások is. A legtöbb nagy rengés a 18. ábra szerint az Appenninek középső részén keletkezik, de jelentősek a vulkanikus tevékenység gerjesztette rengések is, pl. Szicília ÉK-i részén, az Etna környékén, illetve a Lipari-szigeteken.



18. ábra – 11 253 db földrengés eloszlása (2007-2017) Olaszországban és környékén (forrás: Sbarra et al., 2020)

A Nemzeti Geofizikai és Vulkanológiai Intézet oldalán, kizárólag olasz nyelven tölthető ki a kérdőív, ami az egyik legjobban kidolgozott a feltett kérdések számát, változatosságát és az oldal vizualitását illetően. Egyedülálló módon rögtön két külön kérdőívet is ki lehet tölteni, az egyikben hagyományos módon az embereket, tárgyakat és épületeket ért hatásokra kérdeznak rá, a másik pedig a rengés által kiváltott természeti jelenségekkel foglalkozik.

A kérdőíveken különösen fontos a dátum és a földrengés helyének beazonosítása, mert Olaszország területén akár egymást követő napokon, sőt egy nap alatt akár 3-4 helyen is lehet rengés.

Amikor a kitöltő arról számol be, hogy egy hatást tapasztalt, egy külön színes szekció nyílik meg, ahol további részletek adhatóak meg. Ez egyrészt egy grafikusan vonzó megoldás, másrészt nem rettent el a kitöltőt, hogy egyből minden kérdés megjelenik.

A román kérdőívhez hasonlóan, de még részletesebben rákérdeznak a földrengés során látott fényjelenségre. A tapasztalatok szerint ez a jelenség a keményebb, sziklás hegyvidékek kvarcban gazdag kőzeteinél, illetve kőzetlemezek határán jelentkezik.

Vannak kérdések, amelyek mások, mint az EMS-98 skálánál megszokottak, mert Olaszországban az ESI-2007 természeti intenzitásskálát is használják. Példák a felmért hatásokra: repedések a talajban; sziklatömbök megmozdulása; földcsuszamlások; a talaj felpúposodása; kutak vízszintjének változása; a források vizének fluktuálása; hasadékok megnyílása.

Az olasz kérdőív a magyar mellett az egyetlen, amely a kitöltő személyes adatainak bekérésekor figyelembe veszi az Európai Unió adatvédelmi irányelvét (GDPR). Felhívja a figyelmet a kitöltő jogaira, és jelzi, hogy a bekért adatokat csak tudományos célú kutatásokhoz használják fel, és nem adják ki azokat harmadik félnek.

4.6 Svájc (<http://www.seismo.ethz.ch/en/earthquakes/did-you-feel-an-earthquake/>)

Svájc a központja az EFEHR konzorciumnak, amely összehangolja a földrengés kockázatok vizsgálatát Európában. Az ország területének nagy része ugyan az Alpok területén húzódik, amelynek felgyűrődése most is folyik, de az erős földrengések ritkák, 4-5 körüli magnitúdójúak (www.eart-hquakelist.org). Svájc szeizmicitása tehát hasonló, mint Magyarorszáé. A kérdőívet a Svájci Szeizmológiai Szolgálat tartja fenn, kitölthető angolul, illetve Svájc hivatalos nyelvei közül németül, franciául és olaszul. Külön hangsúlyozzák, hogy akkor is érdemes kitölteni a kérdőívet, ha

maga a kitöltő nem érzékelte a földrengést, csak hallomásból értesült róla, mert abból is fontos adatok nyerhetőek ki, illetve a szomszédos országokból is lehet küldeni beszámolókat.

A svájci kérdőív teljesen logikus felépítésű, előre felkínált válaszlehetőségekkel operál, teljesen automatikusan kiértékelhető, de az eddigiekhez képest sok átvehető újdonsággal nem szolgál.

4.7 Egyesült Királyság (<https://www.earthquakes.bgs.ac.uk/questionnaire/EqQuestIntro.html>)

A térség egyike a földrengések által legkevésbé érintett területeknek, mert távol esik a lemezperemeiktől. A Brit Geológiai Szolgálat (BGS) mindazonáltal fenntart egy makroszeizmikus kérdőívet.

A kérdőív a szokásos mindent listából felkínáló típusú, így gépi kiértékelésre alkalmas. A kitöltő megjelölheti, hogy ő maga nem érzékelte a földrengést, csak hallomásból értesült róla, ekkor kevesebb kérdésre kell válaszolnia. A cél ezzel a minél több kitöltött kérdőív begyűjtése.

A kérdőívből nem találtam átveendő elemet.

4.8 Franciaország (<https://www.franceseisme.fr/formulaire/index.php>)

Franciaország földrengés-veszélyeztetettség szempontjából kis-közepes kockázatúnak tekinthető. A kérdőív a Francia Központi Szeizmológiai Hivatal honlapján érhető el, kizárólag franciául. GDPR helyett egy francia adatvédelmi törvényre történik utalás. Furcsa, de nem kötelező megadni a kitöltő nevét, e-mail-címét. A kérdések és válaszlehetőségek többsége nagyon hasonlít az EMS-98 skálában megfogalmazott leírásokhoz.

A kitöltő a kérdőív végén itt is színes képek közül választhatja ki, hogy a környezetében milyen hatásai voltak a rengésnek, és azokra hogyan reagáltak az emberek.

4.9 Spanyolország (<https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-cuestionario-macrosismico>)

Spanyolország szeizmikusan igen aktív, különösen a Földközi-tenger menti régiókban. A kérdőívet a Nemzeti Geográfia Intézet (IGN) honlapján lehet kitölteni.

Egyedülálló megoldás, hogy az elmúlt 10 nap rengései közül egy listából választhat a kitöltő, és a rengés helye térképen is megjelenik, valamint a magnitúdója is leolvasható. Maga a kérdőív csak a rengés kiválasztása után töltődik be és a helyi nyelvek mellett (spanyol, katalán, baszk stb.) több más világnyelv is választható, amit Spanyolország kiterjedt turizmusa indokol.

Az észlelés helyszínének megadása precíz legördülőlistákban történik (tartomány/település/kerület részletességgel) ráadásul nem csak Spanyolországra, hanem a szomszédos Franciaországra és Portugáliára is. A hatások leírása ezután illeszkedik az EMS-98 skála definícióihoz.

5 Javaslatok a magyarországi kérdőív javítására

Az előző fejezetekben összehasonlítottam a magyar kérdőívet az EMS-98 skálával és több más ország kérdőívével. Röviden már utaltam rá, hogy milyen elemeket javaslok átvenni, amelyeket most csoportosítva részletezek.

5.1 Az automatikus kiértékelés elősegítése

1) Előre definiált válaszlehetőségek használata

A magyar kérdőív számos esetben szabad szövegesen kér be olyan adatokat, amelyeket előre definiált listából is ki lehetne választani, így a számítógépes feldolgozás sokkal egyszerűbbé és egyértelműbbé tehető. A tapasztalt hatásokat és az erősségüket célszerű minden esetben így bekérni és csak a legvégén egy szabadszöveges mezőt hagyni az egyéb észrevételeknek.

2) Bizonytalanságok elkerülése

A kiértékelést megnehezíti annak elkülönítése, hogy a kitöltő „nem tudta”, a felkínáltak közt „nem találta”, vagy csak egyszerűen üresen hagyta a választ, mert sietett a kitöltéssel. Javaslatom értelmében „Nem tudja” legyen az alapértelmezett válasz a bizonytalanság jelzésére.

3) Ismert földrengés helyszínek és időpontok felkínálása

Ez már most is így történik, az ügyeletes bővíti a listát, ha a műszerek is megerősítik az új rengést. Ha nem túl nagy informatikai fejlesztéssel megoldható, akkor a spanyol kérdőív mintájára érdemes térképen is megmutatni a listában szereplő rengések epicentrumait.

4) Előre feltöltött településlista, irányítószámlista használata

A kiértékelésnél egyértelműen ez okozza a legtöbb manuális munkát. A szabadszöveges megadás miatt nagyon sok a rontás. Alig van más ország, ahol nem előre definiált listából választhatóak a települések és az irányítószámok. Az új lista olyan lenne, amelybe gépelni kezd a kitöltő, majd az első néhány betű alapján automatikusan felkínálja a rendszer szóba jöhető településneveket, irányítószámokat. Az utca/házszám továbbra is szabadszöveges maradna.

5.2 A kitöltési hajlandóság és az áttekinthetőség javítása

1) Mobileszközökre optimalizált kérdőív

A jelenlegi kérdőív mobil eszközön nehézkesen használható. Kicsik a betűk és a jelölőnégyzetek, folyton nagyítgatni kell. Pedig az embereknel a mobil eszköz manapság mindig ott van, ezért segíteni kell a használatát, ám ez informatikai fejlesztést igényel a kérdőív HTML kódjában. Fontos szempont az is, hogy pontosabb információkat nyerünk, ha rögtön észlelés után ki tudják tölteni a válaszokat, mintha csak este számítógép mellett emlékezetből teszik.

2) Automatikus helymeghatározás lehetősége

Mobil eszközön kitöltve könnyebbség, ha böngészőprogram hozzáférhet az eszköz helyadataihoz, és ezek alapján képes automatikusan beazonosítani a kitöltő helyét, és a megfelelő település/irányítószám párost. Szintén informatikai fejlesztést igényel.

3) Feleslegesnek ítélt kérdések törlése

A tapasztalat szerint vannak kevesek által kitöltött, vagy a kiértékeléshez kevésbé használható kérdések is. Ezeket érdemes törölni, mert a hosszabb kérdőív csökkenti a kitöltés hajlandóságát.

4) Egyszerűsített kérdőívek bevezetése

Sok embernek nincsen elegendő ideje arra, hogy egy hosszabb kérdőívet kitöltsön, így elvesznek az ő értékes tapasztalataik és az ezekből kinyerhető adatok. Miattuk vezetnék be egy egyszerűsített változatot, melyen a román kérdőívhez hasonlóan csak a különböző intenzitású rengések lehetséges hatásait illusztráló rajzok közül kellene választani. A megoldás bevezetéséhez az informatikai fejlesztésen kívül kell egy grafikus is, aki megrajzolja az egyes képeket.

5) A kérdőív hírének terjesztése a médiában és közösségi felületeken

Tudatosan kellene hirdetni a kérdőív létezését (rádió- és tévécsatornák, internetes hírportálok és közösségimédia-oldalak), ezzel is népszerűsítve a kitöltést. (Most általában csak a KRSZO Facebook-oldalán végzik ezt a figyelemfelhívó tevékenységet.)

6) Többnyelvű kérdőív használata

Jelenleg a kérdőív csak magyar nyelven tölthető ki. A nagyszámú külföldi turista miatt legalább angolul és németül is lehetővé kellene tenni a kitöltést.

7) Fényképek beküldése

Több ország esetén is el lehet juttatni fényképeket az okozott károkról, vagy videókat, amennyiben sikerült a rengést rögzíteni. Ezeken a szeizmológusok észrevehetnek olyan egyéb hatásokat is, amelyeket a kitöltő nem látott meg, vagy elfelejtett beszámolni róluk. Erre az e-mailes beküldést tartom a legjobb megoldásnak, ami informatikai fejlesztést sem igényel.

- 8) Javasolt, hogy ne több oldalra szétbontva legyenek a kérdőív kérdései, hanem egyetlen oldalon, gördíthető formában, így könnyebb áttekinteni és előre-hátra lépkedni a korábbi kérdésekhez.
- 9) A kérdőív végére egy új szövegdobozt javaslok, amelyben a válaszadó visszajelzéseket küldhet a kérdőív kitöltéséről, a kérdések érthetőségéről, fejlesztési javaslatairól.

5.3 Biztonság és adatvédelem

- 1) CAPTCHA ellenőrzés

Egyedülálló a magyar kérdőívnél, ezt mindenképp érdemes megtartani.

- 2) GDPR nyilatkozat és explicit beleegyezés

Már van ugyan a kérdőív elején egy GDPR nyilatkozat, de bejelölhetővé kell tenni, hogy a kitöltő explicit módon hozzájárul a bizalmas adatai kezeléséhez. Ez a megkövetelt gyakorlat.

5.4 Harmonizálás az EMS-98 skálával

- 1) Mennyiség kategóriák egységes kezelése

A jelenlegi kérdéseknél is javasolt a skála definícióinak pontosabb követése, és a „néhány/sok/legtöbb” mennyiségi kategóriák általánossá tétele.

- 2) Hanghatások jellemzése legördülő listákból

A jelenlegi szabadszöveges megadás helyett egy legördülőlistából, előre megadott hanghatások, hangérzetek használata javasolt (zörög, nyikorog, csörömpöl). Új kérdés: „Hogyan jellemezhető a hallott hang erőssége?” Az automatizált kiértékelést ezek nagyban megkönnyítik.

- 3) Általában célszerű külön rákérdezni, mit érzett a kitöltő és a környezetében helyet foglalók. Ha mások is ott vannak, amikor a kitöltő felviszi a válaszokat, akkor meg tudja kérdezni a tapasztalataikat, ezzel is gazdagítva a kinyert információt.

- 4) Új kérdés: „Megijedt-e a földrengés következtében?” Az alábbi választási opciókkal: egyáltalán nem; inkább kíváncsi lettem; kissé; nagyon.

- 5) Az állatokra vonatkozó kérdés bővebb válaszlehetőségekkel (nyugodtak maradtak, nyugtalanná váltak, megijedtek, nem volt állat a közelemben).

- 6) Új kérdés: az edényekben lévő folyadékok viselkedése, ezek ugyanis könnyen megfigyelhető, érzékeny jelzői a rengésnek.

- 7) A „Templomharang megszólalt.” kérdés elhagyása (EMS-98 sem használja az intenzitás meghatározásában, és a tapasztalatok alapján alig töltik ki).

- 8) Az a kérdés, hogy hányszor élt már át a kitöltő földrengést, esetleg elhagyható. Van ugyan többletinformációja (aki először él át rengést, az hajlamos eltúlozni a beszámolóját), de nincs elfogadott módszertan ennek a megbízható korrigálására.
- 9) „Egyéb, a természetben megfigyelhető jelenségek” kérdésre további válaszlehetőséget javaslom. Bár az EMS-98 leírása figyelmeztet arra, hogy ezek kevésbé egzakt módon használhatók pontos intenzitásbecslésre, mint a tárgyakat, épületeket ért hatások, de lakott területektől távol esetleg ez az egyetlen tapasztalt hatás. Az épületkárokra vonatkozó kérdésekhez hasonlóan csak akkor jelennek meg, ha előzetesen kiválasztják, hogy valóban tapasztaltak ilyen hatást.
- 10) Modern épülettípusok szerepeltetése
- Az építkezési formák változnak, így a panel és az acélvázaz, üvegborítású épületek szerepeltetés indokolt, eddig hiányoztak a magyar kérdőívből. A román kérdőívhez hasonlóan az EMS-98 skála sérülékenységi osztályai szerint javaslom az épület típusok felsorolását.

6 A módosított magyarországi makroszeizmikus kérdőív

A változtatásokat az eredeti kérdőívhez képest sárgával kiemeltem:

- ezek egy része a kitöltést segítő automatizmus,
- másokra azért volt szükség, hogy az EMS-98-cal jobban szinkronba kerüljön a kérdőív.

A vázlatban az egyszeres választást kör, a többszörös választást négyzet, a szabadszövegesen kitöltendő részeket pedig pontozás jelöli.

Személyes adatok

A bejelentő neve:

A bejelentő e-mail címe:

A jelenlegi kérdőív GDPR megfelelésre vonatkozó tájékoztató szövege átemelhető. **A bejegyzést választónégyzettel kérjük kinyilvánítani:**



Földrengés adatai

Érzett-e földrengést a közelmúltban? ☐ igen ☐ nem

Kérem, válassza ki a földrengés időpontját! (ha nem találja az időpontot, adja meg felsorolt dátumok közül a megfelelő dátumformátum ellenőrzésével)

Hol érezte a földrengést?

település (ha nem találja a listában, az „egyéb” válasz-
lehetőségénél írja be): ☐ ☐ egyéb:
(gépelés közben automatikus kiegészítést kínálva a magyar települések listájából) (csak szöveg írható be)

irányítószám (ha nem találja a listában, az „egyéb” válaszlehetőségénél írja be, kitöltése kötelező): ☐ ☐ egyéb:
(automatikusan kitöltve a beírt település alapján)

út/utca/tér/sétány/fasor/egyéb: házszám:

Az észlelés körülményei

A földrengés idején hol tartózkodott? ☐ szabadban ☐ földszinten ☐ 1. emeleten
☐ 2. emeleten ☐ 3. emeleten ☐ 4. emeleten ☐ 5. emeleten
☐ 5. emeletnél magasabban ☐ pincében ☐ álló járműben ☐ mozgó járműben

Az észlelés idején: ☐ ült ☐ állt ☐ feküdt (ébredt volt)
☐ aludt ☐ járkált ☐ egyéb

Hogyan jellemezhető legjobban a rengés? ☐ hullámozó mozgás ☐ hirtelen lökés
☐ rázkódás ☐ nem volt rázkódás ☐ nem tudom eldönteni

Hogyan jellemezhető legjobban a rengés erőssége? ☐ alig volt érezhető ☐ gyenge, de határozottan lehetett érezni ☐ közepes ségű volt ☐ erős- érezni ☐ erősen lehetett érezni

Milyen hangot hallott? ☐ nem volt hang ☐ morajló ☐ mennydörgő
☐ robbanó/puffanó ☐ sistergő/zúgó ☐ beltéri tárgyak okozta (zörgő, csörömpölő, recsegő vagy nyikorgó) ☐ nem tudom eldönteni

Hogyha hallott hangot a rengés során, hogyan jellemezhető annak erőssége? ☐ alig hallható ☐ gyenge, de határozottan hallható ☐ közepes erősségű ☐ nagyon hangos

A földrengés hatása élőlényekre

Hogyan jellemezné a rengés során az Ön házában, szomszédainál történeteket? ☐ nem tudom, mások érezték-e a rengést ☐ senki sem érezte
☐ néhányan érezték ☐ sokan érezték ☐ a legtöbben érezték ☐ mindenki érezte

Felébredt a földrengésre? ☐ nem aludtam ☐ igen ☐ nem

Mások felébredtek a földrengésre? ☐ nem tudom ☐ nem, senki sem
☐ csak néhányan ébredtek fel ☐ sokan felébredtek ☐ a legtöbben felébredtek

Hogyha Ön állt a földrengés bekövetkezésekor, egyensúlyát veszítette-e? ☐ nem álltam ☐ nem okozott gondot az egyensúly megtartása ☐ igen, nehezemre esett állva maradni

Más emberek a környezetében egyensúlyukat veszítették-e?	☐ nem tudom / senki sem állt a környezetemben	☐ senki sem veszítette el az egyensúlyát	☐ néhány embernek gondot okozott az egyensúly megtartása
☐ az épületekben tartózkodó emberek közül sokan nehezen tudtak állva maradni	☐ emberek közül sokan	☐ az épületeken kívül is sokan egyensúlyukat veszítették	

Megijedt-e a földrengés következtében?	☐ egyáltalán nem	☐ inkább kíváncsi lettem	☐ kissé	☐ nagyon
---	--------------------------------------	--	-----------------------------	------------------------------

Ön vagy bárki félelmében kimenekült-e az épületből?	☐ nem, senki sem	☐ csak néhányan menekültek ki
--	--------------------------------------	---

☐ sokan kimenekültek	☐ mindenki kimenekült	☐ nem tudom
--	---	---------------------------------

A lakáson/házon belül lévő állatok (kutya, macska, hörcsög stb.) megijedtek?	☐ nyugodtak maradtak	☐ nyugtalanlanná váltak	☐ megijedtek	☐ nem tudom / nem volt ilyen állat a közelemben
---	--	---	----------------------------------	---

A szabadban tartott állatok (tehén, disznó, birka, csirke, ló stb.) megijedtek?	☐ nyugodtak maradtak	☐ nyugtalanlanná váltak	☐ megijedtek	☐ nem tudom / nem volt ilyen állat a közelemben
--	--	---	----------------------------------	---

A földrengés környezetre gyakorolt hatása

Szabadon függő tárgy. (pl. csillár) kilengett:	☐ egyáltalán nem	☐ nagyon gyengén	☐ kicsit
---	--------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------

☐ közepesen	☐ erőteljesen	☐ nem tudom / nem volt ilyen tárgy a környezetemben
---------------------------------	-----------------------------------	---

Poharak, edények:	☐ zörögtek	☐ csörömpöltek	☐ összetörték	☐ egyik sem	☐ nem tudom
--------------------------	--------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Ablaküvegek:	☐ megrezdültek	☐ megrepedtek	☐ betörték	☐ egyik sem	☐ nem tudom
---------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Felfüggesztett tárgyak (pl. képek) a falon:	☐ megmozdultak	☐ elferdültek	☐ leestek	☐ egyik sem	☐ nem tudom
--	------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

A polcokon lévő kisebb, bizonytalanul kiegyensúlyozott tárgyak közül:	☐ egy sem dőlt el vagy esett le	☐ néhány eldőlt vagy leesett	☐ sok dőlt el vagy esett le	☐ nem tudom
--	---	--	---	---------------------------------

Kisebb bútorok (pl. székek):	☐ rázkódtak, de a helyükön maradtak	☐ elmozdultak a helyükről	☐ felborultak	☐ egyik sem	☐ nem tudom
-------------------------------------	---	---	-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Nagyobb bútorok (pl. szekrények):	☐ rázkódtak, de a helyükön maradtak	☐ elmozdultak a helyükről	☐ felborultak	☐ egyik sem	☐ nem tudom
--	---	---	-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

Az úszómedencékben, nagyobb tartályokban lévő folyadékok:	☐ mozdulatlanok maradtak	☐ enyhén hullámoztak	☐ erősen hullámoztak
--	--	--	--

☐ kiömlöttek a kisebb edényekből	☐ kiömlöttek a nagyobb tartályokból/medencékből is	☐ nem tudom / nem volt ilyen a környezetemben
--	--	---

Kérjük jelölje be, hogy az alábbiak közül mit tapasztalt!

Faszerkezet (pl. tetőzet, ajtó) nyikorgott, recsegett:	☐	Egész épület rázkódott:	☐
---	--------------------------	--------------------------------	--------------------------

Ajtó, ablak becsukódott vagy kinyílt: ☐ Nagyobb tárgy (pl. TV) leesett: ☐

Sírkövek, szobrok, emlékművek: ☐ elmozdultak ☐ ledőltek

Tapasztalt-e természeti jelenséget a rengéskor? ☐ igen (ezutáni kérdések megjelenése csak ennek bejelölése után) ☐ nem

A természetben megfigyelt jelenségek

A puha talaj hullámszerűen mozgott: ☐ A talajban repedések jelentek meg: ☐

Állóvízben egymást követő hullámok alakultak ki szélcsendben, vagy a vízben hirtelen örvények jelentek meg: ☐

Tó, folyó vize váratlanul zavarossá vált: ☐ Kútban megváltozott a víz-szint: ☐

Forrás vize hirtelen elapadt, és száraz maradt, vagy később újra megeredt a vize: ☐

Földcsuszamlás történt: ☐ Kőomlás következett be: ☐

A talaj felpúposodott, benne kráterek/iszapvulkánok jelentek meg: ☐

A növények levelei, fák ágai szélcsendben rezegtek: ☐

Egyéb, fent nem részletezett természeti jelenségek:

Épület megsérült? ☐ igen (ezutáni kérdések megjelenése csak ennek bejelölése után) ☐ nem

A sérült épület jellemzői

A sérült épület legfőbb építőanyaga: ☐ vertfalú vagy vályog ☐ téglá ☐ kő ☐ salak vagy salakbeton

☐ panel ☐ beton vagy vasbeton ☐ fa vagy favázasszerkezetű ☐ acél és üveg ☐ egyéb ☐ nem tudom

A sérült épület földeme milyen anyagból készült? ☐ vasbeton ☐ fa ☐ egyéb ☐ nem tudom

A sérült épület állapota a rengés idején: ☐ nagyon jó ☐ jó ☐ közepes

☐ felújításra szoruló ☐ felújítás alatt álló ☐ nem tudom

A sérült épület funkciója: ☐ családi ház ☐ melléképület (pl. garázs, fészter) ☐ nem lakótelepi társasház ☐ lakótelepi épülettömb

☐ iroda- vagy üzletház ☐ templom ☐ iskola ☐ ipari létesítmény ☐ egyéb

A sérült épület anyagával, földemével, állapotával és funkciójával kapcsolatos egyéb megjegyzések:

Épületsérülések

Vakolatsérülések:	☐ hajszálrepedések egy-két falon	☐ hajszálrepedések sok falon	☐ nagyobb vakolatrepedések
☐ kisebb vakolatdarabok leesése falról vagy mennyezetről	☐ nagyobb vakolatdarabok leesése falról vagy mennyezetről		
Repedések a falban:	☐ válaszfalon	☐ főfal	☐ mennyezeten
	☐ oromfalban	☐ nyílászárónál	☐ kéménynél
Burkolóelemek (csempe, járólap stb.):	☐ megrepedtek/összetörték (lehullás vagy felboltozódás nélkül)		
	☐ lehullottak/felboltozódtak		
Kémény sérülése:	☐ néhány téglakimozdult	☐ néhány téglalott	☐ részben ledőlt
	☐ teljesen ledőlt		
Tetőcserepek közül:	☐ néhány lehullott	☐ sok lehullott	
Mély törések, rések:	☐ válaszfalon	☐ főfal	☐ mennyezeten
	☐ oromfalban		
Leomlott:	☐ mennyezet	☐ válaszfal	☐ főfal
	☐ épületrész		
Egész épület összedőlt:	☐ igen	☐ nem	

Észrevételek

Kérjük, itt jelezze egyéb megjegyzéseit, észrevételeit az Ön által átélt eseményekkel kapcsolatban!

Ha fényképeket is szeretne csatolni a kommentárjához, küldje el őket az alábbi e-mail címre: külön e-mail cím megadása, ahol a beküldött fényképeket várják

Tapasztalatok a kérdőív kitöltése kapcsán (mennyire érezte könnyűnek, egyértelműnek):

7 A kérdőívek adatbázisának kiértékelése

7.1 A kiértékelés jelenlegi módszere

A nemrégiben kipattant rengésekhez tartozó ún. *aktív események* folyamatosan frissülnek a beérkező kérdőívekkel, amelyek egy adatbázisba kerülnek.

A *rengés időpontja* kétféleképpen is megadható: aki először érzékelt egy szeizmikus eseményt, kézzel írhatja be az időpontot. Erre ritkán van szükség, mert 24 órás ügyelet biztosítja, hogy amikor egy szeizmikus eseményt sikerült műszeresen kimérni, az obszervatórium ügyeletes kézzel felveszi a rengés idejét a kérdőívbe, így a kitöltő legtöbbször már a beírtak közül választhat.

Az *érzékelés helyét* a kitöltő irányítószámmal, illetve település-utca pontossággal adhatja meg. A kiértékelés a településnéven alapul, mert ehhez hozzárendelhető egy viszonylag kis méretű térképi

terület. Az irányítószámoknál gondot okozhat, hogyha nem illeszkedik a településhez/utcanévhez, egy irányítószámhoz egyszerre több település is tartozik, vagy egy cég telephelye saját irányítószámmal rendelkezik, ezért viszonyítási alapként nem használhatóak kielégítő pontossággal.

Fontos kiszűrni a hamis adatokat tartalmazó kérdőíveket, amelyeket pontatlanul küldtek be. Ezeken gyakoriak a hiteltelen, ellentmondásos információk, (például az epicentrumtól távoli észlelési címet jelöltek meg), vagy a jelentett hatások kiugróan eltérnek más válaszokétól. Rutint és szakértelemet igénylő lépés ez, és jelenleg manuálisan történik. A jövőben gépi tanulással működő, anomáliadetektáláson alapuló (pl. „spatial outlier detection”) algoritmussal lehet segíteni ezt a lépést.

A beérkezett kérdőíveket az intézet munkatársai értékelik ki Excelben az alábbi folyamattal:

- 1) A szeizmográfok mérései jelzik, hogy valóban szeizmikus esemény történt és pontosan mikor.
- 2) Az eseményhez tartozó kérdőívek kiértékelése akkor kezdődhet, ha már kellően sok bejelentés érkezett. A teljes kiértékeléssel viszont várni kell, mert gyakran néhány nap késéssel futnak be az utolsó kérdőívek.
- 3) A beszámolókat ellenőrzésre és tisztításra egy Excel-táblázatba töltik (egy sor - egy bejelentés). Ha egy kérdőívben bizonytalan az időpont, a helyszín, vagy a hatások leírása hiányos, illetve túlságosan összefüggéstelen adatokat tartalmaz, akkor félrerakják egy „Undefined” (definiálatlan) feliratú földre. Ezek aránya éves átlagban 10% környékén szokott lenni, és legtöbbször olyan szeizmikus események vélt megfigyeléséről számol be, amelyek bekövetkeztét a műszeres adatok nem igazolták (2024-ben eddig 389 kérdőív érkezett be, és közülük 342-t tudtak intenzitás-kiértékelésre felhasználni, 47-et pedig félretettek.)
- 4) A kitöltők bizonyos pontatlansággal adják meg az időpontot, ezért a kutatók a szeizmográf által mért időponthoz rendelik a bejelentést. Ritkán, de előfordul, hogy valaki egyszerre érzi a rengést és annak utórengését, viszont ugyanazon a kérdőívben küldi be a velük kapcsolatos észleléseit, ilyenkor még nagyobb kihívás a hatások szétválasztása.
- 5) A használható kérdőíveket településenként csoportosítják, és ezekhez kézzel végzik el az intenzitás meghatározását. Ez úgy történik, hogy megnézik, hány „igen” válasz érkezett be az egyes kérdéscsoportokra, és az ilyen válaszok aránya mekkora az összes beérkezett kérdőívhez viszonyítva. Az előfordulási számokat összevetik az EMS-98 skáladefinícióival. Ha azt látják, hogy egyszerre sok kérdőívben számolnak be ugyanarról a hatásról, akkor valószínűsítik, hogy az intenzitás legalább akkora, mint amelyik skálafokozat leírásánál először jelenik meg a hatás

bekövetkezése. Amikor csak kevés beszámolóban fordul elő az adott hatás, ott ennél alacsonyabb intenzitást feltételeznek. Általában a „kevés-sok-legtöbb” számszerűsítő kifejezéseket is felhasználják az intenzitás pontosításához. Így lépkednek végig a kérdésekre adott válaszokon, és végül ezek alapján kikövetkeztetik, hogy mi a legvalószínűbb intenzitása a rengésnek.

- 6) Nem mindig lehet egyértelműen meghatározni az intenzitást a válaszokból, ha egy kisebb településnél túl kevés válasz érkezett be, akkor bizonytalanabb az intenzitás becslése az adott helyre, ezt pedig úgy jelzik, hogy egyszerre több intenzitásértéket is megadnak hozzá kötőjellel elválasztva (pl. III-IV). A kiértékelésben sokszor nagy szerephez jutnak a szövegdobozokba írt írásos megjegyzések is, de ezek értelmezésénél már sok a szubjektív elem.
- 7) A kiértékelési folyamat végén, amikor már az összes településhez hozzárendelték a neki megfelelő intenzitást és a földrajzi koordinátákat, akkor szoftveres segítséggel térképet szerkesztenek belőlük. Minden településre, ahonnan érkeztek be értékelhető kérdőívek, színes körökkel jelenítik meg, hogy mekkora volt ott az intenzitás (ahogyan az a 4. ábrán is látszik). Az elkészült térképek a KRSZO évente megjelenő, az év nagy földrengéseit dokumentáló évkönyvébe, a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletinbe kerülnek be. Az intenzitásokat ShakeMap-térképek készítéséhez is fel lehet használni, melyhez műszeres adatokat is igénybe vesznek. Ezekből maximális talajgyorsulást és sebességet számítanak, majd intenzitássá konvertálják. Az állomások helyét a jobb elkülönülés érdekében háromszögekként megjelenítve viszik térképre.

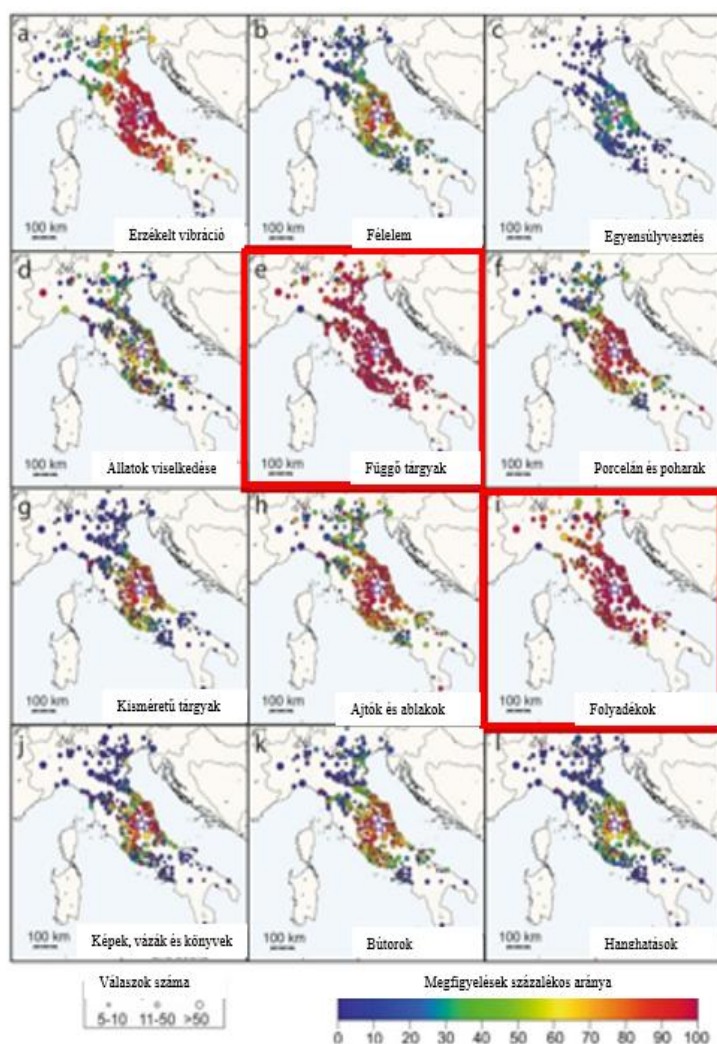
7.2 Figyelembe vett szempontok a kiértékelőprogram készítése során

A dolgozat részeként elkészítettem egy Python programnyelven írt kiértékelőprogramot a feldolgozás gyorsítására. A program a már megtisztított adatbázisból dolgozik, amelyből kézzel törölték a hiányos vagy hibásnak ítélt válaszokat. A későbbiekben azonban továbbfejlesztési lehetőséget kínál a gépi tanulással történő szűrés, például az ún. „spatial outlier detection” (kiugró értékek felismerése) módszerrel.

Magyarország szeizmikus aktivitása aránylag kicsi, ezért a 12 fokozatú skálán II-estől VI-os (szélsőséges esetben VII-es, VIII-as) intenzitásig lehet számítani földrengések bejelentésére. Az I-es fokozatot csak a szeizmográfok képesek rögzíteni, VI-os fokozat fölött pedig kellően sok épületkár fordul elő ahhoz, hogy az intenzitás helyszíni felméréssel meghatározható legyen, amelyet szakemberek végeznek. A program ezért csak az EMS-skála II-es és VIII-as közti fokozatait használja.

A kiértékelőprogram létrehozásakor arra is ügyelni kell, hogy az észlelők által tapasztalt egyes hatások a rengés magnitúdójától és az epicentrumtól mért távolság függvényében eltérő mértékben csillapodnak. Olasz kutatók (Sbarra et al., 2020) térképen ábrázolták, hogy 3 rengés hatásait milyen távolságban mekkora arányban érzékelték az észlelők (19. ábra).

Azt tapasztalták, hogy a távolsággal fordított arányban áll, és általában rohamosan csökken a bejelentett észlelések száma. Van azonban 2 kivétel: a felfüggesztett tárgyak lengedezése, valamint a tárolóedényekben lévő folyadékok hullámozása még az epicentrumtól több száz km-es távolságra is a kérdőívek kb. 80 %-ában szerepelt. Különösen a nagy magnitúdójú, alacsony frekvenciájú rengéseknél figyelhető meg ez az összefüggés, amelyet a kiértékelést végző program egymástól eltérő súlyok alkalmazásával vesz figyelembe.



19. ábra – A 2016-os, 6.5 magnitúdójú norciai földrengés hatásainak százalékos észlelése (Sbarra et al., 2020 alapján a szerző módosította)

7.3 A program fejlesztéséhez használt adatbázis

Egy olyan adatbázissal történt a program fejlesztése (2020. dec. 29. 12:19-es rengés, Petrinja),

- amely kellően erős és egyben alacsony fészekmélységű rengésről szól (magnitúdó 6,7; fészekmélység 5 km),
- epicentruma Magyarországon, vagy a határhoz közel található (attól kb. 100 km-re),
- ezért Magyarországon is kellően sokan észlelték (Dél-Dunántúlon, de még Budapesten is).

A rengésről így mintegy 2700 kitöltött kérdőív érkezett a máskor szokásos néhány száz helyett.

- a határ mentén a Dél-Dunántúlon V-VI intenzitásértékeket jelentettek,
- ami a Közép-Dunántúlon és a Dél-Alföldön IV-es, Észak-Dunántúlon és Budapesten III-as intenzitásúra csillapodott, távolabbról pedig szinte nem is érkezett bejelentés.

A válaszokból kiderül, hogy kora délután lévén a legtöbben valahol ültek (kevesen írták, hogy felébredtek), és a rengést általában gyenge vagy közepes hullámzó mozgásként írták le.

Sokan írtak hanghatásokról, de 100-nál is több kifejezéssel írták le a hallottakat, ami a kiértékelést nagyban megnehezíti. A szabadszöveges bevitt legördülő listára javasolt cserélni.

Épületkárról kevés bejelentés érkezett, mivel ez csak az V-ös szinten jelentkezne, illetve a többség jó (C vagy D sérülékenységi osztályú) épületben lakik.

A kérdőív végén személyes megjegyzéseket tehetnek a kitöltők, amelyből következtethetünk az ijedtségükre, iskolázottságukra, humorukra, ez azonban nem ennek a dolgozatnak a témája. Számkra szerencsés módon viszont karácsony után történt a rengés, így sok beszámoló említi a karácsonyfát és a díszeket ért hatásokat (pl. „a fenyőfa rezgett” vagy „a díszek 2-3 cm-t kilengtek”).

7.4 A számítógépes kiértékelés általános menete és lehetséges algoritmusai

A kérdőívek válaszait egy adatbázis gyűjti, amely a kutatók számára XLS formátumba letöltve áll rendelkezésre. Ezt „Tab-szeparált” Unicode szövegfájlba exportálva egy Python nyelvű program dolgozza fel. Néhány oszlop – bár hasznos kiegészítő információval szolgál – nem használható az intenzitás kiértékelésére, így ezeket a program figyelmen kívül hagyja.

A felvett adatokat előbb számokká alakítjuk az alábbiak szerint:

(0) nem adott választ, vagy nincs tudomása róla a kitöltőnek, (1) a határozott „nem”, (2) az „igen”.

A 2-nél magasabb értékek pedig az „igen” válaszokat osztályozzák tovább, ahol vannak a válaszoknak fokozatai (pl. a rázkódás, hanghatás erőssége vagy a tartózkodási emelet).

Speciális kódolású az a kérdés, hogy hány ember érzékelte a földrengést: 0 – nem tudja, 1 – senki, 2 – egy-két ember, 3 – néhányan, 4 – sokan, 5 – a legtöbben, 6 – mindenki, 7 – csak a beltérben tartózkodók, 8 – csak az emeleten tartózkodók.

A kiértékelés végeredménye, hogy minden településhez hozzárendelünk egy intenzitásértéket, a tapasztalt hatásokat megfeleltetve az EMS-98 skála definícióival.

Több különböző módszer is létezik arra, hogyan lehet a beérkezett válaszok előfordulási arányát megfeleltetni a földrengés adott helybeli intenzitásnak, ezek közül ismertetek kettőt.

7.4.1 Ausztriában alkalmazott módszer

Ausztriában a (Lenhardt, Horn & Vogelmann, 2004) által leírt módszert használják. Három csoportra osztják a kérdésekre adott válaszokat: (1) embereken tapasztalt, (2) tárgyakat ért hatások, és (3) épületkárok.

Mindegyik csoporthoz tartozik egy kiértékelő táblázat, amelynek a cellái megmutatják, hogy adott intenzitású rengéskor mit észlelt a kitöltő az embereken, tárgyakon, épületeken. A táblázat soraiban az EMS-98 intenzitások vannak 1-től 12-ig, az oszlopok pedig azt mutatják meg a kiértékelés végén, hogy a kitöltők hány százaléka tapasztalta az adott intenzitásnak megfelelő hatásokat (20. ábra).

EMS-98	Very few (< 1%)	Few (1% - < 20%)	Many (20% - 60%)	Most (> 60%)	Position in Matrix	Legend
1	-	-	-	-	R, R*	Felt at rest
2	R, T	-	-	R*	S	Indoors
3	-	S, T	R		T	Slight trembling
4	W	U	S		U	Awake
5	-	W, X	U	S, V	V	Strong trembling
6	-	Y	W, X	S	W	Outdoors
7	-	-	Y, Z	W, X	X	Frightening
8	-	-	Z	-	Y	Balance, upper floors
9	-	-	-	Z	Z	Balance
10	-	-	-	-		
11	-	-	-	-		
12	-	-	-	-		

* only in upper floors

20. ábra – Észlelt hatásokat összesítő táblázat (Lenhardt, Horn & Vogelmann, 2004)

Látható, hogy az R-Z kódok átlós elhelyezkedése azt tükrözi, hogy arányaiban minél több ember érez valamilyen hatást, annál erősebb intenzitást feleltetnek meg a rengésnek.

Kezdetben minden cellába 0 van írva. Ezután végigmennek az egy környékről/irányítószámról beérkező kérdőíveken és 1-gyel növelik a cellába írt számot, ha az adott észlelő tapasztalta a cellához tartozó hatást. Amikor végigérnek a kérdőíveken, az oszlopok és sorok metszéspontjában levő szám nagysága megmutatja, hogy az észlelő közösség milyen arányban tapasztalta az intenzitást.

Az észlelők által leadott minden válasz olyan, mint egy szavazat az intenzitásra, amelyeket a 3 táblázat cellái összesítve tartalmaznak. Mindhárom táblázatban kiszámítják, hogy az észlelők hány százaléka szavazott az egyes intenzitásokra, majd utána egy súlyozott képlettel statisztikai módszerekkel összesítik a 3 táblázatot, hogy megnézzék, melyik intenzitás a legvalószínűbb (azaz melyik intenzitást elfogadva adódik a legkisebb szórás a válaszokra).

Ennek a módszernek az előnye, hogy nagy pontossággal veszi figyelembe az EMS-98 skála intenzitásdefinícióit, és a kérdésekre adott válaszokból az előfordulási gyakoriságokat.

Viszont a módszer hátránya, hogy nem a magyar kérdőíven alapul, így csak egy részét tudnánk alapul venni a kérdőíves válaszoknak, illetve a kiértékelő táblázatokat is viszonylag nehéz megszerkeszteni.

7.4.2 Nagy-Britanniában alkalmazott módszer

A Brit Geológiai Kutatóintézet (Musson, 2006) által leírt módszere segédváltozókon alapuló számításokkal határozza meg a földrengések intenzitását. Az emberi döntéshozatali folyamatot követi, előbb a legerősebb feltételezett intenzitásra utaló jeleket keresi a válaszok közt, és ha ilyet nem talál, akkor a gyengébb intenzitások felé halad. A kiértékelőprogram is ezt a módszert használja.

Először néhány változót definiálunk. Ezekkel számoljuk össze, mit jelentettek be a kitöltők:

N_2 – a kitöltött kérdőívek teljes száma a vizsgált földrengésre,

N_1 – ebből azoknak a száma, ahol „igen”-t, vagy „nem”-et válaszoltak arra, hogy éreztek egy hatást,

N_p – pedig csak azoknak a száma, ahol „igen”-t választ adtak arra, hogy érezték a hatást,

$(N_2 - N_1)$ tehát a „bizonytalanok” száma (akik nem válaszoltak, vagy a „nem tudom” választ adták),

v – pedig egy 0 és 1 közt választható arányszám, ami megmondja, hogy a bizonytalan válaszokat inkább „igen”-nek, vagy inkább „nem”-nek tekintsük a kiértékeléskor. Ezt 1-nek vagy 1-hez közelinek szokták választani. Azt mutatja meg, hogy az $(N_2 - N_1)$ darab eset mekkora része legyen

tényleges „nem” válasznak elszámolva ott, ahol a kitöltő bizonytalan volt ($v = 1$ esetén az összes ilyen válasz „nem”-nek, $v = 0$ esetén pedig „igen”-nek lesz tekintve).

A program végiglépked a beérkezett kérdőíveken és a bennük bejelentett észleléseken. Közben 13 db B, S, F, O, R betűvel és 1, 2, 3 indexszel jelölt kategória mindegyikére kiszámolja az alábbi képlettel, hogy milyen arányban jelentették a kitöltők az adott típusú hatást:

$$R = \frac{N_p}{N_1 + v \times (N_2 - N_1)}$$

A 13 kategória a következő hatások előfordulási arányát gyűjti, erősebbtől a gyengébb felé:

- B1, B2, B3: 1-es, 2-es vagy 3-as szintű épületkár az EMS-98 skála szerint,
- S1, S2, S3: erős vibráció és hang vs. kisebb erőhatások (pl. képek lengenek, kisebb tárgyak felborulnak) vs. nagyobb erőhatások (pl. bútorok felborulnak, könyvek leesnek),
- F1, F2, F3: csak a megfigyelő vs. néhány ember vs. sok ember megijedt, menekülni kezdett,
- O1, O2, O3: alig megfigyelhető vs. gyenge zaj vagy rázkódás vs. alvó emberek felébredtek,
- R1: tárgyak zörögtek, rázkódtak.

Ezek után a 13 kiszámolt arányt összevetve 25 szabály segítségével állapítjuk meg, hogy milyen intenzitású volt a rengés. Ízelítőül az igen aprólékos szabályok így kezdődnek:

1. Ha $B2 \geq 0,6$ legalább 4 megfigyelésnél, és legalább 1 megfigyelés beszámol 3-as szintű épületkárról, akkor a rengés intenzitása 8, (és a kiértékelés leáll).
2. Ugyancsak 8 az intenzitás, ha $B3 \geq 0,2$ legalább 4 megfigyelésnél (és leállunk).
3. Ha $B2 \geq 0,2$ legalább 4 megfigyelésnél, és $B1 \geq 0,6$, akkor az intenzitás 7 (és leállunk), egyébként pedig bevezetjük a P6 és P5 „számlálót”, amelyek azt mérik majd, hogy 6-os, illetve 5-ös intenzitásnak mennyire felel meg az adott rengés, értékük kezdetben 0.
4. Ha B2 vagy B3 nagyobb 0-nál, P6-hoz 1-et adunk, ha viszont B2 még 0,3-nél is nagyobb, akkor P6-hoz 2-t adunk; ha $B2 = B3 = 0$, és $B1 > 0$, akkor P5-höz adunk 1-et.
5. Hogyha $B1 = B2 = B3 = 0$, akkor levonunk 2-t a P6-ból, mert nem ilyen erős valószínűleg a rengés. [...]
25. Ha egyetlen korábbi szabály sem volt elegendő az intenzitás értékének eldöntéséhez, akkor a rengést 3-as intenzitásúnak megfelelően fejeződik be teljesen a program futása.

Az algoritmust tehát a tipikus hatásokat előbb 13 csoportba rendezi és megnézi milyen arányban tapasztalták az egyes csoportokat az észlelők. A legmagasabb feltételezhető intenzitástól indulunk (VIII-as), és addig lépkedünk tovább az alacsonyabb intenzitásokra, amíg nem találunk kellően nagy arányú olyan bejelentést, ami megerősíti, hogy éppen ekkora lehetett a rengés.

Az algoritmus tehát egy rendkívül összetett empirikus módon meghatározott logikát követ, közben elég önkényesnek tűnő módon növeli és csökkenti a bevezetett segédszámlálók értékét (P6, P5, ..., P2), amíg ki nem köt egy intenzitásnál. Ezt a logikát Excelben nagyon nehéz lenne megvalósítani, a Python nyelv sokkal alkalmasabb rá.

A fenti szabályokat implementáló intenzitás-kiértékelő programot a *kiertekelo.py* néven Python nyelven készítettem el. Bemenetként két paramétert vár:

- az egyik paraméter az „eredmenylista”, a kérdőíveken beérkezett válaszokkal,
- a második paraméter pedig a „v”, amely a hiányzó vagy bizonytalan válaszokat egy adott arányban „igen” vagy „nem” válaszként veszi figyelembe.

Ezzel az egyszerű megközelítéssel az a baj, hogy az összes kérdőívre ugyanazt a „v” paramétert használja, pedig minden kitöltő más mértékben bizonytalan a válaszadásban. A problémán ún. fuzzy logika használatával lehet segíteni a program következő változatában. Ennek elvét ismertetem a **Error! Reference source not found.** fejezetben.

7.5 A kiértékelőprogram eredményeinek verifikálása

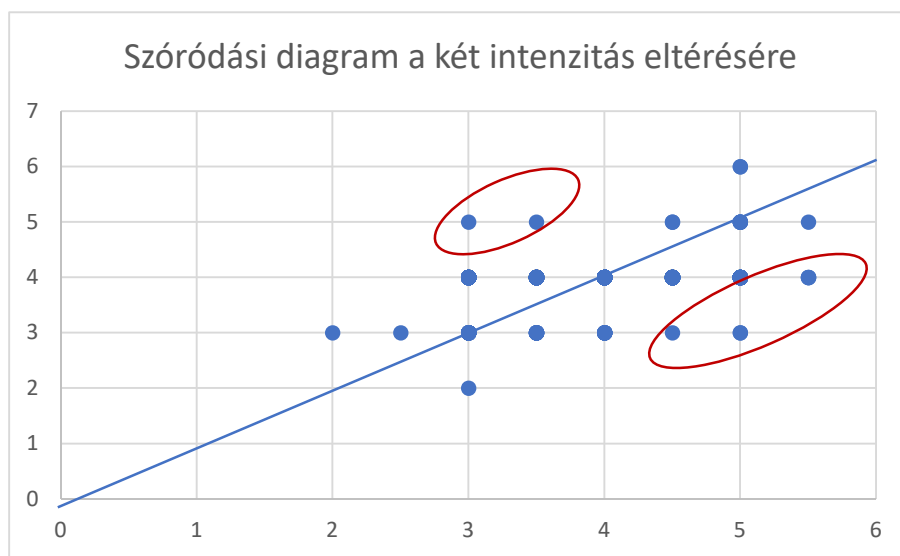
A kiértékelőprogram teszteléséhez rendelkezésemre állt az a nyers Excel-táblázat is, ahol minden településre meghatározták szakemberek az intenzitást a hagyományos manuális besorolási módszerrel. Így lehetőségem nyílt arra, hogy a kiértékelőprogram által adott intenzitásokat összehasonlíthassam a „emberi döntési folyamat” eredményeképpen meghatározott intenzitásokkal és statisztikailag meghatározzam, milyen mértékben térnek el egymástól, majd az eltéréseket külön is megvizsgáljam.

Településenként egy közös Excel táblázatba kerültek a hivatalos és a Python program által számított intenzitásértékek. Ehhez előbb összhangba kellett hozni a településeket, mert a kézi tisztítás miatt 100 körüli település kikerült az egyik listából.

A két intenzitásérték-sorozat korrelációját a korrelációs együttható kiszámításával végeztem. Ha tökéletesen egyértelmű lenne minkét módszerrel az intenzitás meghatározása, akkor pontosan

ugyanazokat az értékeket kapnánk, így a korrelációs együttható 1 lenne, kisebb eltérések esetén pedig valamilyen 1-hez közeli szám.

Elsőre a petrinjai földrengés adatsoraira a korrelációs együttható csak közepes, 0,53 körüli értéket mutatott. A két adatsort összevető szóródási diagram rámutatott, hogy több esetben is 1,5-2 értéknyi különbség van a kétféle intenzitás között (21. ábra).



21. ábra – Szóródási diagram a petrinjai földrengés hivatalos (X) és számított (Y) intenzitásértékei közötti eltérésre

Ezek után egyesével megvizsgáltam a településeket, ahol nagy eltérés mutatkozott. Két példa az eltérések tipikus okaira:

- Kisharsányból csak egy kérdőív érkezett, és a kitöltő szisztematikusan minden kérdésre gyengébb hatásról számolt be, mint a szomszédos települések kitöltői (például Siklóson 6 fő). A kézi értékelés során a szakemberek ezért felhúzták a Kisharsányra számított intenzitást (3) a szomszéd települések szintjére (5).
- Budapest XVII. kerületéből kevés kérdőív érkezett (4 db), ami eleve gyenge intenzitást feltételez. Egy bejelentő viszont túlzó hatásokról számolt be (pl. vasbeton épületet ért kár). Ez felfele torzítja a kerületre a program által számított intenzitást, a környező kerületek 3-as értékéhez képest 5-re. A rengés a horvát határtól ekkora távolságban nem indokolna ilyen károkat. Biztosítói információk szerint időnként előfordul, hogy egy régebbi sérülést próbálnak a földrengés által okozottnak feltüntetni, és ezzel elérni, hogy a biztosító fizessen.

A fenti példák is jól mutatják, hogy a számítógépes kiértékelésnél szükség van a kiugró értékek megfelelő kezelésére az ún. „spatial outlier detection” algoritmusok használatával. Ezek lehetővé teszik, hogy nagyszámú beérkezett kérdőívnél ki lehessen szűrni azokat, amelyek a környezetük-höz képest túlságosan erős vagy gyenge hatásokról számoltak be. A kiértékelőprogramot a jövőben úgy szeretném továbbfejleszteni, hogy ezeket a kiugró értékeket is detektálja, és a szakemberek számára manuális elbírálásra megjelölje.

7.6 Tapasztalt nehézségek és feltárt hibák

Miközben a program logikáját vizsgáltam, hogy nincs-e benne programhiba a nem túl jó korreláció miatt, feltűnt, hogy a 2700 beérkezett kérdőív közül több tucatban el vannak csúszva az oszlopok egymáshoz képest.

Például a „Burkolóelemek” kérdésnél csak a „megsérültek” vagy „lehullottak” válaszoknak kellene szerepelnie, ehhez képest gyakran előfordulnak olyan válaszok is, amelyeknek csak a korábbi fal-repedésekre vonatkozó kérdéseknél kellene szerepelniük (pl. hol látható a repedés: „kéményen”, „mennyezetén” vagy „nyílászárónál”).

Azt a tájékoztatást kaptam, hogy kisebb adattömegnél a szakemberek szemmel észreveszik az ilyen elcsúszásokat és javítják azokat. Illetve van az obszervatóriumban egy script, ami helyrehozza az elcsúszást, de sajnos erről túl későn értesültem, így nem tudtam a scriptet használni. A rossz korrelációhoz ezek az elcsúszások is hozzájárulhatnak.

Mindenképpen szükséges lenne a kérdőívet a böngészőben futtató Javascriptes program felülvizsgálata, hogy mikor kerülnek be ezek az elcsúszások a válaszokba. A kérdőívet egy „Joomla” alá fejlesztett „BreezingForms” kiterjesztésben hozták létre, de azóta a fejlesztő cég megszűnt, így nem lehet segítséget kérni tőlük.

Az is feltűnt, hogy a kérdőívben a válaszoknak lehetett egy egyedi kódja. Például a bútorokra vonatkozó válaszok: „megmozdultak-shaking (71)”, „elmozdultak-shifted (72)”, „felborultak-overturned (73)”. Ezekre sokkal könnyebb lenne egyértelműen hivatkozni a programban, de van, amikor ezeket a kódokat elhagyják, és van, amikor újra kiosztják, tehát használhatatlan, így marad a válasz szövegének a felismerése és a sok hasonló vagy egyforma válasz fáradtságos szétválogatása. A gyakorlatban hiába tűnt egyszerűnek Musson módszere a cikkében leírva, a megvalósítása annál

nehezebb volt, mert nagyon nagy figyelmet igényel a sok aprólékosan megírt szabály programlépésekre való átfordítása. Nem is vagyok benne teljesen biztos, hogy ez tökéletesen sikerült. Ezért is szeretnék a jövőben más módszereket is kipróbálni.

Hiányolom azt is, hogy a cikkben nincs részletesebben kifejtve, hogy miért pont ezen szabályok szerint növelgetik és csökkentgetik a segédváltozók értékeit. A cikk tanúsága szerint is csak 2 db nagy-britanniai földrengésen tesztelték az algoritmust, hasonlóan kevés adatponttal, mint amivel én tudtam dolgozni (kb. 3000, illetve 234 visszaérkezett kérdőív).

Nagy-Britannia szeizmikus aktivitása hasonló Magyarorszáéhoz, ezért tűnt jó választásnak a módszer kipróbálása, mert körülbelül ugyanazokra az intenzitásokra dolgozta ki, amelyek a magyar viszonyok közt is várhatóak. Viszont Angliában az EMS-en alapuló, de eléggé más kérdőívvel dolgoztak, így a magyar kérdőív kérdéseinek hozzárendelése sokszor nehéz volt.

8 Két bevezetendő kiértékelési technika: a fuzzy logika és a spatial outlier detection

8.1 A fuzzy logika és alkalmazhatósága a kiértékelésben

A fuzzy logika a matematikai logikának egy ága, amely lehetővé teszi a *numerikus bizonytalanság* kezelését. A klasszikus Boole-i logikában minden állításhoz, mint *logikai változóhoz* csak kétféle érték rendelhető: 0 jelenti a hamis, 1 pedig az igaz állításokat. Gyakran érezhetjük úgy, hogy egy adott állítást akár igaznak vagy hamisnak is tekinthetünk a körülmények, illetve az értelmezés függvényében. A kérdőíves kiértékelésnél például a „néhány-sok-legtöbb” szavak használatára 20, illetve 60%-nál húzza meg a határt (Grünthal, 1998), de a határok két oldalán nincs lényegi különbség, így az eltérő fogalommal való megjelölésük igazságtalannak hathat.

Ennek a nehézségnek a leküzdésére született meg a fuzzy logika (fuzzy – életlen, elmosódott), ahol a logikai változók értéke bármilyen 0 és 1 közötti szám lehet, vagyis egyfajta részleges igazságot fejez ki, ahol minden állítás logikai értéke a teljesen hamis és a teljesen igaz között változhat. Így itt értelmezhető a 0,5-es érték felerészt igaz, felerészt hamis állításként, a 0,25 pedig a negyedrészt igaz, háromnegyedrészt hamis kijelentés (azaz, ha megkérdezzük embereket arról, hogy igaznak tartják-e az állítást, ekkora részük adna „igen” választ).

A fuzzy logika kiválóan alkalmazható arra, hogy a bizonytalanságot vagy a pontatlan, illetve nem-numerikus információkat matematikai eszközökkel értelmezni lehessen. A következőkben a legismertebb és a legkönnyebben használható *Mamdani-féle fuzzy-logikával* foglalkozom.

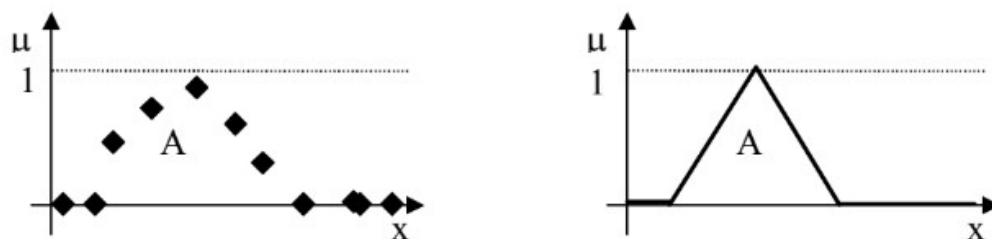
Alaphalmaznak vagy más néven *univerzumnak* nevezzük azt a halmazt, amely a megfigyelések értelmezési tartománya, és a besorolandó fogalmakhoz (személyek, járművek, földrengések hatásai) tartozó lehetséges *értékeket* tartalmazza (pl. a személyek életkora, járművek sebessége, földrengés valamilyen hatásának mértéke egy adott helyen érzékelve).

Az univerzum értékeihez (adott életkor, sebesség, földrengés okozta hatás) különböző jelzőket, ún. *nyelvi értékeket* is hozzárendelhetünk. Ezek lesznek a besorolásra használt kategóriák, amelyek együtt egy rendszert alkotnak. Például a személyeknél a „fiatal-középkorú-öreg” jelzők lesznek kategorizálásra felhasználva, járműveknél a „lassú-gyors” kategóriák; földrengéseknél pedig például a rengés „gyenge”, „közepes” vagy „erős” jellemzői egy besorolási rendszert alkotnak. Már most érezzük, hogy ez a hozzárendelés nem egyértelmű. Hol van a fiatal-középkorú életkor, a gyenge és közepes erősségű rengés határa? A problémán a következőképpen segíthetünk:

A *tagsági függvény* megmondja, hogy az univerzum egyik „x” eleméhez a besorolást végző személy véleménye szerint milyen mértékben jellemző valamilyen nyelvi érték. Ezt egy $[0; 1]$ intervallumba eső számmal fejezi ki, amelynek a szokásos jelölése $\mu(x)$.

Például egy $x = 35$ éves személy inkább középkorú, mint fiatal, így a „középkorú” kategóriába besoroló μ_K tagsági függvényre az értéke $\mu_K(35) = 0,7$, míg „fiatal”-ba besoroló tagsági függvényre $\mu_F(35) = 0,3$ nagyságú lehet. Viszont egy 15 éves személyt mindenki fiatalnak gondol és senki nem tartja középkorúnak, így $\mu_F(15) = 0,9$ és $\mu_K(15) = 0$ lehet például.

Meg is fordíthatjuk: minden nyelvi értékre („fiatal”, „középkorú”) meg lehet határozni, hogy az univerzum egyes elemei (életkorok) milyen tagságifüggvény-értékkel tartoznak oda, az így kapott párokból pedig egy speciális halmazt, az adott nyelvi értékhez tartozó *fuzzy halmazt* lehet összeállítani. A fuzzy halmazt legjobb grafikusán szemléltetni: az x-tengelyen az univerzum elemei szerepelnek, a μ tengelyen pedig a hozzájuk tartozó 0-1 közötti tagságifüggvény-értékek. A grafikon gyakran háromszög vagy trapéz alakú görbe, mert azzal könnyebb számításokat végezni (22. ábra).



22. ábra – Példa diszkrét és folytonos fuzzy halmazra (forrás: Johanyák, 2004)

A *fuzzification* az a folyamat, amely minden mért vagy megfigyelt értékhez meghatározza a tagsági függvény segítségével, milyen mértékben tartozik az adott fuzzy halmazba. (Például a $\mu_F(x)$ az $x = 1, 2, 3, \dots, 120$ életkor mindegyikére megmondja, hogy x mennyire tartozik a „fiatal” halmazba.)

A boole-i logikában megszokott logikai műveletek megtalálhatóak a fuzzy-logikában is, azok egyfajta kiterjesztéseként (ún. *Zadeh-operátorok*). Következésképpen feleltethetők meg a boole-i logika műveleteinek a Zadeh-operátorok 0-tól és 1-től eltérő értékű x -ek és y -ok esetén:

Boole-i logika szerinti művelet	Fuzzy logika szerinti megfelelője (Zadeh-operátor)
ÉS(x, y) művelet: akkor igaz, hogyha x és y közül mindkettő igaz, egyébként hamis	MIN(x, y) művelet: az x -hez és y -hoz rendelt tagsági függvény érték közül a kisebbet adja vissza
VAGY(x, y) művelet: akkor igaz, hogyha x és y közül legalább az egyik igaz	MAX(x, y) művelet: az x -hez és y -hoz rendelt tagsági függvény érték közül a nagyobbát adja vissza
NEM(x) művelet: ha x igaz, akkor hamisat, ha x hamis, akkor igazat ad vissza	x -hez az $(1 - x)$ tagsági függvény értéket rendeli

A fent említett logikai változókkal definiálni lehet *fuzzy következtetési szabályokat*, amelyek lehetővé teszik, hogy egy adott mérés- vagy megfigyeléssorozatból beszerzett, a „fuzzification” eljárásan átesett ismeretanyag felhasználásával létrehozzunk egy ugyancsak fuzzy halmaz formájú kimeneti adatsort úgy, hogy közben betartunk egy, a rendelkezésre álló ismeretanyagunk alapján lerögzített szabályrendszert, amelyet a való élet példáiból szűrtünk le.

Egy példa a fuzzy következtetés alkalmazására a földrengések intenzitásának automatizált kiértékelése a magnitúdó és az epicentrális távolság alapján. Itt a megfigyelés kétdimenziós, szerepel benne egyrészt az adott földrengés abszolút erőssége momentum magnitúdó egységekben, illetve a megfigyelés távolsága a rengés epicentrumától. Mindkét változóhoz tartozó univerzum három

nyelvi értéket tartalmaz, ezek a magnitúdó esetében az „alacsony”, „közepes” és „magas”, a távolságok esetében pedig a „közeli”, „közepesen távoli” és „nagyon távoli” kifejezések. A módszer kimeneteként az adott erősségű földmozgás intenzitása áll elő adott távolságban, az ehhez tartozó számértékek univerzuma pedig szintén három nyelvi értéket tartalmaz, amelyek a következők: „gyenge”, „közepes” és „erős”. Az adatokra az alábbi szabályok állapíthatók meg:

- HA a magnitúdó „magas” ÉS a távolság „közeli” AKKOR az intenzitás „erős”;
- HA a magnitúdó „közepes” ÉS a távolság „közeli” AKKOR az intenzitás „mérésékelt”;
- HA a magnitúdó „alacsony” ÉS a távolság „közeli” AKKOR az intenzitás „gyenge”;
- HA a magnitúdó „magas” ÉS a távolság „nagyon távoli” AKKOR az intenzitás „mérésékelt”;
- HA a magnitúdó „alacsony” ÉS a távolság „nagyon távoli” AKKOR az intenzitás „gyenge”;
- HA a magnitúdó „közepes” ÉS a távolság „nagyon távoli” AKKOR az intenzitás „gyenge”.

A fuzzy logika Pythonban is elérhető a SciKit-Fuzzy modul segítségével, amely a SciPy könyvtár részét képezi. A gyakorlati számításokhoz mégis hatékonyabb a Matlab szoftver használata, ahol elérhető egy „fuzzy logic toolbox” nevezetű modul a fuzzy logikai következtetések elvégzésére.

8.2 Két bevezetendő kiértékelési technika: a fuzzy logika és a spatial outlier detection

A vázolt fuzzy következtetési eljárás az intenzitás kiértékelésében jól használható. Az egyszerűség kedvéért a *2 bemenettel* és *1 kimenettel* mutatom be a működését, de a valóságban annyi bemenete lesz, amennyi nyelvi változót a kérdőíves válaszokból jól lehet használni.

1. **Be- és kimenetek meghatározása:** a példában az „érezett rázkódás erőssége” és a „fel-függesztett tárgyakat ért hatások” lesznek. Ezek a „gyenge – közepes – erős”, illetve „gyengén – közepesen – erőteljesen lengtek” nyelvi értékekkel jellemezhetőek. A kimeneti értékeket pedig az EMS-98 skála 12 fokozata, illetve az ezekhez társuló erősségjelző kifejezések (pl. „gyenge – erős – károsító”) fogják képezni.
2. **Fuzzification:** a nyelvi változókban szereplő minden nyelvi értékhez definiálok egy tagsági függvényt, amely kifejezi, hány százalékában fednek át ezek az éles határral nem rendelkező nyelvi értékek. Az egyszerűség kedvéért háromszög, illetve trapéz alakú függvényekkel jellemezném az átfedéseket.
3. **Fuzzy következtetési szabályrendszer megalkotása:** ezek a szabályok határozzák meg a kapcsolatot a bemenetként megadott fogalmak értékei, illetve a kimenet között egy HA-

AKKOR típusú hozzárendeléssel, az EMS-98 skálafokozatok definícióit pontosan követve. Például a fentebb említett 2 hatásnál:

- (1) HA „érzett rázkódás erőssége” = „gyenge” és „felfüggesztett tárgyakat ért hatások” = „gyengén lengtek” AKKOR „intenzitás” = „III (gyengén érezhető”),
 - (2) HA „érzett rázkódás erőssége” = „közepes” és „felfüggesztett tárgyakat ért hatások” = „közepesen lengtek” AKKOR „intenzitás” = „V (erős”),
 - (3) HA „érzett rázkódás erőssége” = „erős” és „felfüggesztett tárgyakat ért hatások” = „erőteljesen lengtek” AKKOR „intenzitás” = „VII (károkat okozó”).
4. **Fuzzy következtetési szabályokkal kimeneti fuzzy halmazok létrehozása:** a szabályrendszer tagjait a kérdőívben szereplő két bemenetre alkalmazva a fuzzy logikai algoritmus kiszámolja a lehetséges intenzitásértékeket, mint kimeneteket. Ez maga is egy saját tagsági függvénnyel jellemezhető fuzzy halmaz lesz még.
5. **Defuzzification:** a fuzzy halmazként kapott kimenetet egy konkrét intenzitásértéknek kell megfeleltetni. Itt többféle módszer közül lehet választani (pl. centroid, maximum), közülük többet is tervezek kipróbálni, megvizsgálva, hogy melyik adja a legjobb egyezést a szakemberek által elvégzett intenzitás besorolással.

A fenti eljárás lépéseit a Matlab szoftverben tervezem megvalósítani, mégpedig annak a „fuzzy logic toolbox” moduljában, ahol grafikusán és script nyelvet használva lehet fuzzy halmazokat és következtetési szabályokat megalkotni, ezek alapján pedig a bementi és kimeneti változók között hozzárendeléseket végezni.

8.3 A „spatial outlier detection” használhatósága az intenzitás-kiértékelésben

A kiértékelés során előfordult, hogy egy településen belül, vagy szomszédos településeken valaki kiugróan más hatásokról számolt be, mint a többi észlelő (mint az említett kisharsányi vagy Budapest XVII. kerületi eseteknél).

Az ún. *spatial outlier detection* (kiugró adatpontok detektálása) egy olyan anomáliadetektáló módszer, amelynek segítségével egy koordinátákhoz rendelt folytonosan változó adatsokaságban detektálni lehet azokat az pontokat, ahol a szomszédokhoz képest kiugróan eltérő értékeket mérünk.

Az eljárással beazonosíthatjuk és klaszterekbe csoportosíthatjuk az egymáshoz térképileg közel fekvő pontokat, amelyekre elvárható egy adott változó (esetünkben a földrengés intenzitása) közel azonos értéket vegyen fel. Ezt követően pedig megkeresi azokat a pontokat, amelyek kívül esnek.

A kiugró pontoknak két fajtája különíthető el. A *global outlier* a vizsgált terület egészen kiugrónak tekinthető. A *local outlier* viszont csak a hozzá közel eső pontokhoz képest kiugró.

Az „outlier detection” algoritmus megvalósítására leginkább a térinformatikai és geoinformatikai szoftverek alkalmasak. Az ingyenes QGIS esetében is elérhető lenne egy olyan plugin, amely ezt lehetővé tenné, de jelenleg csak béta verzió áll rendelkezésre belőle. A fizetős ESRI ArcGIS szoftver viszont kínál egy nagyon kiforrott programot a probléma megoldására (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/spatial-outlier-detection.htm>).

9 Összegzés

Dolgozatomban a földrengések intenzitásának makroszeizmikus kérdőívvel történő adatfelvételét és annak automatizált számítógépes kiértékelését vizsgáltam.

Röviden körbejártam a földrengések keletkezésének körülményeit és a szeizmikus hullámok terjedésének sajátosságait. Vázoltam a földrengések erősségének különböző mérési lehetőségeit, definiáltam alapfogalmakat és ismertettem a magnitúdó és az intenzitás mérésének lehetőségeit.

Megindokoltam, miért van még napjainkban is jelentősége a földrengések vizsgálatában a hagyományos makroszeizmikus kérdőívek használatának.

Vázlatosan ismertettem az EMS-98 intenzitásskálát, amelyet Európában széleskörűen használnak igazodási pontként az intenzitás meghatározására. Ismertettem az EMS-98 egyik alternatíváját és továbbfejlesztését, az ESI-2007 természeti intenzitásskálát.

Összehasonlítottam a magyar, valamint 9 másik európai ország makroszeizmikus kérdőívének felépítését, azonosítottam a hasonlóság mellett az egyedi megoldásokat, köztük a magyar kérdőív fejlesztéséhez átvehető legjobb gyakorlatokat.

Megállapítottam, hogy a magyar kérdőív hol nem követi az európai skálát, ezért több helyen átfogalmaztam, hogy jobban illeszkedjen az EMS-98 intenzitásdefinícióihoz, továbbá más európai kérdőívekből gyűjtöttem ötleteket arra, hogyan lehetne javítani a kitöltési hajlandóságot, pontosítani a helymeghatározást és segíteni a kiértékelés automatizálhatóságát.

Mindezeket figyelembe véve megszerkesztettem a kérdőív új változatát, beemelve néhány új kérdésen és válaszlehetőségen túl egyéb kényelmi funkciókat is, amelyek a kitöltési hajlandóságot és a bevitt adatok pontosságát növelhetik.

Írtam röviden arról is, hogyan zajlik jelenleg a manuális kiértékelés, amely néhány száz kérdőívre még elvégezhető, de ezres nagyságrendben már napokat vagy heteket vesz igénybe. Annak érdekében, hogy megkönnyítsem a munkát végző szeizmológusok dolgát, írtam egy kiértékelőprogramot a Python programnyelvben, amelyet kapott földrengés adatokkal teszteltem és finomhangoltam.

Megállapítottam, milyen buktatói vannak jelenleg az intenzitás-kiértékelés számítógéppel történő automatizálásának, és bemutattam, milyen hiányosságai, illetve inkonzisztenciái vannak a kérdőívekből származó adatoknak.

Továbblepési lehetőségként azonosítottam két eljárást, amelyek a feltárt nehézségeken segíthetnek: a bizonytalan megítélésű válaszok kezeléséhez a fuzzy logikát, a túlságosan kiugró értékű adatpontok beazonosításához pedig a „spatial outlier detection” módszerét szeretném a jövőben használni.

10 Köszönetnyilvánítás

Dolgozatom elkészítésében szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Győri Erzsébetnek, a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium kutatójának, a HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat tudományos főmunkatársának, hogy megismertetett a szeizmológia tudományágával, kutatási tevékenységem során folyamatosan támogatott a témához kapcsolódó szakirodalommal való bevezetéssel, valamint értékes javaslatokat tett a dolgozatom elkészítéséhez.

Köszönetet mondok Dr. Kalmár Dánielnek, aki belső konzulensként segített fellelni a kutatásomhoz szükséges anyagokat, illetve segített az obszervatórium munkájának megismerésében.

Végül köszönetet mondok Dr. Varga Péternek, aki a Szeizmológia és a Föld belső szerkezete előadásain keresztül elméleti háttérrel adtak a kutatásaimnak.

11 Ábrajegyzék

1. ábra – A földrengéshullámokkal kapcsolatos legfontosabb alapfogalmak (quizlet.com alapján a szerző módosította)5

2. ábra – A földrengések során kialakuló hullámok: baloldalt a primer és szekunder hullámok, jobboldalt a felületi hullámok modellje (vhmsscience8.weebly.com alapján a szerző módosította)	5
3. ábra – A 2020. decemberi petrinjai földrengés izoszeisztái (forrás: Robertson et al., 2021)	7
4. ábra – A földrengés Magyarországon észlelt intenzitásértékei (forrás: Süle et al., 2021)	7
5. ábra – Kitöltött makroszeizmikus kérdőív rekonstrukciója 1906. januárjából (a KRSZO archívumából, a szerző saját felvétele)	8
6. ábra – A kvalitatív intenzitások kvantitatív megfeleltetése (Grünthal, 1998)	11
7. ábra – Sérülékenységi táblázat (Grünthal, 1998 alapján a szerző fordítása)	12
8. ábra – Épületkár szemléltetése falazott és vasbeton épület esetében (Grünthal, 1998) alapján.	12
9. ábra – Az 1976-os friuli földrengéstől megrongálódott ház az olaszországi Gemonában (forrás: Grünthal 1998)	13
10. ábra – 3-as fokozatú kár falazott épületen az 1979-es montenegrói rengés után (forrás: Grünthal, 1998).	13
11. ábra – 3-as fokozatú kár falazott épületen az 1979-es montenegrói rengés után (forrás: Grünthal, 1998).	13
12. ábra – Az 1995-ös észak-peloponnészoszi földrengés okozta károk a görögországi Aegionban (forrás: Grünthal, 1998).	13
13. ábra – a földrengések okozta természeti hatások bekövetkezésének lehetséges intenzitástartományai (forrás: Grünthal, 1998)	14
14. ábra – Az 1988-as spitaki (Örményország) földrengéstől létrejött felszíni repedések (forrás: Guerrieri – Vittori, 2007).	15
15. ábra – A 2003-as altaji (Oroszország) földrengés okozta hasadék (forrás: Guerrieri – Vittori, 2007).	15
16. ábra – Európa földrengés-veszélyeztetettségi térképe az ESHM20 modell alapján (forrás: EFEHR, http://www.efehr.org/earthquake-hazard/hazard-map/)	16
17. ábra – A szlovákiai makroszeizmikus kérdőív ábraszorozatai (forrás: https://www.seismology.sk/Makroseizmika/makro1_H.php)	17
18. ábra – 11 253 db földrengés eloszlása (2007-2017) Olaszországban és környékén (forrás: Sbarra et al., 2020).	19

19. ábra – A 2016-os, 6.5 magnitúdójú norciai földrengés hatásainak százalékos észlelése (Sbarra et al., 2020 alapján a szerző módosította)	32
20. ábra – Észlelt hatásokat összesítő táblázat (Lenhardt & Horn & Vogelmann, 2004)	34
21. ábra – Szóródási diagram a petrinjai földrengés hivatalos (X) és számított (Y) intenzitásértékei közötti eltérésre	38
22. ábra – Példa diszkrét és folytonos fuzzy halmazra (forrás: Johanyák, 2004)	42

12 Felhasznált irodalom

- Grünthal, G. (ed.) 1998, European Macroseismic Scale 1998, *European Seismological Commission (ESC)*.
- Johanyák, Z. Cs. 2004, Fuzzy logika, oktatási segédlet.
- Lenhardt, W. A., Horn, N. & Vogelmann, A. 2004, Computer aided intensity assessment in Austria, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, vol. 45, no. 3, pp. 233–243.
- Michetti, A. (ed.), Guerrieri, L. & Vittori, E. 2007, Environmental Intensity Scale – ESI 2007, *Carta Geologica d'Italia*, vol. LXXIV.
- Musson, R. M. W. 2006, Automatic assessment of EMS-98 intensities, *British Geological Survey Seismology and Geomagnetism Programme Internal Report*, IR/06/048, pp. 22.
- Reitherman, R. 2012, Earthquakes and Engineers: An International History, *ASCE Press*, Reston, VA, pp. 122–125.
- Miranda, E., Brzev, S., Bijelić, N., Arbanas, Ž., Bartolac, M., Jagodnik, V., Lazarević, D., Mihalić Arbanas, S., Zlatović, S., Acosta, A., Archbold, J., ..., Robertson, I. (2021). StEER-EERI: Petrinja, Croatia December 29, 2020, Mw 6.4 *Earthquake Joint Reconnaissance Report (JRR)*. PRJ-2959. *DesignSafe-CI*.
- Sbarra, P., Tosi, P., De Rubeis, V. & Sorrentino, D. 2020, Qualification of earthquake diagnostic effects to assess low macroseismic intensities, *Natural Hazards*, vol. 104, pp. 1957–1973.
- Stromberg, J. 2014, Why do lights sometimes appear in the sky during an earthquake?, *Smithsonian Magazine*, January 2, 2014.

Süle, B. (ed.) 2021, Magyar Szeizmológiai Bulletin 2020, *Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium*, Budapest, p. 879.

Takaki, S. & Ikeya, M. 1998, A dark discharge model of earthquake lightning, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 37, no. 9A, pp. 5016–5020.

Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H. & Kanamori, H. 1999, Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli intensity in California, *Earthquake Spectra*, vol. 15, pp. 557–564.

Internetes források:

<https://vhmsscience8.weebly.com/earthquake-explained.html> [Utolsó letöltés: 2024.11.16]

<https://quizlet.com/165167932/earths-interior-midterm-2-flash-cards/> [Utolsó letöltés: 2024.11.15]

<http://www.seismology.hu/index.php/hu/szeizmicitas/a-mult-nagy-rengesei> [Utolsó letöltés: 2024.11.15]

<http://www.efehr.org/earthquake-hazard/hazard-map/> [Utolsó letöltés: 2024.11.11]

<https://earthquakelist.org/> [Utolsó letöltés: 2024.11.11]

<http://www.seismology.hu/index.php/hu/foeldrengest-erzett/lang/hu-HU> [Utolsó letöltés: 2024.11.08]

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/erdbeben> [Utolsó letöltés: 2024.11.03]

https://www.seismology.sk/Makroseizmika/makro1_H.php [Utolsó letöltés: 2024.11.10]

<https://infpapi.infp.ro/feedback/40254> [Utolsó letöltés: 2024.11.03]

<http://www.gfz.hr/seizmologija/upitnik.php> [Utolsó letöltés: 2024.11.12]

<https://www.hsit.it/compile.html> [Utolsó letöltés: 2024.11.18]

<https://www.hsit.it/emergeo.html> [Utolsó letöltés: 2024.11.12]

<http://www.seismo.ethz.ch/en/earthquakes/did-you-feel-an-earthquake/> [Utolsó letöltés: 2024.11.18]

<https://www.earthquakes.bgs.ac.uk/questionnaire/EqQuestIntro.html> [Utolsó letöltés: 2024.11.12]

<https://www.franceseisme.fr/formulaire/index.php> [Utolsó letöltés: 2024.11.12]

<https://www.ign.es/web/ign/portal/sis-cuestionario-macrosismico> [Utolsó letöltés: 2024.11.12]

<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/spatial-outlier-detection.htm> [Utolsó letöltés: 2024.11.22]

Függelék: Saját eredmények

Dolgozatomban első felében javaslatot teszek a Magyarországon használt makroszeizmikus kérdőív átalakítására, melynek három fő célja van:

- könnyebbé váljon a kitöltés, ezáltal növekedjen a beérkező kérdőívek száma,
- jobban automatizálható legyen ezt követően a kiértékelés,
- a kérdések jobban harmonizáljanak az európai EMS-98 intenzitásskálával.

Munkám során összevettem a magyar kérdőívet 9 másik európai ország kérdőívével, illetve a EMS-98 skálával, elvégeztem ezek leíró elemzését és azonosítottam az átvehető jó gyakorlatokat.

Dolgozatom második felében ismertetem a kérdőívek kiértékelésének lehetséges számítógépes módszereit, illetve az elkészített Python nyelvű kiértékelőprogramot, amely a (Musson, 2006) szerinti algoritmust használja.

A program teszteléséhez felhasználtam egy erős közelmúltbeli földrengés beérkezett kérdőíveit, amelyeket a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium bocsátott rendelkezésemre. A kiértékelés során tapasztalt nehézségeket felhasználtam arra, hogy tovább javítsam a kérdőívet, alkalmassá téve az automatikus kiértékelésre.

Végezetül statisztikai módszerekkel elemeztem az automatikus és a szakemberek által készített manuális kiértékelés különbségeit, és megvizsgáltam az eltérések valószínű okait.

Továbblépési lehetőségként két irányt azonosítottam be:

- a bizonytalan, illetve hiányos válaszokat a (Musson, 2006) által alkalmazott módszer helyett fuzzy logika használatával lehet kifinomultabban figyelembe venni,
- az automatikus kiértékelést szükséges támogatni olyan módszerekkel, amelyek a kiugró értékeket jelzik, hogy a szakemberek dönthessenek arról, milyen korrekciót végezzenek, ennek érdekében ún. anomáliadetekciós („outlier detection”) algoritmusok segítségével kívánom vizsgálni a kérdőíves adatsorokat.