

**FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY
UNIVERZITY KOMENSKÉHO**

v Bratislave



RIGORÓZNA PRÁCA

2001

Mgr. Andrej Cipciar

FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY
UNIVERZITY KOMENSKÉHO

v Bratislave

Katedra geofyziky

**Analýza údajov o zemetraseniach
v
seizmickej zdrojovej zóne Dobrá Voda**

RIGORÓZNA PRÁCA

Vypracoval: Mgr. Andrej Cipciar

Bratislava

September 2001

Čestne prehlasujem, že som rigoróznou prácu
vypracoval samostatne s použitím literatúry uvedenej
v zozname.

Moje poďakovanie patrí **RNDr. P. Labákovi, PhD.**
a **doc. RNDr. P. Moczovi, DrSc.** za priateľský prístup,
odborné uvedenie do problematiky a cenné rady pri
vypracovaní rigorózneho práce.

OBSAH

1. ÚVOD	2
2. HISTORICKÉ ZEMETRASENIA NA ÚZEMÍ SLOVENSKA	3
<i>vsuvka: Určovanie makroseizmickkej intenzity zemetrasenia</i>	5
3. MONITOROVANIE ZEMETRASENÍ V OBLASTI DOBREJ VODY	7
3.1 MAKROSEIZMICKÉ POZOROVANIA	7
3.1.1 Historické zemetrasenia	7
<i>vsuvka: Parametre historických zemetrasení</i>	8
3.1.2 Zemetrasenie 9. januára 1906	11
3.1.3 Zemetrasenia v 20. storočí	14
3.2 SEIZMOMETRICKÉ POZOROVANIA	15
3.2.1 Národná sieť seizmických staníc	16
3.2.2 Lokálna sieť seizmických staníc AEB	17
3.2.3 Lokálna sieť seizmických staníc AEM	21
3.2.3 Mikroseizmická aktivita	22
3.2.4 Mechanizmy ohnísk	24
4. SEIZMICITA ZDROJOVEJ ZÓNY DOBRÁ VODA	26
4.1 VYMEDZENIE HRANÍC ZDROJOVEJ ZÓNY	26
4.2 POČETNOSTNÉ VZŤAHY	29
4.2.1 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia	29
4.2.2 Mikrozemetrasenia	31
4.3 ODHAD MAXIMÁLNEHO MAGNITÚDA M_{MAX}	32
4.4 VZŤAH MEDZI HYPOCENTRAMI MIKROZEMETRASENÍ A TEKTONICKÝMI LÍNIAMI OBLASTI	34
5. ZÁVERY	36
LITERATÚRA	37

1. ÚVOD

Zdrojová zóna Dobrá Voda bola najaktívnejšia seizmická zdrojová zóna na území Slovenska v 20. storočí. Je to zároveň najbližšia zdrojová zóna k lokalite Atómových elektrární Bohunice a teda seizmická aktivita v zdrojovej zóne Dobrá Voda výraznou mierou ovplyvňuje určenie seizmického ohrozenia tejto lokality. Monitorovanie a výskum seizmickej aktivity v zdrojovej zóne Dobrá Voda a jej čo najlepšie poznanie je dôležité a zaujímavé nielen z vedeckého hľadiska, ale aj z hľadiska spoločenského a národohospodárskeho.

Cieľom tejto práce je charakterizovať seizmicitu zdrojovej zóny Dobrá Voda. Problematike seizmickej aktivity v zdrojovej zóne Dobrá Voda bolo venovaných už viacero prác, ktoré budú uvedené postupne v príslušných kapitolách. V práci sú sumarizované už získané výsledky, ktoré sú rozšírené o novozískané údaje – najmä o údaje o mikroseizmickej aktivite v tejto oblasti v období 1997-2000.

V kapitole 2 sú stručne uvedené základné údaje o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach na území Slovenska.

V kapitole 3 sú uvedené dostupné údaje o seizmickej aktivite v oblasti Dobrej Vody – sumárne údaje o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach v tejto oblasti (zvláštna pozornosť je venovaná zemetraseniu 9.1.1906) a údaje o mikroseizmickej aktivite v období 1985-2000. Mikroseizmická aktivita v oblasti Dobrej Vody je monitorovaná seizmickými stanicami lokálnych sietí v okolí lokalít Atómových elektrární Bohunice a Mochovce a seizmickými stanicami Národnej siete seizmických staníc. V kapitole 3 je tiež uvedený stručný popis jednotlivých sietí a získaných údajov.

Obsahovou súčasťou kapitoly 3 sú Prílohy 1 a 2, ktoré obsahujú katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v oblasti Dobrej Vody s mapami izoseist zemetrasení s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ a katalóg mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ zaznamenaných seizmickými stanicami lokálnych sietí v okolí lokality Atómových elektrární Bohunice v období 1985-2000.

V kapitole 4 sú analyzované údaje z kapitoly 3. Uvedené sú doteraz získané výsledky, ktoré sú rozšírené o novozískané údaje o zdrojovej zóne Dobrá Voda. Analyzované je vymedzenie hraníc zdrojovej zóny, určenie početnostných vzťahov a maximálneho magnitúda M_{MAX} pre zdrojovú zónu Dobrá Voda. V závere kapitoly sú analyzované polohy hypocentier zemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$.

V kapitole 5 sú uvedené závery.

2. HISTORICKÉ ZEMETRASENIA NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

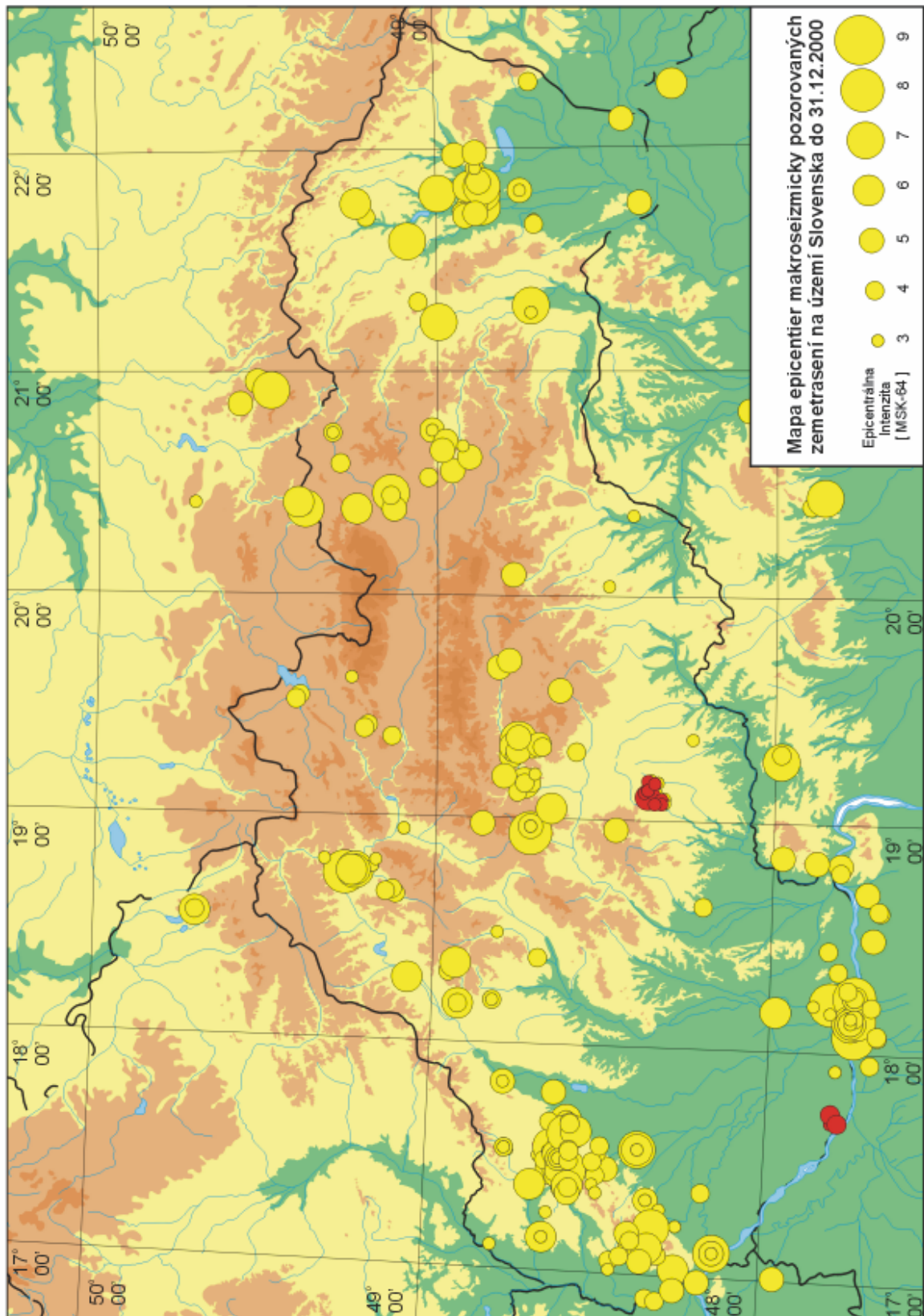
Slovensko je krajinou, v ktorej zemetrasenia zdanlivo nepredstavujú žiadne vážne ohrozenie ľudských životov a materiálnych hodnôt. V posledných desaťročiach sa tu nevyskytli silné zemetrasenia. Slovensko má však pomerne bohatú zemetrasnú históriu. V minulosti sa tu vyskytli zemetrasenia, ktoré spôsobili straty na ľudských životoch a zranenia, alebo vážne materiálne škody. Tri najsilnejšie dokumentované zemetrasenia s epicentrom na území Slovenska sú stredoslovenské zemetrasenie 5.6.1443, komárňanské zemetrasenie 28.6.1763 a dobrovodské zemetrasenie 9.1.1906.

Zemetrasenie 5.6.1443 na strednom Slovensku je dosiaľ najstaršie zemetrasenie s epicentrom na území Slovenska, pre ktoré boli nájdené tzv. primárne, t.j. zemetraseniu súčasné, písomné pramene. Zemetrasenie prakticky úplne zničilo Banskú Štiavnicu a vážne poškodilo Kremnicu. Bolo pocítené aj v Rakúsku (Viedeň), v Poľsku (napr. Krakov, Brzeg) a v Čechách (napr. Brno). Epicentrálna intenzita zemetrasenia bola väčšia ako 8⁰ EMS-98. Zemetrasenie bolo analyzované v práci *Labák (1996a)*.

Zemetrasenie 28.6.1763 len v samotnom Komárne úplne zničilo 7 kostolov a 279 domov. 63 osôb bolo usmrtených a 102 zranených. V Komárne a v jeho okolí spôsobilo paniku medzi obyvateľmi. Makroseizmicky otrásená oblasť 87 000 km², väčšia ako územie dnešného Slovenska, zasahovala na juhu po Belehrad, na juhovýchode po Temešvár a na severozápade po Lipsko. Epicentrálna intenzita zemetrasenia bola 8-9⁰ MSK-64. V epicentrálnej oblasti sa v pôde objavili trhliny. Zdokumentovaný je tiež veľký počet dotrasov. Zemetrasenie bolo analyzované v práci *Szeidovitz (1986)*.

Zemetrasenie 9.1.1906 bolo najsilnejšie zemetrasenie s epicentrom na území Slovenska v 20. storočí a zároveň prvé, pre ktoré sú k dispozícii aj seizmometrické pozorovania. Makroseizmicky otrásená oblasť 30 000 km² zasahovala do Rakúska, Maďarska a Čiech. Epicentrálna intenzita zemetrasenia bola 8-9⁰ MSK-64. V epicentrálnej oblasti sa v pôde objavili trhliny. Podrobnejšie informácie o tomto zemetrasení sú v kapitole 3.1.2.

Súčasný katalóg zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska (t.j. s účinkami na ľudí, predmety, stavby a prírodu) *Labák & Brouček (1996)* obsahuje za posledných 500 rokov údaje o viac ako 650 zemetraseniach. Ak si uvedomíme, že dokumentované obdobia sú pre rôzne veľké zemetrasenia rôzne dlhé (čím slabšie sú zemetrasenia, tým je dokumentované obdobie kratšie), je rozumné predpokladať, že v skutočnosti bolo na území Slovenska pocítených ešte viac zemetrasení. Geografické rozloženie epicentier zemetrasení makroseizmicky pozorovaných na území Slovenska je na Obr. 1. Na základe údajov o historických zemetraseniach môžeme na území Slovenska vyčleniť 7 seizmických zdrojových zón - Komárno, Pernek-Modra, Dobrá Voda, Považie (približne časť Trenčianska Teplá – Žilina), stredné Slovensko, Spiš a Košice. V týchto oblastiach dochádza k väčšine zemetrasení s epicentrom na území Slovenska. Avšak v rokoch 1999 a 2000 bola pozorovaná séria zemetrasení (17 z nich sa prejavilo aj makroseizmicky) v okrese Krupina a 3 zemetrasenia s makroseizmickými účinkami v okolí Čilistova, teda v oblastiach bez dokumentovanej historickej seizmickej aktivity. To indikuje možnosť výskytu zemetrasenia aj v doteraz neznámych seizmických zdrojových zónach. Na druhej strane musíme uvážiť fakt, že jednak databáza historických zemetrasení nemusí byť (a ani nie je) úplná, jednak prvé zemetrasenie o ktorom máme k dispozícii primárne historické údaje je z roku 1443. To znamená, že principiálne nevieme povedať nič o zemetraseniach s periodicitou väčšou ako cca 600 rokov, pričom vnútri litosférických platní môže byť perióda opakovania až 5000 rokov.



Obr.1. Epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska do roku 2000. Na obrázku je možné vidieť 7 seizmických zdrojových zón - Komárno, Pernek-Modra, Dobrá Voda, Považie, stredné Slovensko, Spiš a Košice. Červenou farbou sú vyznačené makroseizmicky pozorované zemetrasenia v rokoch 1999 a 2000, ku ktorým došlo v oblastiach bez dokumentovanej historickej seizmickej aktivity – Krupina a Čilistov.

Určovanie makroseizmickej intenzity zemetrasenia

Makroseizmické účinky zemetrasenia, t.j. účinky na ľudí, objekty, stavby a prírodu, sú kvantifikované pomocou tzv. makroseizmickej intenzity I. Makroseizmická intenzita v epicentre zemetrasenia, spravidla najväčšia, sa označuje ako epicentrálna intenzita I_0 .

Makroseizmická intenzita je určená v stupňoch makroseizmickej stupnice. Každý intenzitný stupeň je charakterizovaný súborom príznakov. Na Slovensku, podobne ako v iných štátoch Európy, bola v minulosti používaná 12-stupňová Medvedevova-Sponheuerova-Kárnikova makroseizmická stupnica (MSK-64). V súčasnosti je používaná Európska makroseizmická stupnica (EMS-98). Krátka forma makroseizmickej stupnice EMS-98 s najtypickejšími účinkami zemetrasenia pre jednotlivé intenzitné stupne je uvedená v Tab. 1.

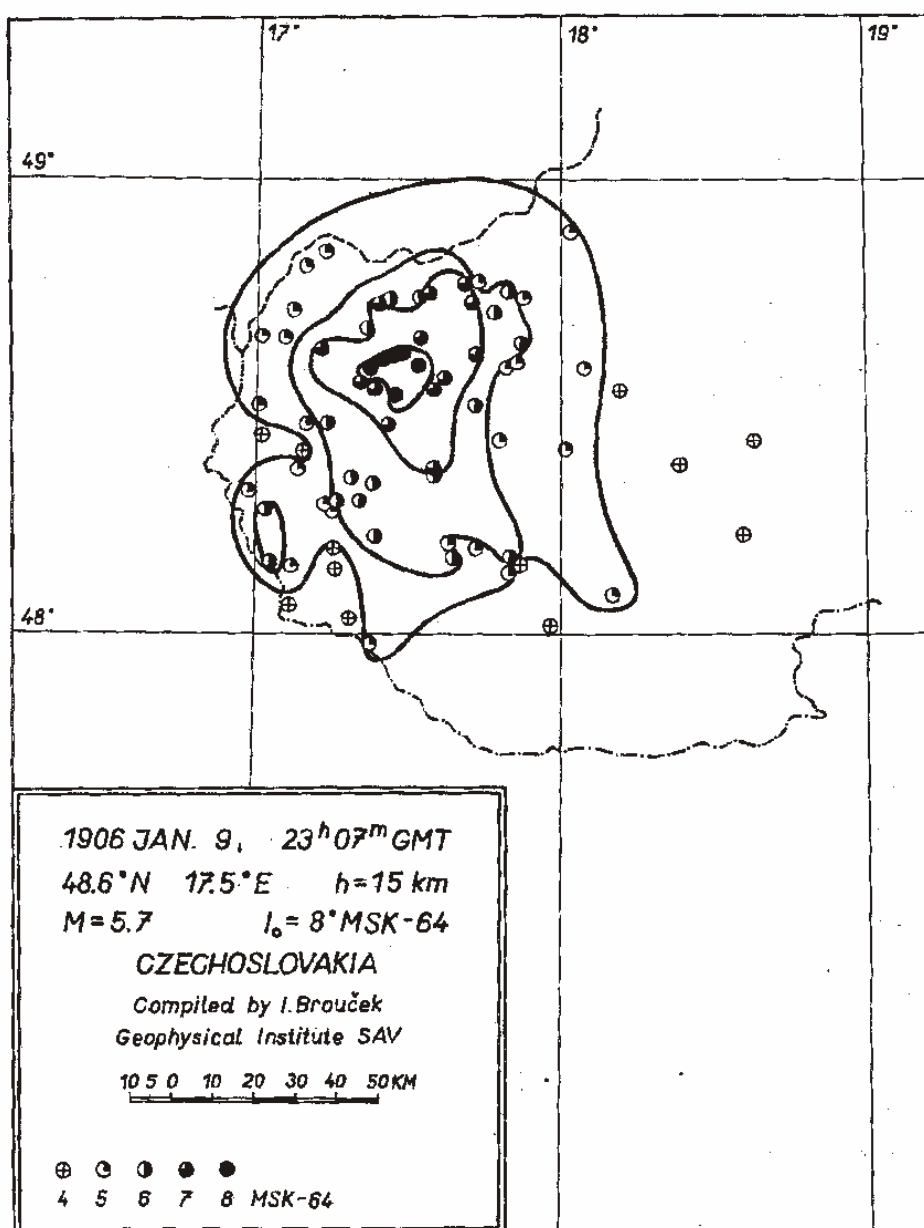
Intenzita	Definícia	Skrátený popis typických účinkov
1	nepocítané	Nepocítané.
2	zriedkavo pocítané	Pocítané len jednotlivcami na niektorých miestach v domoch.
3	slabé	Zemetrasenie vo vnútri cítia niekoľkí (0-20%). Ľudia nanajvýš cítia hojdanie alebo ľahké chvenie.
4	značne pozorované	Zemetrasenie vo vnútri cítia mnohí (10-60%), vonku len výnimočne. Niekoľkí sú prebudení. Okná, dvere a riad štrngajú.
5	silné	Zemetrasenie vo vnútri cíti väčšina (50-100%), vonku niekoľkí. Mnohí spiači sa prebudia. Niekoľkí sú vystrašení. Budovy vibrujú. Visiace objekty sa značne hojdajú. Malé predmety sú posunuté. Dvere a okná sa otvárajú a zatvárajú.
6	mierne ničivé	Mnohí sú vystrašení a vybieha von. Niektoré predmety padnú. Mnohé budovy utrpia malé neštrukturálne škody ako napr. vlásočnicové trhliny alebo odpadnuté malé kúsky omietky.
7	ničivé	Väčšina ľudí je vystrašená a vybiehajú von. Nábytok je posunutý. Predmety padajú z polic vo veľkom množstve. Mnohé dobre postavené bežné budovy utrpia stredné škody: opadne omietka, padnú časti komínov; v stenách starších budov vzniknú veľké trhliny a priečky sa zrúti.
8	ťažko ničivé	Mnohí majú problémy udržať rovnováhu. Mnohé domy majú veľké trhliny v stenách. Niekoľko dobre postavených bežných budov má vážne poškodené steny. Slabé staršie budovy sa môžu zrútiť.
9	deštruktívne	Všeobecná panika. Mnoho slabých budov sa zrúti. Aj dobre postavené bežné budovy utrpia veľmi ťažké škody: ťažké poškodenie stien a čiastočne aj štrukturálne škody.
10	veľmi deštruktívne	Mnohé dobre postavené bežné budovy sa zrúti.
11	devastujúce	Väčšina dobre postavených bežných budov sa zrúti. Aj niektoré budovy s dobrým antiseizmickým dizajnom sú zničené.
12	úplne devastujúce	Takmer všetky budovy sú zničené.

Tab. 1. Krátka forma makroseizmickej stupnice EMS-98.

(pokračovanie na ďalšej strane)

Makroseizmická intenzita je určovaná na základe makroseizmických údajov, ktoré sú získané pomocou makroseizmických dotazníkov alebo makroseizmickým prieskumom na mieste. Makroseizmické dotazníky sú zasielané občanom, ktorí sa prihlásia na výzvu zverejnenú masovokomunikačnými prostriedkami. V prípade, že makroseizmické účinky zemetrasenia môžu presiahnuť na niektorých lokalitách makroseizmickú intenzitu 6°, vykonáva sa okrem zberu makroseizmických údajov pomocou makroseizmických dotazníkov aj tzv. prieskum na mieste.

Pre každé miesto, z ktorého sú dostupné makroseizmické údaje, je určená makroseizmická intenzita. Jednotlivé intenzitné body sú vykresľované v mapách. V prípade dostatočného počtu intenzitných bodov sú v mapách vykresľované aj izoseisty, t.j. čiary oddeľujúce oblasti s rôznou makroseizmickou intenzitou. Ukážka mapy izoseist je na Obr. 2.



Obr. 2. Mapa izoseist zemetrasenia 9.1.1906. (Procházková & Kárník, eds., 1978)

3. MONITOROVANIE ZEMETRASENÍ V OBLASTI DOBREJ VODY

Seizmická zdrojová zóna Dobrá Voda bola najaktívnejšia zdrojová zóna na území Slovenska v 20. storočí. Je to zároveň najbližšia zdrojová zóna k lokalite Atómových elektrární Bohunice (AEB) a teda údaje o seizmickej aktivite v zdrojovej zóne Dobrá Voda majú zásadný význam pre určenie seizmického ohrozenia tejto lokality. Je preto potrebné podrobne skúmať seizmickú aktivitu zdrojovej zóny Dobrá Voda a venovať jej zvýšenú pozornosť.

Pre oblasť Dobrej Vody máme k dispozícii dva základné súbory dát:

- * katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení,
- * katalóg mikrozemetrasení zaznamenaných seizmickými stanicami lokálnych sietí AEB.

3.1 MAKROSEIZMICKÉ POZOROVANIA

Katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení (*Labák & Brouček, 1996*) obsahuje údaje o všetkých zdokumentovaných zemetraseniach, historických aj súčasných, s makroseizmickými účinkami na území Slovenska. Kvalita údajov o historických zemetraseniach závisí najmä od kvality primárnych historických prameňov. Kvalita a množstvo makroseizmických pozorovaní závisí od veľkosti zemetrasenia, hustoty osídlenosti, administratívnej a hospodárskej významnosti oblasti, ktorá bola zemetrasením zasiahnutá, ako aj od celkovej kultúrnej úrovne skúmanej oblasti v danej dobe. Je možné, že niektoré historické záznamy sa stratili alebo boli zničené (napr. požiare, vojny).

3.1.1 Historické zemetrasenia

Významným medzníkom v databáze údajov o historických zemetraseniach v oblasti Dobrej Vody je dátum 9. január 1906, kedy došlo k najväčšiemu zemetraseniu v tejto oblasti a zároveň aj najsilnejšiemu na Slovensku v 20. storočí (kapitola 3.1.2).

Do začiatku 20. storočia nemáme veľa informácií o seizmickej aktivite v oblasti Dobrej Vody. Údaje o najstaršom makroseizmicky pozorovanom zemetrasení sú zo začiatku 16. storočia. Celkovo sú za 4 storočia známe údaje len o 10 makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach (Tab. 2) – o 2 zemetraseniach v 16. storočí, 1 zemetrasení v 17. storočí a 7 zemetraseniach v 19. storočí. Z 18. storočia akékoľvek údaje chýbajú. Z obdobia do začiatku 16. storočia nemáme k dispozícii žiadne údaje. To však neznamená, že sa v tejto oblasti nevyskytli zemetrasenia. Vychádzajúc zo súčasného stavu poznania môžeme predpokladať, že zemetrasenia pozorované v Trnave - 26.2.1515, 1586 a 30.11.1660 - mali pravdepodobne epicentrum v oblasti Dobrej Vody. Je preto možné, že tieto zemetrasenia mohli v epicentrálnej oblasti dosiahnuť makroseizmickú intenzitu I_0 až 8° MSK-64. Je teda veľmi pravdepodobné, že silnejšie zemetrasenia, s magnitúdom aspoň 5, sa vyskytli v oblasti Dobrej Vody už aj v 16. a 17. storočí.

Prevažná časť makroseizmických pozorovaní v oblasti Dobrej Vody je dokumentovaná pre 20. storočie, kedy bolo zdokumentovaných 154 makroseizmicky pozorovaných zemetrasení. Makroseizmicky pozorované zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ sú uvedené v Tab. 3. Katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v oblasti Dobrej Vody spolu s dostupnými mapami izoseist zemetrasení s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ (*Procházková & Kárník, eds., 1978; Labák, 1996b*) je v Prílohe 1.

*Parametre historických zemetrasení
podľa Labák (2000)*

Parametre historických zemetrasení boli prevzaté z katalógu *Labák & Brouček (1996)*.

Dátum a čas vzniku zemetrasenia sú prevzaté z prameňov ku katalógu. Časy uvádzané v katalógu sú udávané v Svetovom čase (UTC).

Zemepisné súradnice epicentier boli určené na základe makroseizmických údajov alebo, v prípade niektorých zemetrasení z 20. storočia, seizmometricky. Epicentrá zemetrasení na základe makroseizmických údajov sú určované jedným z nasledujúcich postupov:

- ako ťažisko bodov s maximálnou pozorovanou makroseizmickou intenzitou alebo, v prípade dostatočného počtu údajov, ako ťažisko bodov, ktoré sa nachádzali vo vnútri izoseisty prislúchajúcej maximálnej hodnote intenzity,
- ako miesto s maximálnou pozorovanou intenzitou, ak maximálna intenzita bola pozorovaná len na jednej lokalite,
- ako ťažisko zo všetkých lokalít, v ktorých bolo zemetrasenie pozorované, ak na všetkých lokalitách bola pozorovaná rovnaká intenzita,
- priamo ako lokalita pozorovania, ak bola jediným miestom pozorovania.

Makroseizmická hĺbka ohniska zemetrasenia na základe makroseizmických údajov bola určená z Kövesligethyho vzťahu (*Kárník, 1968*)

$$I_n - I_0 = 3 \cdot \log(R_n/h) + 3 \cdot K \cdot \log(e) \cdot (R_n - h),$$

kde I_0 je epicentrálna intenzita, R_n je polomer izoseisty prislúchajúcej hodnote I_n , h je hĺbka ohniska zemetrasenia a K je koeficient útlmu.

Seizmometricky určené epicentrá a hĺbky ohnisk (v prípade niektorých zemetrasení z 20. storočia) sú prevzaté z ročných bulletinov československých a slovenských seizmických staníc a z bulletinov BCIS (Bureau Central International de Séismologie, Strassbourg) a ISC (International seismological Centre, Newbury).

Epicentrálne intenzity sú uvádzané v stupňoch MSK-64 pre zemetrasenia do roku 1999 a v stupňoch stupnice EMS-98 pre zemetrasenia po tomto období. Epicentrálne intenzity boli určené alebo z Kövesligethyho vzťahu, ak boli k dispozícii mapy izoseist, alebo boli stotožnené s maximálnymi pozorovanými intenzitami.

Magnitúda určené z epicentrálnych intenzít vychádzajú z empirických vzťahov *Kárník, Michal & Molnár (1957)* pre Západné Karpaty

$$M = 0.55 \cdot I_0 + 0.95,$$

ak nepoznáme hĺbku epicentra, alebo

$$M = 0.55 \cdot I_0 + 0.93 \cdot \log(h) + 0.14,$$

kde M je magnitúdo, I_0 je epicentrálna intenzita a h je hĺbka ohniska.

Neurčitosť parametrov zemetrasení je ovplyvnená kvalitou historických prameňov. Poloha epicentier nie je určená s presnosťou lepšou ako ± 10 km (bežne však aj ± 20 km a viac), epicentrálna intenzita s presnosťou $\pm 0.5^\circ$ MSK-64.

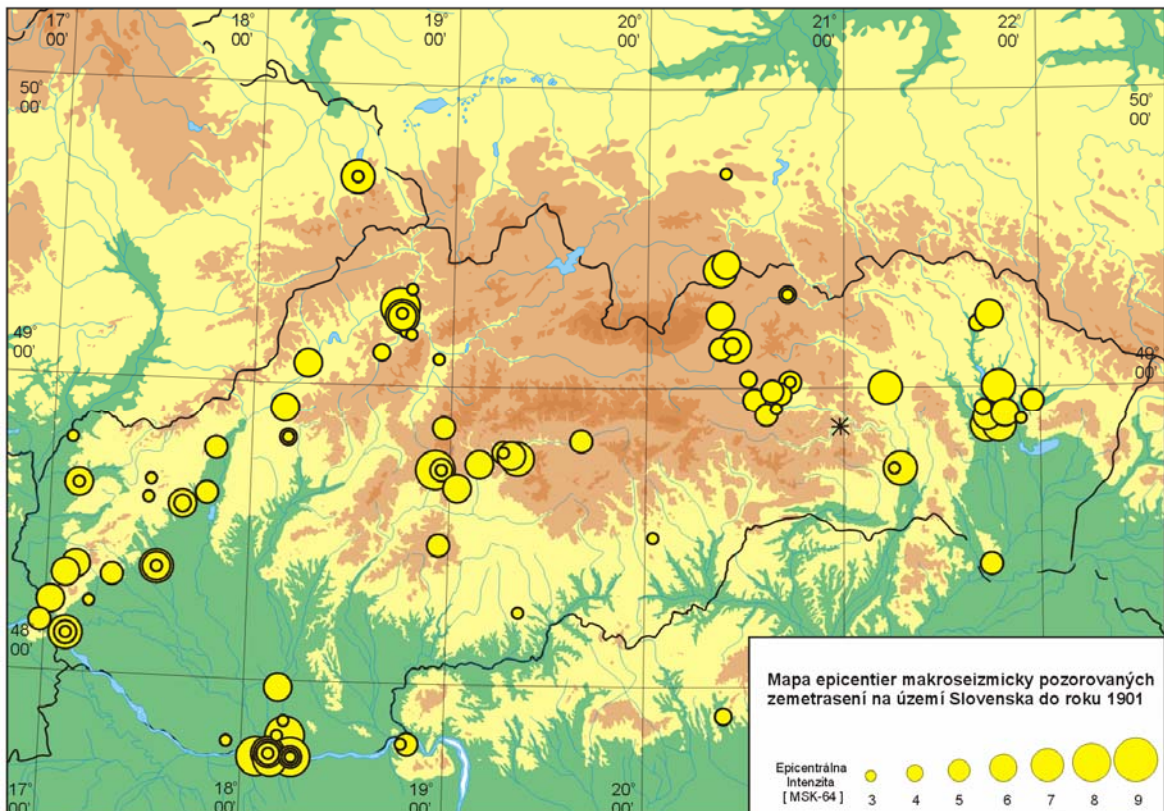
Dátum	Zem. dĺžka [°N]	Zem. šírka [°E]	Hĺbka [km]	I ₀	M(I ₀)
26.02.1515	48.37	17.56	-	-	-
1586	48.37	17.56	-	7	4.6
30.11.1660	48.37	17.56	-	6	4.4
1805	48.58	17.68	-	6	4.3
15.06.1815	48.58	17.68	-	4	3.2
13.04.1860	48.37	17.56	-	3	2.6
13.04.1860	48.37	17.56	-	3	2.6
01.02.1873	48.37	17.56	-	3	2.6
24.03.1893	48.62	17.80	5	5.5	3.8
04.03.1894	48.60	17.51	-	3	2.7

Tab. 2. Makroseizmicky pozorované zemetrasenia v oblasti Dobrej Vody do začiatku 20. storočia. I₀ - epicentrálna intenzita v stupňoch MSK-64, M(I₀) - magnitúdo zemetrasenia vypočítané z hodnoty I₀.

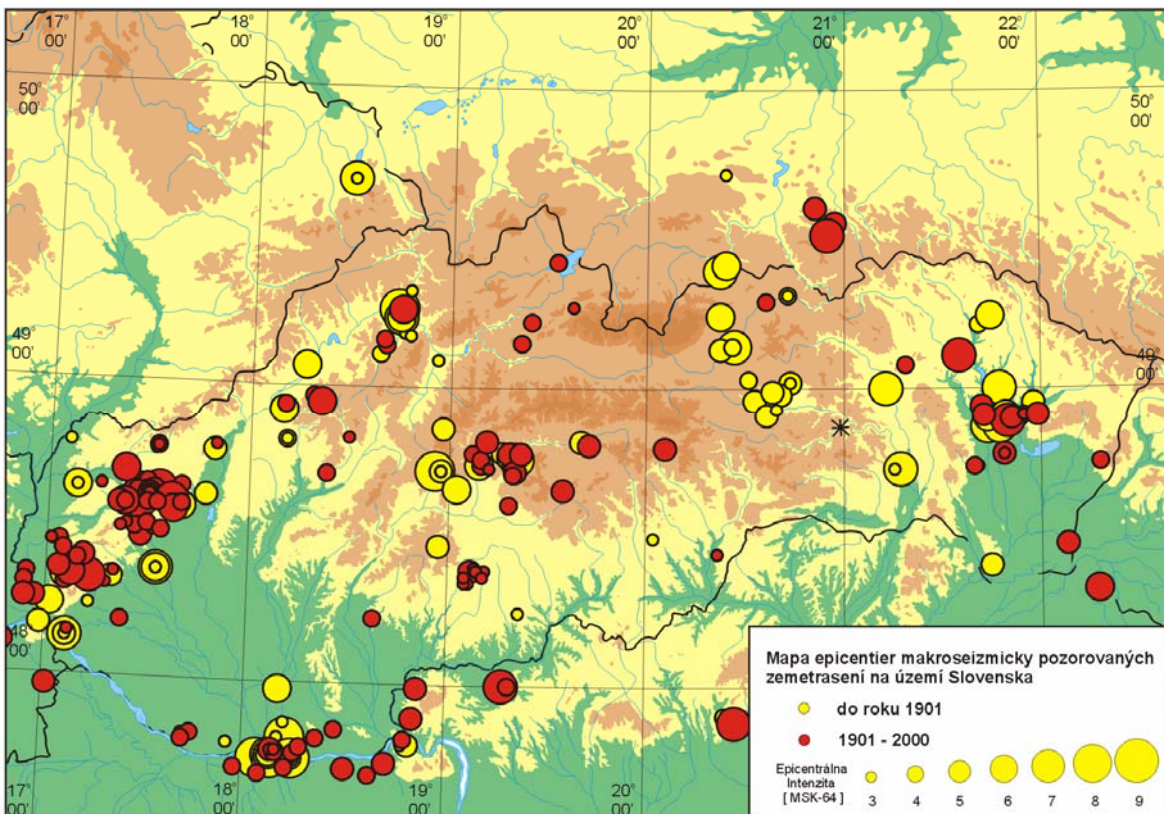
Dátum	Zem. dĺžka [°N]	Zem. šírka [°E]	Hĺbka [km]	I ₀	M(I ₀)
20.04.1904	48.62	17.46	-	6.5	4.5
12.10.1904	48.68	17.39	-	6	4.3
09.01.1906	48.58	17.46	9	8.5	5.7
16.01.1906	48.62	17.56	7	7.5	5.1
05.03.1930	48.58	17.62	6	7.5	5.0
06.03.1930	48.55	17.63	8	6.5	4.6
03.12.1967	48.57	17.39	4	6.5	4.3
24.08.1976	48.57	17.36	8	5.5	4.0

Tab. 3. Makroseizmicky pozorované zemetrasenia s magnitúdom M(I₀)≥4 v oblasti Dobrej Vody v 20. storočí. I₀ - epicentrálna intenzita v MSK-64, M(I₀) - magnitúdo zemetrasenia vypočítané z hodnoty I₀.

Na Obr. 3a, 3b je mapa epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska do roku 1901 a do roku 2000. Na mape epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení do roku 1901 oblasť Dobrej Vody nie je takmer vôbec vidieť. Oblasť je vidieť až z údajov 20. storočia, kedy sa podstatne zvýšil počet makroseizmických pozorovaní. Ako už bolo uvedené, kvalita a množstvo týchto pozorovaní veľmi závisí od veľkosti zemetrasenia, hustoty osídlenosti, administratívnej a hospodárskej významnosti oblasti, ktorá bola zemetrasením zasiahnutá, od kultúrnej úrovne a celkovej pozornosti, ktorá bola venovaná zemetraseniu v skúmanej oblasti. Nedá sa preto jednoznačne povedať, že v 20. storočí sa výrazne zvýšila seizmická aktivita v oblasti Dobrej Vody. Zvýšený počet makroseizmických pozorovaní je pravdepodobne treba pripísať nedostatku zdokumentovaných pozorovaní v minulých storočiach. Okrem celkového kultúrneho pokroku v 20. storočí, práve silno pocítené zemetrasenia v roku 1906 mohli prispieť k zvýšeniu záujmu o pozorovanie makroseizmických prejavov zemetrasení a k zlepšeniu kvality makroseizmických pozorovaní v oblasti Dobrej Vody v 20. storočí.



a) epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska do roku 1901



b) epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska do roku 2000

Obr. 3. Mapa epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska. a) Zemetrasenia pozorované do začiatku 20. storočia. b) Zemetrasenia pozorované do 30.12. 2000. Červenou farbou sú zvýraznené zemetrasenia pozorované v 20. storočí.

3.1.2 Zemetrasenie 9. januára 1906

Dobrovodské zemetrasenie 9. januára 1906 bolo najsilnejším zemetrasením s epicentrom na území Slovenska v 20. storočí a zároveň prvým zemetrasením, pre ktoré máme k dispozícii aj seizmometrické pozorovania.

Makroseizmické pozorovania

Makroseizmicky otrasená oblasť bola až 30 000 km² a zasahovala do Rakúska, Maďarska a Čiech. Epicentrálna intenzita zemetrasenia bola 8-9⁰ MSK-64. V epicentrálnej oblasti sa v pôde objavili trhliny. Účinky zemetrasenia sú podrobne popísané v práci *Réthly (1907)*. Pre ilustráciu uvediem preklad niektorých častí tejto práce do slovenčiny tak, ako bol publikovaný v práci *Labák et al. (1997a)*.

„Epicentrum zemetrasenia sa nachádza severozápadne od obce Dobrá Voda asi na úpätí hory kopec v Brezovských horách, ktoré sa pripájajú k vetve Severných Karpát. Geografické súradnice epicentra: 48°35' N, 17°31' E v nadmorskej výške 300-400 m. Otrasy podľa odhadov mali bezprostrednú intenzitu IX°.“

„Keď som bol v Dobrej Vode, spravidla každý hovoril o veľkom hrmote, ale svoje postrehy popisujú rôznym spôsobom. Niektorým sa zdal hrmot obrovský, druhí považovali zvuk za dôsledok pádu odvalených skál po detonácii, ktorý stále slabol. Pravdepodobne veľmi záleží od osobnosti pozorovateľa, od miesta pozorovania. Opýtaní sa zhodli vo svojich výpovediach v tom, že dunenie počuli od hory Kopec.“

„Iné pozorovania. Medzi početnými pozorovaniami uvedenými v druhej časti tejto ročenky je aj viac takých, ktoré pre svoju zaujímavosť zasluhujú zmienku na tomto mieste: Bukovec. Rozvírila sa voda v niekoľkých prameňoch.

V poľovníckom kaštieli Cerová zo studne zmizla voda a objavila sa až koncom marca. Vrbové. 8. januára v 24 m hlbkej studni nebola voda. Okolo 2. hodiny sa objavilo malé množstvo kalnej vody, kým okolo 5. hodiny sa naplnila vodou ako za normálneho stavu. (Je to zvláštne, lebo zemetrasenie bolo v noci z 9-teho na 10-teho.)

Cerová. S výnimkou dvoch vyschli všetky pramene.

Hradište. Po zemetrasení vznikol jeden sírny prameň. Podľa hlásení je nový prameň veľmi výdatný.nový prameň vyviera niečo na sever od Hradišťa vľavo od doliny Brezovského potoka na viacerých miestach zamoknutého terénu, ktorý pozostáva v plnej miere z litavského konglomerátu a z neokomského dolomitu.“

„Podľa pozorovania notára v Dobrej Vode Sándora Fixeka sa juhozápadne od Dobrej Vody pri úpätí hory Kopec dostavili na povrchu zmeny. Obyvatelia Dobrej Vody zbadali až po 16. januári, že 1 1/2 km juhozápadne od obce nastalo na veľkej ploche posunutie vrstiev. Ide o podradné plochy pri úpätí hory Kopec. V posunutej vrstve vznikli dosť hlboké a dlhé trhliny, ktoré dosahujú 80-200 cm hĺbku a dĺžku 33 m. Vďaka láskavosti pána notára Sándora Fixeka mám možnosť uviesť z tohoto územia niekoľko záberov pána farára Bélu Rudolfa.“ (Na Obr. 4 je jedna zo spomenutých trhlín. Rozmery trhlín je možné približne odhadnúť podľa sediacej osoby.)

„15. a 16. augusta minulého roku som navštívil okolie Dobrej Vody. Svoje skúsenosti, rozšírené o pozorovania Sándora Fixeka, predkladám nasledovne: škody vzniknuté na budovách neboli všade rovnaké. Tak v severovýchodnej časti obce neutrpeli domy postavené na eocénnom vápencovom podklade temer žiadne škody, ale domy v okolí prameňa v Dobrej Vode, postavené na vlhkom podloží, boli viac-menej všetky poškodené. Väčšie praskliny boli bezprostredne pod strechou, ako aj okolo okien, zárubní a dvier.

Rozdiel sa neukázal na domoch, ktorých steny boli z hlíny alebo zo skál (kameňa), lebo popraskali rovnako. Klenba kostola popraskala po celej dĺžke a u celej rady stavieb, ako aj chlievov, včelínov, stodôl a senníkov sa posunula iba strešná konštrukcia. Otrás bol taký silný, že rôzne predmety zavesené na stenách, orientované na všetky smery, popadali alebo sa posunuli. U dlhých domov trpeli hlavne konce.

Škody vo vnútri domov boli väčšie ako zvonku, lebo malé priečky popraskali veľmi silne. Na mnohých miestach hlavné trámy znamenali pre steny silnú oporu a nespádli. Najviac boli domy poškodené na alluviu pri prameni rieky Blava, kým na sprašiach účinok zemetrasenia bol pomerne slabší. Pozornosť si zasluhuje budova starej radnice, postavená z kamenných múrov, ktorá neutrpela škody, hoci sa nachádza medzi najviac postihnutými budovami.

Kamenný múr pri ceste z Naháča do Dobrej Vody, ktorý je 50-60 cm široký a 190 cm vysoký, na rohoch natoľko popraskal, že horné časti steny boli od seba 25 cm. Praskliny sa smerom dole zužovali. Taktiež silne popraskala aj stena na márnici.“

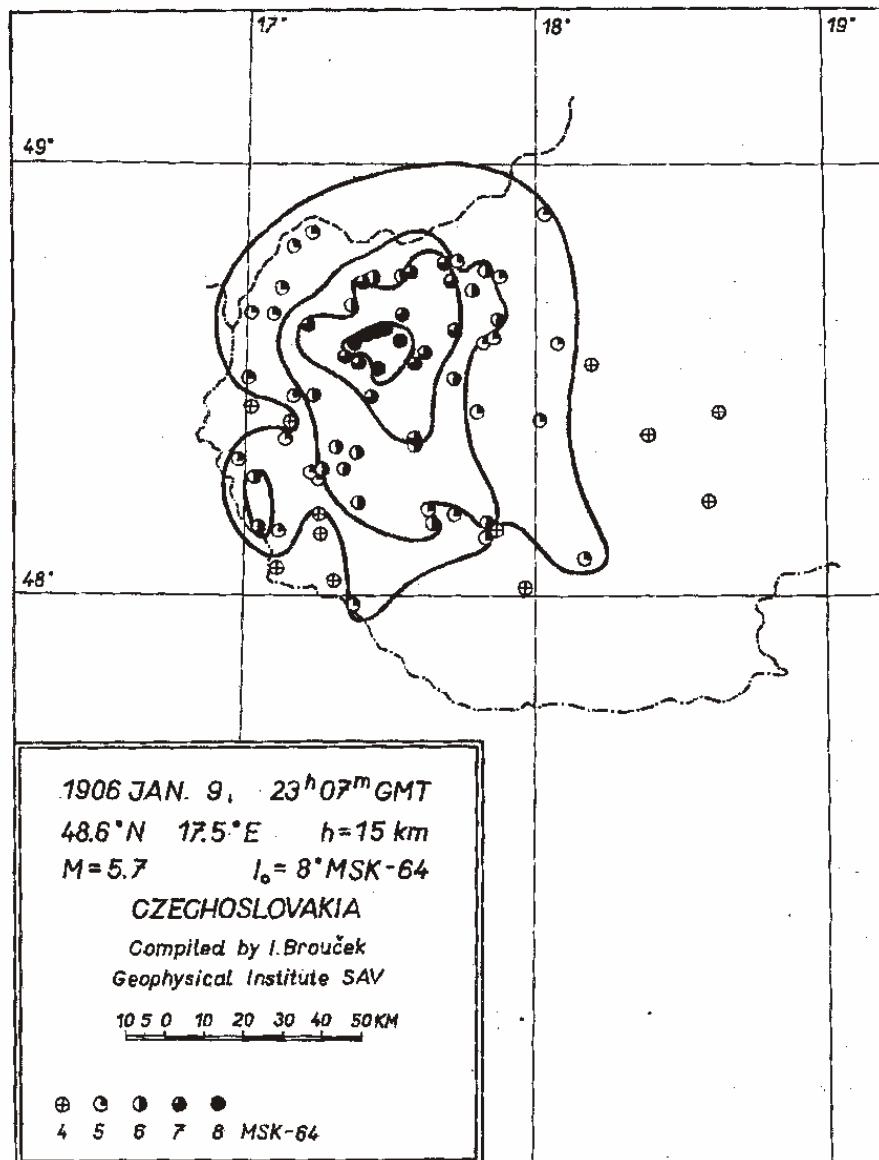
„Pod kláštorom sv. Kataríny pri úpätí hory na poľovníckom kaštieli Oborina spôsobilo zemetrasenie veľké praskliny. V chemickej továrni v Dobrej Vode sa prejavili účinky zemetrasenia na komínoch (sú tam tri komíny vedľa seba). Po zemetrasení 10. januára sa stredný prelomil v polovičke, ale nespadol, jeho ulomená časť sa otočila o 45° a zostala stáť. Zemetrasenie zo 16. januára otočilo tento kus o 45° naspäť do pôvodnej polohy. Tento zaujímavý komín sa nachádza na tomto mieste a v tomto stave dodnes, lebo ho dodatočne aj posilnili.“



Obr. 4. Jedna z trhlín, ktoré vznikli pri zemetrasení dňa 9.1.1906 v Dobrej Vode.

Makroseizmické účinky zemetrasenia boli reanalyzované Broučkom v roku 1987 (viď Príloha 4 v správe *Sekereš et al., 1987*). Na základe údajov publikovaných v katalógoch *Réthly (1952)* a *Kárník et al. (1957)* bola zostavená mapa izoseist (*Procházková & Kárník, eds., 1978*), ktorá je na Obr. 5. Poloha epicentra a hĺbka zemetrasenia boli určené z makroseizmických údajov. V atlase *Procházková & Kárník, eds., (1978)* je uvedená

epicentrálna intenzita 8° MSK-64 a hĺbka ohniska 15 km. Pri novom určení epicentrálnej intenzity a hĺbky ohniska v GFÚ SAV boli získané hodnoty 8.5° MSK-64 pre epicentrálnu intenzitu a 9 km pre hĺbku ohniska. Hodnota magnitúda vypočítaného z epicentrálnej intenzity a hĺbky ohniska je v oboch prípadoch 5.7.

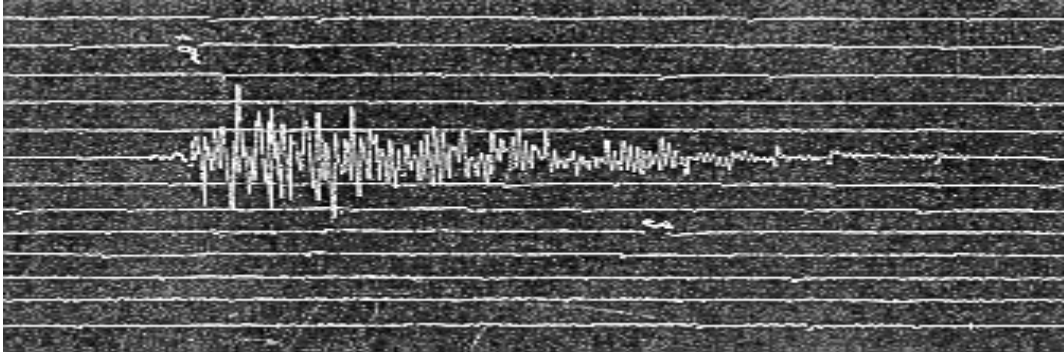


Obr. 5. Mapa izoseist zemetrasenia 9.1.1906 v Dobrej Vode publikovaná v atlase Procházková & Kárník, eds., (1978).

Seizmometrické pozorovania

V práci Réthly (1907) sú uvedené aj niektoré seizmometrické údaje - časy príchodu pre 12 seizmických staníc zo strednej Európy (Belehrad, Göttingen, Heilderberg, Hohenheim, Krakov, Kremsmünster, Ljubljana, Mníchov, Pola, Strassburg, Terst a Viedeň). Bohužiaľ, z textu nie je zjavné, či ide o časy príchodu prvého nasadenia alebo o časy príchodu iných vln. V GFÚ SAV sú k dispozícii kópie záznamov zo seizmických staníc Mníchov (Obr. 6)

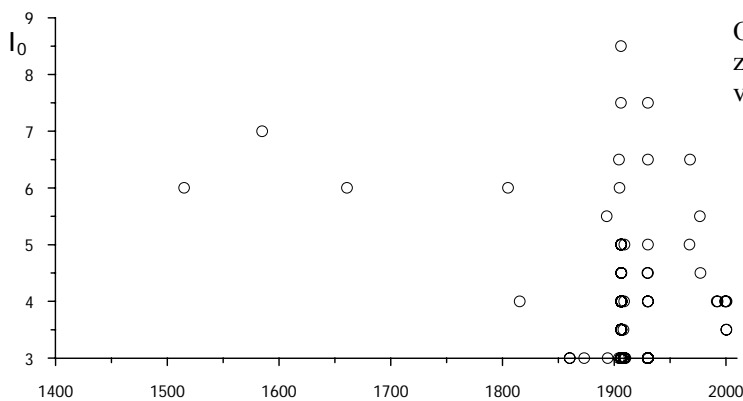
a Göttingen a pôvodné interpretácie záznamov zo seizmických staníc Mníchov, Göttingen, Viedeň, Kremsmünster, Pola, Terst, a Jena. Časy uvedené Réthlym zodpovedajú údajom, ktoré sú k dispozícii v GFÚ SAV. Veľkosť magnitúda M_S určeného zo seizmometrických údajov je 5.7.



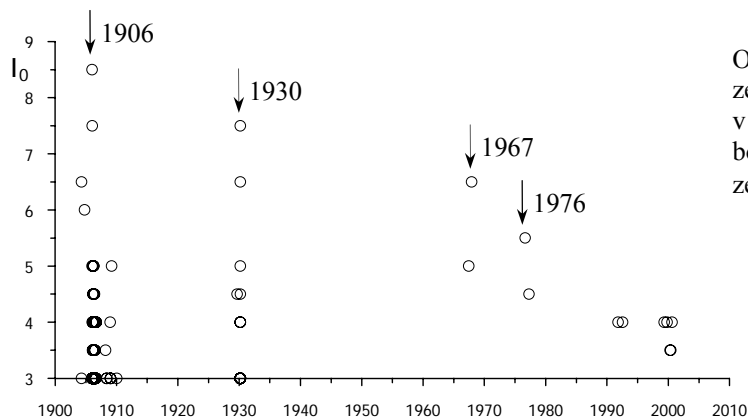
Obr. 6. Seizmometrický záznam zemetrasenia 9.1.1906 v Dobrej Vode zaznamenaný seizmickou stanicou Mníchov.

3.1.3 Zemetrasenia v 20. storočí

Z prvého pohľadu na údaje o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach v 20. storočí (Tab. 3) vidieť, že zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ sa v oblasti Dobrej Vody vyskytujú približne s periódou 20-30 rokov. Graficky sú makroseizmicky pozorované zemetrasenia v oblasti Dobrej Vody znázornené na Obr. 7a a 7b.

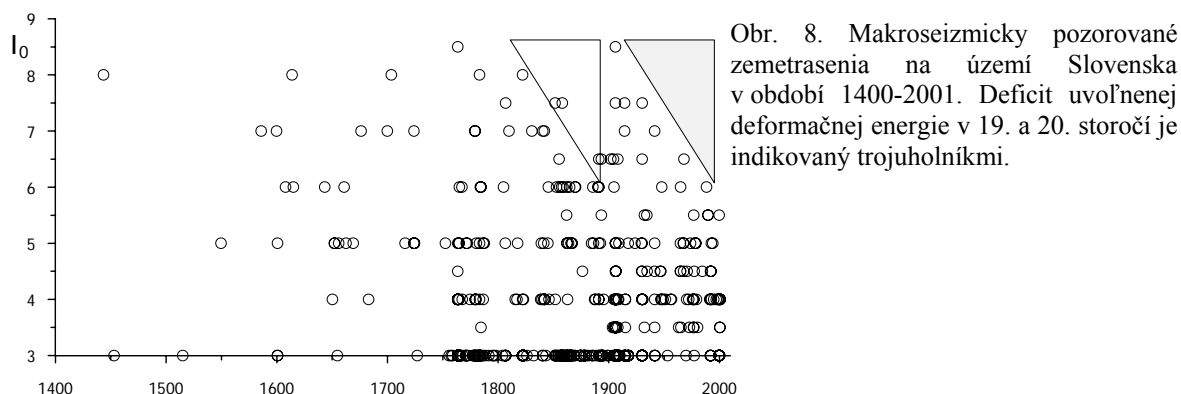


Obr. 7a. Makroseizmicky pozorované zemetrasenia v oblasti Dobrej Vody v období 1400-2000.



Obr. 7b. Makroseizmicky pozorované zemetrasenia v oblasti Dobrej Vody v 20. storočí. Šípky označujú roky, kedy boli v oblasti Dobrej Vody pozorované zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$.

Na Obr. 8 sú znázornené makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území celého Slovenska od roku 1443 s indikáciou deficitu uvoľnenej energie v 20. storočí. Analogický deficit energie je možné pozorovať aj pred dobrovodským zemetrasením v roku 1906. Ak budeme predpokladať, že tektonický vývoj Slovenska sa nezastavil a uvedomíme si, že pri jednom zemetrasení s magnitúdom M sa uvoľní približne 32-krát viac energie ako pri zemetrasení s magnitúdom $M-1$, musíme dospieť k záveru, že deformačná energia sa hromadí a je len otázkou času, kedy sa uvoľní vo forme dostatočne silného zemetrasenia.



Na základe vyššie uvedených údajov môžeme vysloviť dve hypotézy:

1. zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ sa v oblasti Dobrej Vody vyskytujú približne s periódou 20-30 rokov,
2. v dôsledku kumulácie deformačnej energie by malo dôjsť v budúcnosti k dostatočne silnému zemetraseniu na území Slovenska.

Niektoré aspekty vyplývajúce z týchto hypotéz budú diskutované v ďalších kapitolách.

3.2 SEIZMOMETRICKÉ POZOROVANIA

Okrem údajov o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach sú pre štúdium seizmického režimu nevyhnutne potrebné a nenahradiateľné seizmometrické pozorovania. Okrem toho, že seizmometrické údaje nám dávajú možnosť lepšie a podrobnejšie analyzovať zemetrasenia s makroseizmickými účinkami, umožňujú nám sledovať mikrosezimickú aktivitu v sledovanej oblasti. Na makroseizmickovej úrovni môžeme skúmať len zemetrasenia od určitej veľkosti. O mikrosezimickej aktivite však na základe týchto údajov nevieme povedať nič. Pod mikrosezimickou aktivitou rozumieme zemetrasenia, ktoré sa neprejavili na makroseizmickovej úrovni, t.j. zemetrasenia, ktoré boli zaznamenané len seizmometricky. Spravidla ide o zemetrasenia s lokálnym magnitúdom $M_L \leq 2.5$. V súčasnosti sú na Slovensku v prevádzke tri siete seizmických staníc - Národná sieť seizmických staníc (NSSS), lokálna sieť seizmických staníc v okolí lokality Atómových elektrární Bohunice (AEB) a lokálna sieť seizmických staníc v okolí lokality Atómových elektrární Mochovce (AEM). Mikrosezimická aktivita v oblasti Dobrej Vody je monitorovaná najmä lokálnou seizmickou sieťou AEB. Získané dáta sú dopĺňané údajmi zo seizmických staníc NSSS a údajmi zo seizmických staníc lokálnej siete AEM.

3.2.1 Národná sieť seizmických staníc

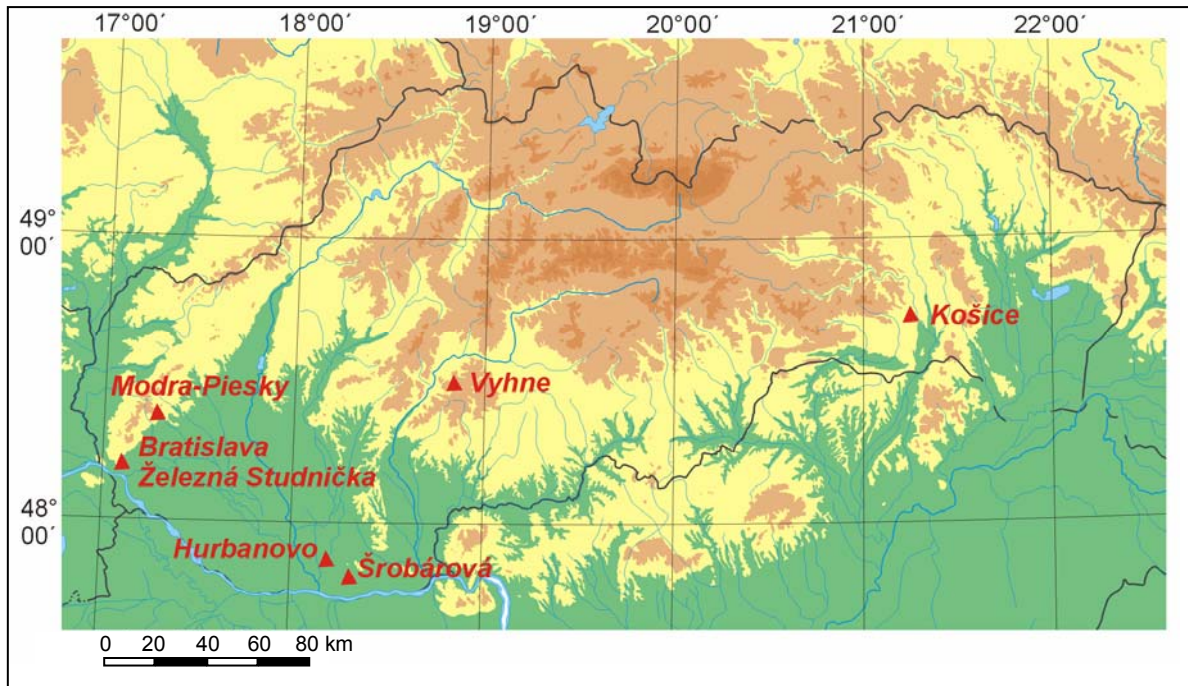
Národná sieť seizmických staníc je najstaršou seizmometrickou sieťou na území Slovenska (na seizmickej stanici v Hurbanove sa zaznamenávajú zemetrasenia už od roku 1902). V súčasnosti NSSS pozostáva zo šiestich seizmických staníc (Tab. 4, Obr. 9). Sieť je prevádzkovaná Geofyzikálnym ústavom Slovenskej Akadémie vied (GFÚ SAV). Seizmické stanice NSSS sú, okrem seizmickej stanice v Hurbanove, vybavené trojzložkovými krátkoperiodickými seizmometrami a digitálnou registráciou. Seizmická stanica Bratislava - Železná Studnička je ako jediná vybavená aj širokopásmovými seizmometrami. Zaznamenané údaje sú spracovávané v GFÚ SAV. Prenos dát prebieha v on-line alebo off-line režime. On-line režim prenosu zaznamenaných dát medzi seizmickou stanicou a spracovateľským centrom GFÚ SAV je v prevádzke v prípade seizmických staníc Bratislava - Železná Studnička, Modra - Piesky a Šrobárová. V prípade off-line prenosu údajov sú zaznamenané údaje dopravované zo seizmickej stanice do GFÚ SAV pomocou digitálnych záznamových médií v cca dvojtýždňových intervaloch (v prípade blízkeho zemetrasenia okamžite na vyžiadanie). Hlavné ciele monitorovania seizmickej aktivity stanicami NSSS sú:

- monitorovanie, analýza a lokalizácia zemetrasení s epicentrami na území Slovenska a zemetrasení makroseimicky pozorovaných na území Slovenska,
- monitorovanie vzdialených zemetrasení seizmickými stanicami registrovanými v Medzinárodnom seizmologickom centre (ISC) a interpretácia získaných údajov,
- monitorovanie, analýza a interpretácia priemyselných explózií.

Vzhľadom na priestorové rozmiestnenie a vybavenie seizmických staníc, seizmometrické údaje získané stanicami NSSS neumožňujú lokalizovať väčšinu zemetrasení s epicentrom na území Slovenska s lokálnym magnitúdom $M_L \leq 2.5$ a teda ani neumožňujú monitorovať mikrosezimickú aktivitu v oblasti Dobrej Vody. Údaje získané stanicami NSSS (najmä stanicami Bratislava - Železná Studnička a Modra - Piesky) sa však používajú ako aditívne k údajom, ktoré sú zaznamenané seizmickými stanicami lokálnej siete AEB. Podrobnejšie informácie o monitorovaní seizmických javov stanicami NSSS je možné nájsť v *Cipciar et al. (in press)*.

Stanica	Zem. súradnice		Registrované komponenty	Seizmometer	Režim prenosu dát
	šírka [°N]	dĺžka [°E]			
Bratislava – Žel. Studnička	48°11'46''	17°06'09''	Z, N, E Z, N, E	3 x SM-3 3 x SKD	on-line, telemetria
Šrobárová	47°48'48''	18°18'48''	Z, N, E	3 x SKM-3	on-line, internet
Hurbanovo	47°52'25''	18°11'34''	N, E	2 x Mainka	off-line, na vyžiadanie
Modra – Piesky	48°22'23''	17°16'39''	Z, N, E	LE-3D	on-line, internet
Vyhne	48°29'38''	18°50'10''	Z, N, E	LE-3D	off-line, cca 2 týždne
Košice	48°43'48''	21°15'01''	Z, N, E	LE-3D	off-line, cca 2 týždne

Tab. 4. Seizmické stanice NSSS. (stav v roku 2001)



Obr. 4. Seizmické stanice NSSS. (stav v roku 2001)

3.2.2 Lokálna sieť seizmických staníc AEB

Monitorovanie mikrozemetrasení sa v lokalite AEB začalo v roku 1985. Monitorovanie je možné rozdeliť na dve obdobia: obdobie do 30.8.1992 a obdobie po 30.8.1992. Seizmické merania v prvom období boli zamerané na hľadanie správnej konfigurácie seizmických staníc lokálnej siete tak, aby bolo možné lokalizovať hypocentrá zemetrasení s čo najväčšou presnosťou a zistiť ich rozloženie v okolí AEB. Konfigurácia aj počet seizmických staníc sa v tomto období menili pomerne často. V období po 30.8.1992 sa konfigurácia a počet seizmických staníc už takmer nemenili a získané dáta z tohto obdobia môžeme považovať za homogénne.

Podrobné informácie o lokálnych sieťach seizmických staníc AEB a vyhodnotenie získaných údajov je možné nájsť v jednotlivých priebežných polročných správach a v správach Šimůnek & Sekereš (1992) a Sekereš & Labák (2001).

Obdobie do 30.8.1992

V roku 1985 bola do prevádzky uvedená lokálna seizmická sieť Malé Karpaty (Obr. 10a). Jej úlohou bolo zaznamenávať seizmické javy v severnej časti Malých Karpát, v oblasti Dobrej Vody. Sieť tvorili štyri seizmické stanice vybavené seizmometrami na zaznamenávanie vertikálnej zložky rýchlosti pohybu pôdy, ktoré boli autonómne s jednotnou časovou základňou. Detekčná schopnosť siete bola pomerne nízka. Sieť umožňovala zaznamenať seizmické javy s lokálnym magnitúdom $M_L > 2.5$ z hypocentrálnej vzdialenosti cca 20 km a lokalizovať javy s lokálnym magnitúdom $M_L > 2.8$ z tej istej hypocentrálnej vzdialenosti. V rokoch 1985-1986 nebol zaznamenaný žiadny lokálny seizmický jav, avšak v roku 1987 bolo zaznamenaných 7 lokálnych tektonických javov s magnitúdom $M_L \geq 1$. Vzhľadom na zvýšenú seizmickú aktivitu v roku 1987 bolo potrebné detailnejšie monitorovať danú oblasť a vybudovať kvalitnú digitálnu seizmickú sieť.

V prvej fáze bola vybudovaná tzv. 100 denná sieť (Obr. 10b), ktorej prevádzka trvala od 23.7.1987 do 27.10.1987. Sieť bola tvorená piatimi trojzložkovými stanicami so seizmometrami zakopanými tesne pod povrchom, ktoré boli telemetricky spojené do subcentra, kde boli zemetrasenia zaznamenávané na magnetické médium a na analógový záznam. Čez deň bola detekčná schopnosť siete od lokálneho magnitúda $M_L > 1.5$ z hypocentrálnej vzdialenosti 20 km a lokalizačná schopnosť od $M_L > 1.8$ z tej istej vzdialenosti. V noci bola lokalizačná aj detekčná schopnosť siete o jednotku magnitúda lepšia. Počas obdobia prevádzky 100 dennej siete bolo zaznamenaných 8 lokálnych seizmických javov. Táto sieť však bola len provizóriom. Umiestnenie seizmických staníc nebolo dôkladné a šumové podmienky neumožňovali získať dostatočne kvalitné záznamy zemetrasení. Na základe získaných údajov a predpokladu, že hlavná seizmická aktivita pochádza z oblasti Dobrej Vody, bolo rozhodnuté vybudovať lokálnu seizmickú sieť, ktorá by obklopovala túto oblasť.

Lokálna seizmická sieť Dobrá Voda bola tvorená piatimi seizmickými stanicami (Obr. 10c) a bola v prevádzke v období 25.11.1987-25.5.1989. Do 31.3.1988 mali seizmické stanice len jednozložkové vertikálne kanály. Od 1.4.1988 boli všetky stanice trojzložkové, so seizmometrami umiestnenými vo vrtoch hlbokých 6 m. Jednotlivé seizmické stanice boli opäť telemetricky spojené do subcentra, kde boli zemetrasenia zaznamenávané na magnetické médium a na analógový záznam. Kvalita záznamov zemetrasení sa oproti predchádzajúcim sieťam výrazne zlepšila - počas celých 24 hodín bola sieť schopná lokalizovať seizmické javy s lokálnym magnitúdom $M_L > 0$ v okruhu hypocentrálnych vzdialeností do 15 km a detekčná schopnosť bola dokonca až v záporných magnitúdach. Počas doby prevádzky siete Dobrá Voda bolo celkovo lokalizovaných 144 seizmických javov, z toho 26 s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$. Presnosť lokalizácií sa ukázala byť 2.5 km v horizontálnom smere aj pre javy s magnitúdom $M_L \geq 1$, čo bolo nedostačujúce pre určenie južnej hrany zdrojovej zóny. Z tohto dôvodu bola sieť Dobrá Voda zrušená a seizmické stanice mali byť premiestnené tak, aby lokalita AEB bola uprostred (lokálna sieť EBO). V prechodnom období boli vykonávané tzv. parametrické merania.

Sieť parametrických meraní bola tvorená piatimi trojzložkovými stanicami (Obr. 10d) a v prevádzke bola od 30.8.1989 do 1.3.1990. Seizmometre boli umiestnené vo vrchnej vrstve pôdy. Jednotlivé seizmické stanice boli telemetricky spojené do subcentra, v ktorom boli zemetrasenia zaznamenávané na magnetické médium a na analógový záznam. Keďže nebol vykonaný kvalitný výber lokalít jednotlivých seizmických staníc a seizmometre neboli umiestnené vo vrtoch, kvalita záznamov zemetrasení sa v porovnaní so sieťou Dobrá Voda zhoršila, stále však bola lepšia v porovnaní so 100 dennou sieťou. Sieť umožňovala zaznamenať seizmické javy s lokálnym magnitúdom $M_L > 1.5$ a lokalizovať javy s $M_L > 1.8$ z hypocentrálnej vzdialenosti 20 km. Počas prevádzky bolo zaznamenaných 26 lokálnych tektonických zemetrasení, z ktorých 6 bolo lokalizovaných.

Prevádzka lokálnej siete seizmických staníc EBO (Obr. 10e) bola zahájená 5.8.1990 a trvala do 3.8.1992. Sieť tvorilo dvanásť seizmických staníc s telemetrickým prenosom do subcentra s centrálnym zaznamenávaním zemetrasení na magnetickú pásku a na analógový záznam. Získané záznamy zemetrasení boli kvalitné (porovnateľné so sieťou Dobrá Voda), sieť mala zlepšenú lokalizačnú schopnosť s nepresnosťami 1 km v horizontálnom smere a 2 km vo vertikálnom smere. Počas doby prevádzky bolo sieťou EBO zaznamenaných 280 lokálnych javov, z toho 19 s magnitúdom $M_L \geq 1$. Päť staníc siete EBO boli aj stanicami siete Malé Karpaty, ktorej konfigurácia sa od roku 1985 zmenila - dve seizmické stanice boli premiestnené na nové lokality (stanica Zelenice do Špačiniec a stanica Chtelnica do Dobrej Vody) a do prevádzky bola uvedená nová seizmická stanica Pustá Ves.

Obdobie po 30.8.1992

Od 1.9.1992 pokračovala prevádzka lokálnej seizmickej siete Malé Karpaty, ktorá bola tvorená piatimi seizmickými stanicami (Špačince, Dobrá Voda, Podbranč, Pustá Ves, Smolenice). Seizmická stanica Podbranč bola 1.8.1993 premiestnená na lokalitu Hradište a 1.4.1996 pribudla stanica EBO v areáli AEB. V súčasnosti sieť pozostáva zo šiestich trojzložkových seizmických staníc vybavených seizmometrami SM-3. Zemepisné súradnice jednotlivých seizmických staníc sú v Tab. 5, celková konfigurácia siete je znázornená na Obr. 10f.

Digitálne záznamy zemetrasení sú priamo v teréne nahrávané na hard disk a na ďalšie spracovanie sú prenášané pomocou zip-diskiet. Okrem priamych dát zabezpečuje každá seizmická stanica aj tzv. protokol, kde sú zapísané najdôležitejšie informácie o zázname. Zo získaných záznamov je najprv vylúčený miestny seizmický šum. Do ďalšieho spracovania sa dostávajú len vybrané javy, ktoré je potrebné identifikovať. V tejto fáze je potrebné vytriediť vzdialené javy a priemyselné explózie. Ďalšie spracovanie je vykonávané programovým balíkom Analyse - odčítanie nasadenia P a S vlny, odčítanie maximálnej amplitúdy a príslušnej periódy. Pre zemetrasenie, ktoré je zaznamenané aspoň na troch seizmických stanicách sa vykonáva lokalizácia. Lokalizácia sa vykonáva v dvoch krokoch. Najprv pomocou programu Fasthypo, ktorý pracuje s jednovrstvovým modelom. Takto získané ohnisko slúži ako vstup pre špeciálny program, ktorý využíva 3D rýchlostný model prostredia. Magnitúdo zemetrasenia je počítané z amplitúdy a periódy maximálnej vlny pre každú stanicu. Výsledné magnitúdo je počítané ako priemer magnitúdu z jednotlivých seizmických staníc. Zo získaných informácií je vytvorená databáza, ktorá pre každý jav obsahuje čas záznamu, identifikáciu javu, presný čas všetkých identifikovaných fáz, amplitúdu a periódu Lg vln, lokálne magnitúdo pre každú stanicu, časový rozdiel všetkých fáz na všetkých stanicách, počet registrujúcich kanálov, výsledné magnitúdo javu, príslušné súradnice ohniska a čas vzniku zemetrasenia.

Od 1.1.2000 sú do lokálnej siete začlenené aj seizmické stanice Modra–Piesky a Bratislava–Železná Studnička, ktoré patria do Národnej siete seizmických staníc a sú on-line napojené na pracovisko GFÚ SAV v Bratislave. Pracovníci GFÚ SAV vykonávajú aj prvotnú interpretáciu dát z týchto staníc. Vybrané záznamy sú poskytnuté na pracovisko Trnava, kde sú zaradené do bulletinu javov lokálnej siete.

V období 30.8.1992-31.12.2000 bolo sieťou zaznamenaných 358 mikrozemetrasení. Lokalizovaných bolo 71 lokálnych tektonických javov s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$.

Stanica	Zem. súradnice		Registrované komponenty	Seizmometer	Hĺbka seizmometra
	šírka [°N]	dĺžka [°E]			
Smolenice	48°30'50''	17°25'55''	Z, N, E	3 x SM-3	0 m
Pustá Ves	48°38'02''	17°38'13''	Z, N, E	3 x SM-3	7 m
Dobrá Voda	48°36'25''	17°33'02''	Z, N, E	3 x SM-3	4 m
Hradište	48°37'24''	17°29'42''	Z, N, E	3 x SM-3	0 m
Špačince	48°26'06''	17°40'48''	Z, N, E	3 x SM-3	15 m
EBO	48°30'36''	17°28'08''	Z, N, E	3 x SM-3	8 m

Tab. 5. Seizmické stanice lokálnej siete Malé Karpaty. (stav k 31.12.2000)

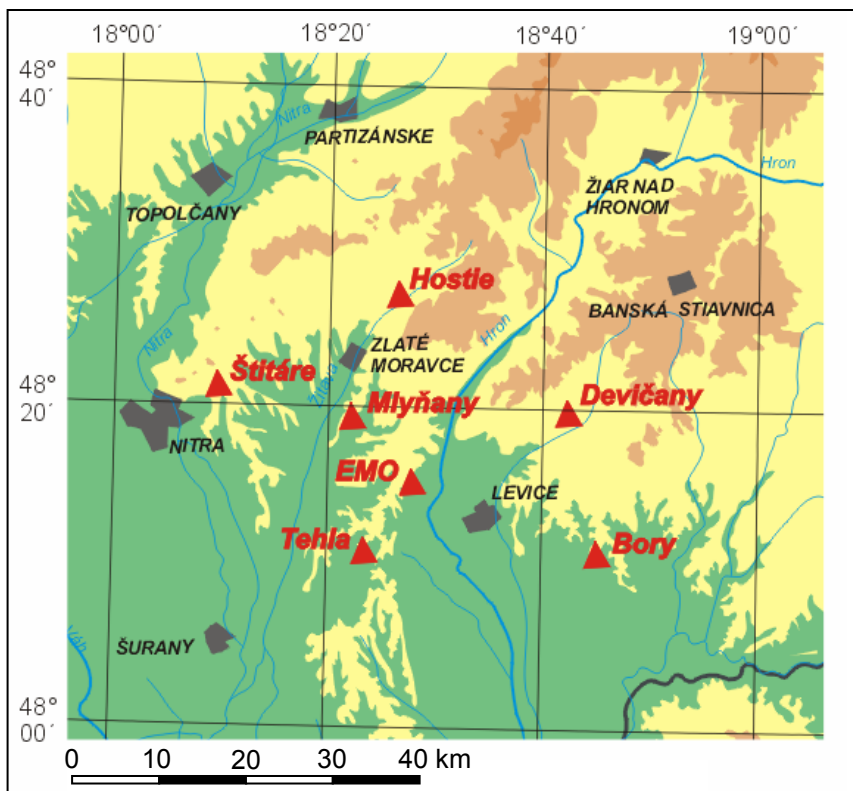
3.2.3 Lokálna sieť seizmických staníc AEM

Monitorovanie mikrozemetrasení v lokalite AEM začalo v roku 1996 pokusnou prevádzkou na troch staniciach. V období 5.5.1997-20.6.1997 bola zahájená pokusná prevádzka na ďalších štyroch seizmických staniciach. Lokálna sieť seizmických staníc AEM je v trvalej prevádzke od 1.1.1998. Sieť je tvorená siedmimi trojzložkovými seizmickými staniciami (Tab. 6, Obr. 11), ktoré sú vybavené prevažne krátkoperiodickými seizmometrami SM-3. Seizmometrické údaje sa zaznamenávajú priamo na pevný disk a na ďalšie spracovanie sú prenášané pomocou veľkokapacitných zip-diskiet. Spracovanie a analýza zaznamenaných údajov sú podobné ako v prípade údajov z lokálnej siete seizmických staníc AEB. Výsledky sú porovnávané a korelované s výsledkami analýz údajov z NSSS a údajov z lokálnej siete seizmických staníc AEB.

Podrobné informácie o lokálnej sieti seizmických staníc AEM a vyhodnotenie získaných údajov je možné nájsť v jednotlivých priebežných štvrtročných správach.

Stanica	Zem. súradnice		Registrované komponenty	Seizmometer	Hĺbka seizmometra
	šírka [°N]	dĺžka [°E]			
Hostie	48°27'05''	18°26'29''	Z, N, E	3 x SM-3	6 m
Štitáre	48°21'15''	18°09'39''	Z, N, E	3 x SM-3	5 m
Mlyňany	48°19'23''	18°22'13''	Z, N, E	3 x SM-3	8 m
Tehla	48°11'03''	18°23'32''	Z, N, E	3 x SM-3	4 m
EMO	48°15'25''	18°28'01''	Z, N, E	3 x SM-3	0 m
Devičany	48°19'52''	18°42'22''	Z, N, E	LE-3D	7 m
Bory	48°11'03''	18°45'16''	Z, N, E	3 x SM-3	2 m

Tab. 6. Seizmické stanice lokálnej siete AEM. (stav k 31.12.2000)

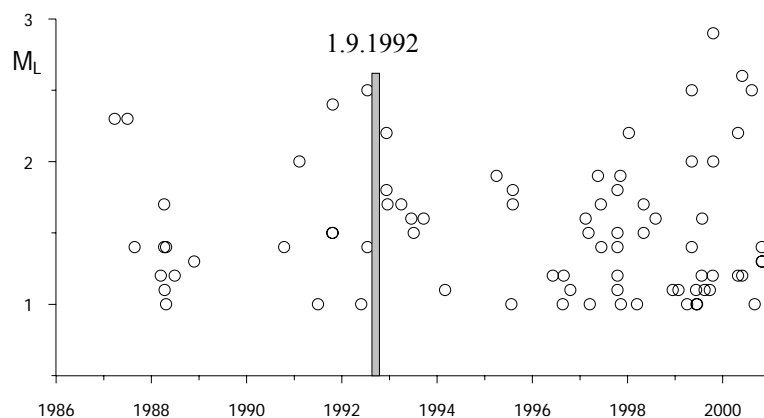


Obr. 11. Seizmické stanice lokálnej siete AEM. (stav k 31.12.2000)

3.2.4 Mikroseizmická aktivita

V období 1.1.1987-31.12.2000 bolo zaznamenaných a lokalizovaných celkovo 110 lokálnych zemetrasení s magnitúdom $M_L \geq 1$. Prehľad parametrov týchto zemetrasení je v Prílohe 1. Na základe polohy epicentier a dostupných údajov o geologickej štruktúre prostredia môžeme predpokladať, že zemetrasenia spadajú do troch zdrojových zón - Dobrá Voda, Pernek-Modra a Považský Inovec (kapitola 4.1). Ďalej sa budeme podrobnejšie venovať len zemetraseniam s epicentrami patriacimi do zdrojovej zóny Dobrá Voda.

Vzhľadom na pomerne časté zmeny konfigurácie, prístrojového vybavenia a teda aj detekčnej a lokalizačnej schopnosti lokálnych sietí v prvom období monitorovania mikroseizmickkej aktivity v oblasti Dobrej Vody (do 30.8.1992), budeme používať len údaje po 30.8.1992, ktoré môžeme považovať viac-menej za homogénne. V období 1.9.1992-31.12.2000 bolo v zdrojovej zóne Dobrá Voda zaznamenaných 59 zemetrasení s magnitúdom $M_L \geq 1$. Mikroseizmická aktivita zdrojovej zóny Dobrá Voda je ilustrovaná na Obr. 12.



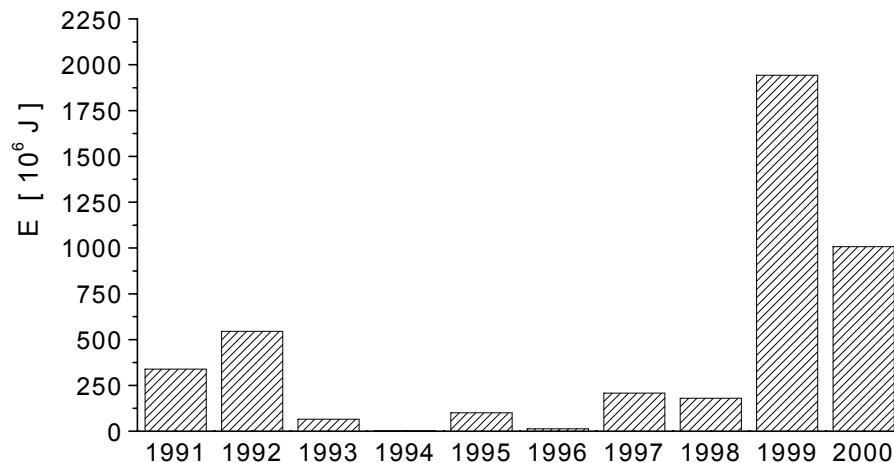
Obr. 12. Mikroseizmická aktivita zdrojovej zóny Dobrá Voda v období 1987-2000 s vyznačením obdobia od 1.9.1992, pre ktoré môžeme považovať získané údaje za homogénne.

Hoci máme k dispozícii len krátky rad pozorovaní, môžeme vysloviť hypotézu o zníženej mikroseizmickkej aktivite v období 1994-1996, jej prudkom náraste v rokoch 1997-1999 a následnom miernom poklese v roku 2000. V rokoch 1994-1996 bolo zaznamenaných len 9 zemetrasení, pričom za rovnako dlhé obdobie 1997-1999 to bolo 34 (13 v roku 1997, 6 v roku 1998 a 15 v roku 1999). Hoci údaje do 30.8.1992 sú značne nehomogénne, v rokoch 1989-1990 môžeme pozorovať zníženú úroveň mikroseizmickkej aktivity podobne ako v rokoch 1994-1996. Nevieme však zodpovedne posúdiť, do akej miery toto „obdobie zníženej mikroseizmickkej aktivity“ v rokoch 1989-1990 zodpovedá skutočnosti a do akej miery odzrkadľuje nehomogenitu dostupných údajov. Hoci v roku 2000 pozorujeme mierny pokles počtu mikrozemrasení (počtom zemetrasení 9 je rok 2000 približne na úrovni roku 1998) oproti roku 1999, len ťažko to zatiaľ môžeme považovať za začiatok poklesového obdobia mikroseizmickkej aktivity.

Jednou možnou interpretáciou je spojenie zvýšenej mikroseizmickkej aktivity v Dobrej Vode s hypotézou z kapitoly 3.1.3 o periodicite zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$

s periódou cca 20-30 rokov. Nemôžeme vylúčiť možnosť, že zvýšená úroveň mikrosezmickej aktivity (najmä od roku 1999) predstavuje predtrasy silnejšieho zemetrasenia, ku ktorému by v prípade platnosti spomínanej hypotézy malo dôjsť približne v rokoch 1995-2005. V priebehu rokov 1999-2000 bolo makroseizmicky pozorovaných 5 zemetrasení. Podobnú situáciu na makroseizmickej úrovni si môžeme všimnúť pred veľkými zemetraseniami v roku 1906 aj v roku 1930. Na druhej strane, podobnú zvýšenú úroveň makroseizmickej aktivity je možné pozorovať aj v rokoch 1908-1910, kedy k výrazne silnému zemetraseniu nakoniec nedošlo.

Zvýšená mikrosezmickej aktivity znamená zvýšené uvoľňovanie nakumulovanej deformačnej energie. Ako už bolo uvedené, energia uvoľnená pri zemetrasení s magnitúdom $M+1$ je približne 32-krát vyššia ako energia uvoľnená pri zemetrasení s magnitúdom M . Tento fakt spôsobuje to, že hoci počtom zemetrasení je rok 2000 na úrovni roku 1998, čo sa týka uvoľnenej energie je rádovo na úrovni roku 1999 (Obr. 13). Toto je vidieť aj z katalógu makroseizmicky pozorovaných zemetrasení (Príloha 1).



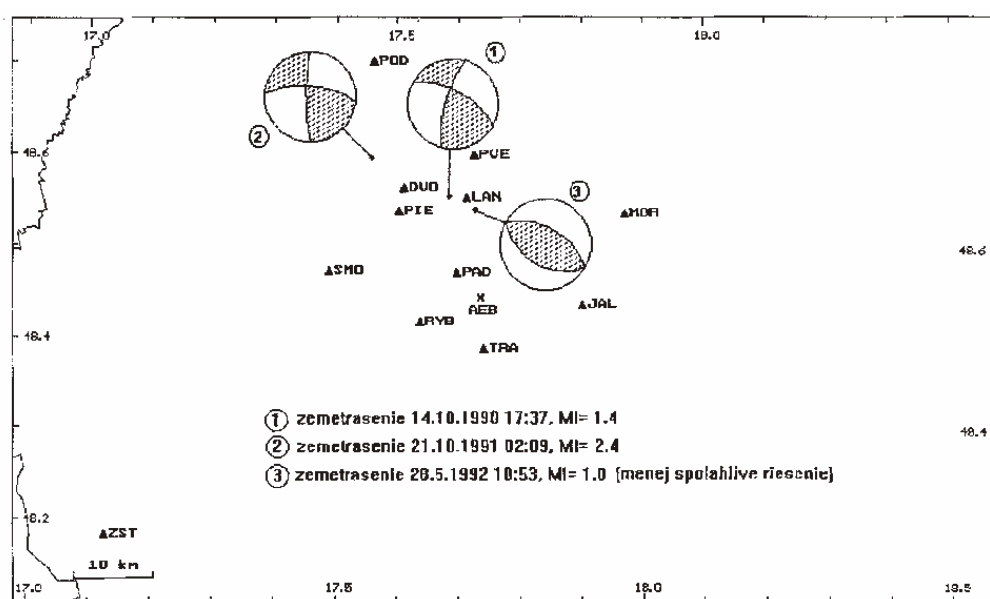
Obr. 13. Približná energia uvoľnená pri zemetraseniach v zdrojovej zóne Dobrá Voda vo forme seizmických vln v jednotlivých rokoch. Uvažované sú mikrozemetrasenia z katalógu v Prílohe 2.

Hoci sa v rokoch 1999 a 2000 uvoľnilo rádovo vyššie množstvo energie než v predchádzajúcom období (Obr. 13), stále to nie je dost' na odstránenie nakumulovanej deformačnej energie v prípade, že sa v oblasti Dobrej Vody pripravuje silnejšie zemetrasenie. Ak budeme predpokladať, že v oblasti je nakumulovaná deformačná energia dostatočná na vygenerovanie zemetrasenia, napríklad s magnitúdom 4 (čo znamená uvoľnenú energiu rádovo 10^{11} J, čo je približne 50-krát viac ako sa uvoľnilo v priebehu roku 1999), niekoľko zemetrasení s magnitúdami 2-3 nestačí na postupné uvoľnenie tejto energie. Na uvoľnenie podobnej energie by bolo treba oveľa viac zemetrasení s magnitúdami 2-3, než ako bolo pozorovaných. Len na základe zvýšenej mikrosezmickej aktivity však nevieme povedať, či k spomínanému silnejšiemu zemetraseniu dôjde – môže k nemu dôjsť (napr. roky 1906 a 1930) a nemusí (napríklad obdobie 1908-1910).

3.2.5 Mechanizmy ohnísk

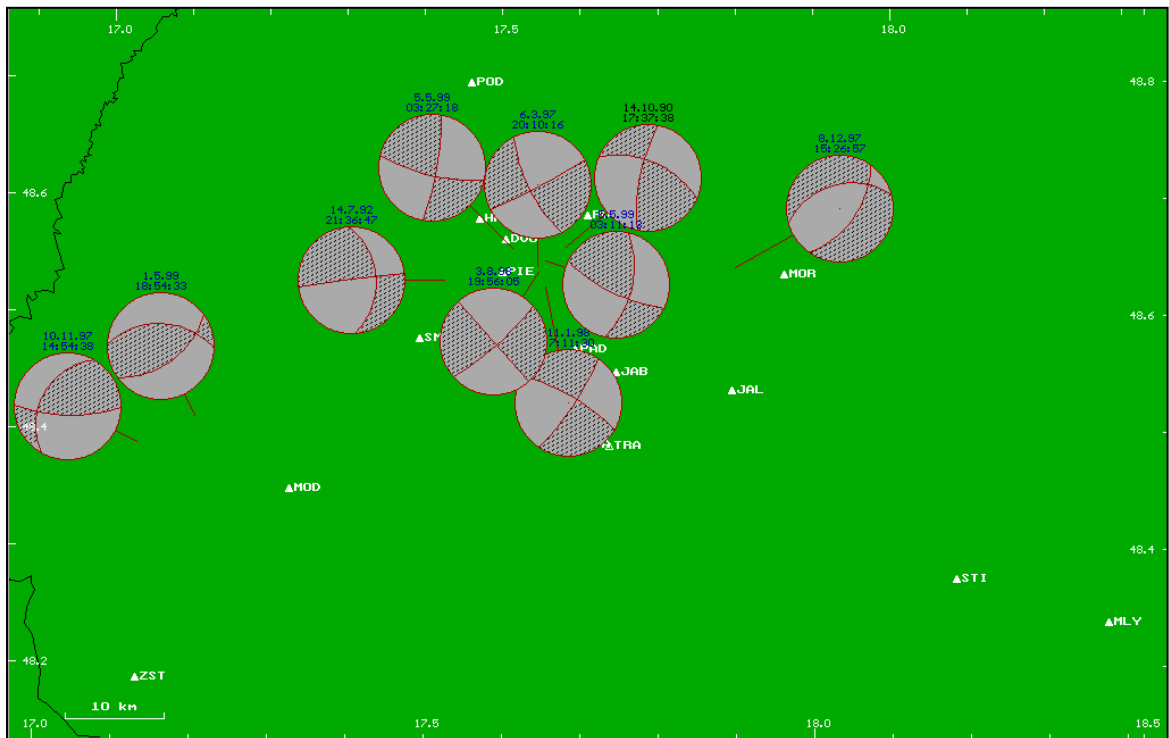
Prvý pokus o určenie mechanizmu ohníska pre zemetrasenie z oblasti Dobrej Vody (24.8.1976) bol publikovaný v práci *Pospíšil et al. (1985)*, avšak bez uvedenia vstupných údajov použitých pre určenie mechanizmu ohníska. Je pravdepodobné, že vierohodnosť určených mechanizmov je veľmi nízka.

V období 1985-1996 boli len pre tri zemetrasenia v oblasti Dobrej Vody k dispozícii dostatočne presné údaje na určenie mechanizmu ohníska (*Sekereš & Kristeková, 1997*). Určené mechanizmy ohníska sú na Obr. 14. Jedno riešenie (pre zemetrasenie 28.5.1992) je autormi označené ako menej spoľahlivé. Oba spoľahlivejšie určené mechanizmy ohnísk sú si podobné a naznačujú prevládajúci horizontálny sklz (strike-slip) na zlomoch počas zemetrasení.



Obr. 14. Mechanizmy ohnísk mikrozemtрасení, ktoré bolo možné určiť z údajov seizmických staníc lokálnej siete AEB a z údajov seizmických staníc NSSS. Trojuholníčky označujú polohu seizmických staníc, krížik označuje lokalitu AEB. Obrázok je prevzatý z práce *Sekereš & Kristeková (1997)*.

Postupným zlepšovaním technického vybavenia staníc a uvedením do prevádzky lokálnej seizmickej siete AEM sa zlepšila kvalita a počet údajov potrebných pre určenie mechanizmu ohníska. Mechanizmy ohnísk boli určené pre ďalších 10 zemetrasení (*Labák et al., 2001*). Získané výsledky sú na Obr. 15. Pri určovaní mechanizmov ohnísk boli použité záznamy zemetrasení zo seizmických staníc lokálnej siete AEB, lokálnej siete AEM a z Národnej siete seizmických staníc. Mechanizmy ohnísk boli určené pre nasledovné zemetrasenia uvedené v Prílohe 2 – 14.10.1990, 14.7.1992, 6.3.1997, 10.11.1997, 8.12.1997, 11.1.1998, 3.8.1998, 1.5.1999, 5.5.1999 (03:11:14) a 5.5.1999 (03:27:18). Väčšina mechanizmov ohnísk indikuje horizontálny sklz (strike-slip) na zlomoch počas zemetrasení, tri mechanizmy ohnísk (pre zemetrasenia 10.11.1997, 8.12.1997 a 1.5.1999) naznačujú vertikálny sklz (dip-slip) na zlomoch. Ako si ukážeme v kapitole 4.1, zdá sa, že tieto zemetrasenia nepatria do zdrojovej zóny Dobruška, ale do susedných zdrojových zón Pernek-Modra a Považský Inovec.



Obr. 15. Mechanizmy ohnísk mikrozemetrasení v oblasti Dobrej Vody, pre ktoré bol k dispozícii dostatočný počet potrebných údajov.

Treba však poznamenať, že spomínané získané výsledky nie sú definitívne. V procese určovania mechanizmov ohníska (zatiaľ pomocou programového balíka SeisBase) sú ešte stále viaceré faktory, ktoré je treba dôsledne analyzovať a ošetriť.

4. SEIZMICITA ZDROJOVEJ ZÓNY DOBRÁ VODA

Seizmicita zdrojovej zóny je definovaná ako pravdepodobnosť P_M vzniku zemetrasenia s magnitúdom $m \geq M$ v časovom intervale t . K tomu, aby sme mohli charakterizovať seizmicitu zdrojovej zóny potrebujeme identifikovať jej zlomy a iné lokalizované štruktúry v zdrojovej zóne, početnostné vzťahy a hodnotu maximálneho magnitúda. Všetky tieto údaje sú zahrnuté v tzv. seizmotektonickom modeli, ktorý je syntézou dostupných seizmologických, geologických a ostatných relevantných údajov o zdrojovej zóne.

4.1 VYMEDZENIE HRANÍC ZDROJOVEJ ZÓNY

Hranice zdrojovej zóny Dobrá Voda boli prvý raz približne určené v práci *Šimůnek & Sekereš (1992)*, neskôr boli upresnené v práci *Labák et al. (1997b)*. Vstupné údaje na vyčlenenie hraníc zdrojovej zóny predstavujú údaje seizmologickej databázy (*Labák et al, 1997a*) a geologickej databázy (*EQUIS, 1996*). Podrobné údaje o geologickej štruktúre skúmanej oblasti, ktoré však presahujú rámec tejto práce, je možné nájsť v prácach *Šefara et al. (1987)*, *Šimůnek & Sekereš (1992)*, *Kováč et al. (1997)*.

Seizmologická databáza *Labák et al (1997a)* obsahuje údaje o

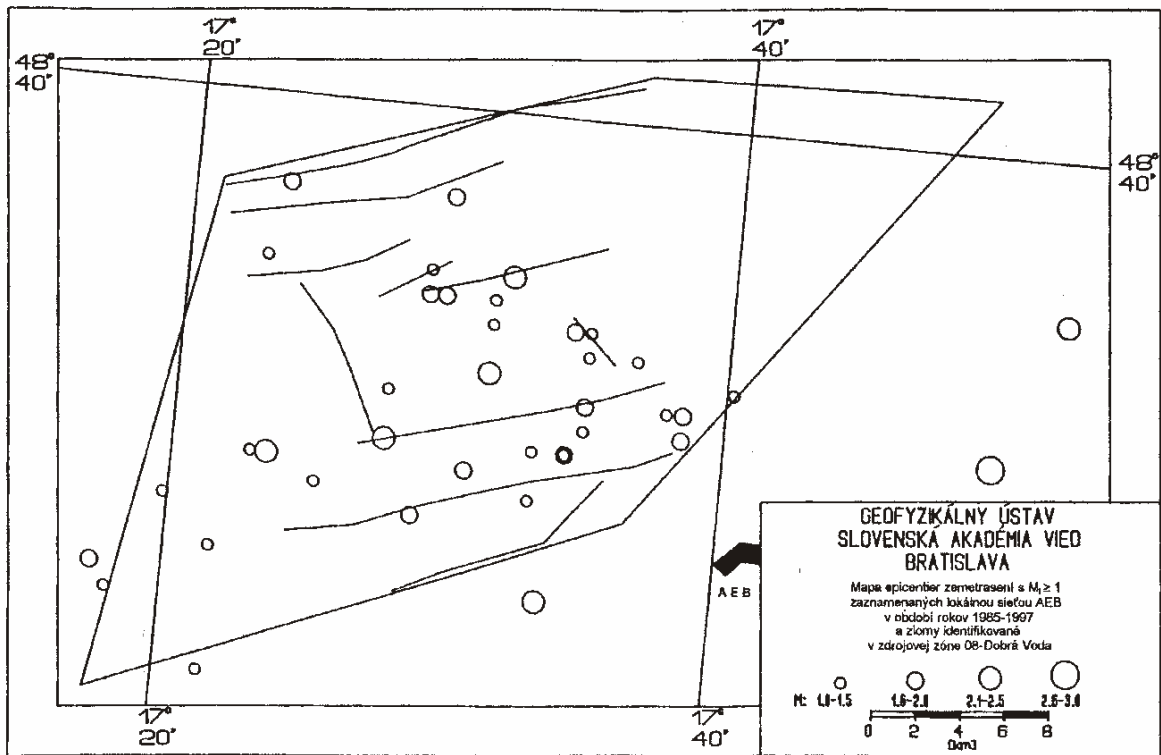
- historických zemetraseniach, ktoré vzhľadom na počet zemetrasení a dĺžku dokumentovaného obdobia tvoria rozhodujúcu časť seizmologickej databázy, avšak existujúce neurčitosti polôh epicentier ťažko umožňujú koreláciu s konkrétnymi tektonickými líniami,
- seizmometricky lokalizovaných zemetraseniach, ktoré vzhľadom na relatívne krátke dokumentované časové obdobie (2. polovica 20. storočia) a malý počet zemetrasení majú len doplnkový charakter k údajom o historických zemetraseniach,
- seizmometricky lokalizovaných zemetraseniach z lokálnej siete AEB, ktoré sú pre vymedzenie hraníc a modelovanie seizmickej zdrojovej zóny rovnako dôležité ako údaje o historických zemetraseniach.

Geologická databáza *EQUIS (1996)* obsahuje údaje o

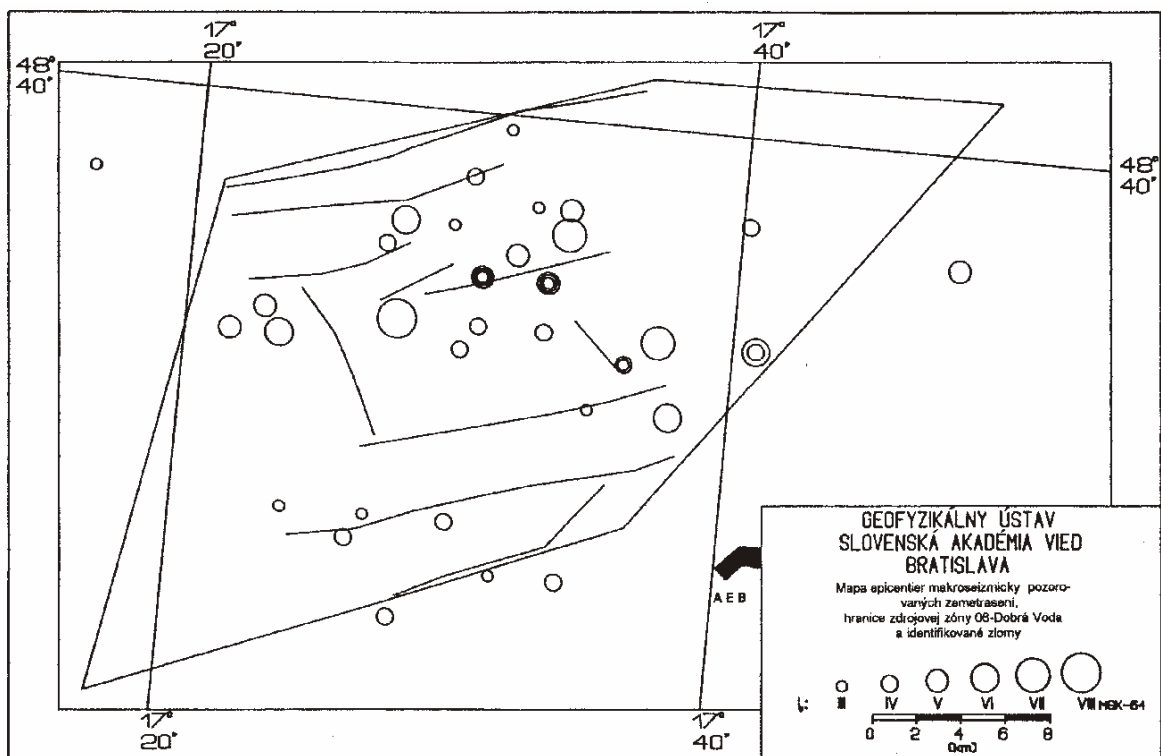
- geomorfologickom členení regiónu,
- geologickej stavbe regiónu,
- štruktúrnej analýze,
- geofyzikálnej charakteristike regiónu (t.j. údaje z gravimetrického, geomagnetického, geoelektrického, rádiometrického a atmogeochemického prieskumu, výsledky seizmických reflexných profilových a karotážnych meraní).

Hranice seizmickej zdrojovej zóny Dobrá Voda boli vyčlenené na základe epicentier seizmometricky lokalizovaných mikrozemetrasení lokálnou sieťou AEB v období 1985-1996 a geologických údajov. Uvažované boli polohy zlomov v dobrovodskej oblasti uvádzané v práci *Kováč et al. (1997)*. Zdrojová zóna, spolu s identifikovanými zlomami a epicentrami seizmometricky lokalizovaných mikrozemetrasení v období 1985-1996, je na Obr. 16. Na Obr. 17 je zdrojová zóna Dobrá Voda s vyznačenými epicentrami makroseizmicky lokalizovaných zemetrasení. Je vidieť, že aj epicentrá makroseizmicky lokalizovaných zemetrasení ležia vo vnútri oblasti vymedzenej pomocou údajov

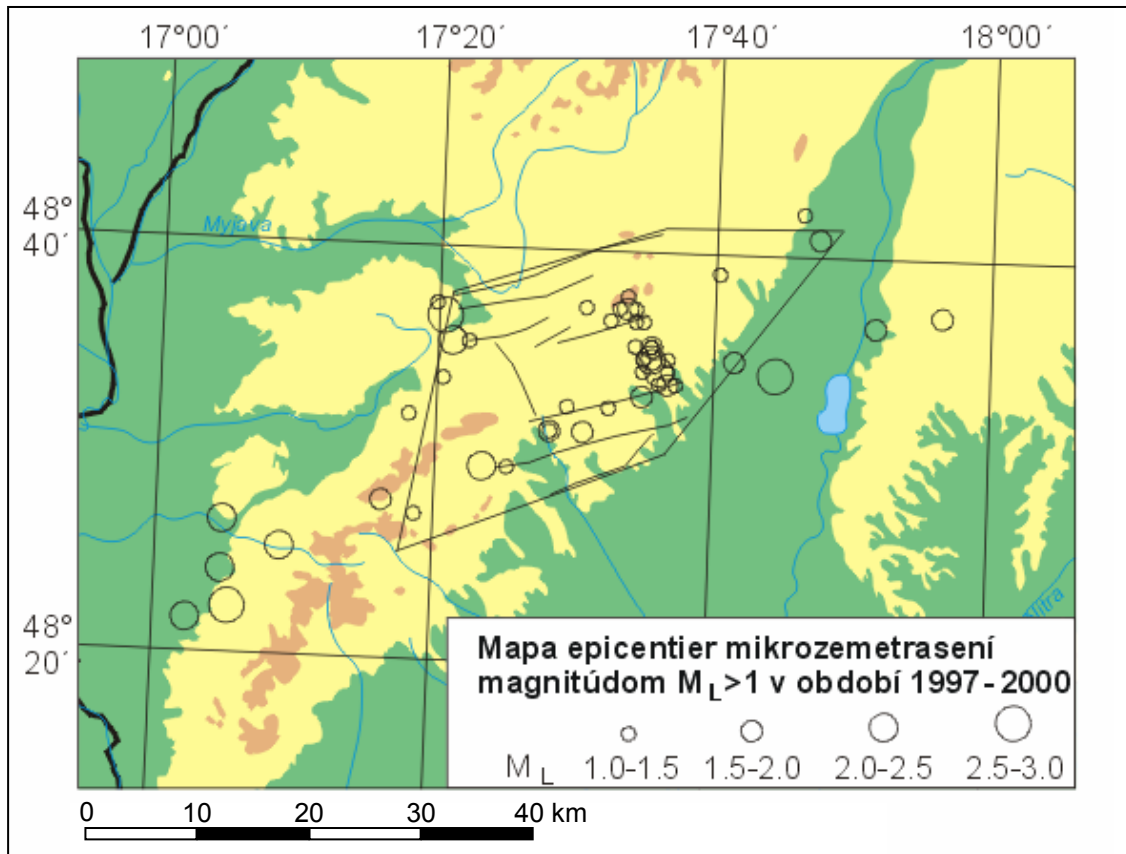
o mikrozemetraseniach a geologických údajov. Obrázky 16 a 17 sú prevzaté z práce Labák et al. (1997b).



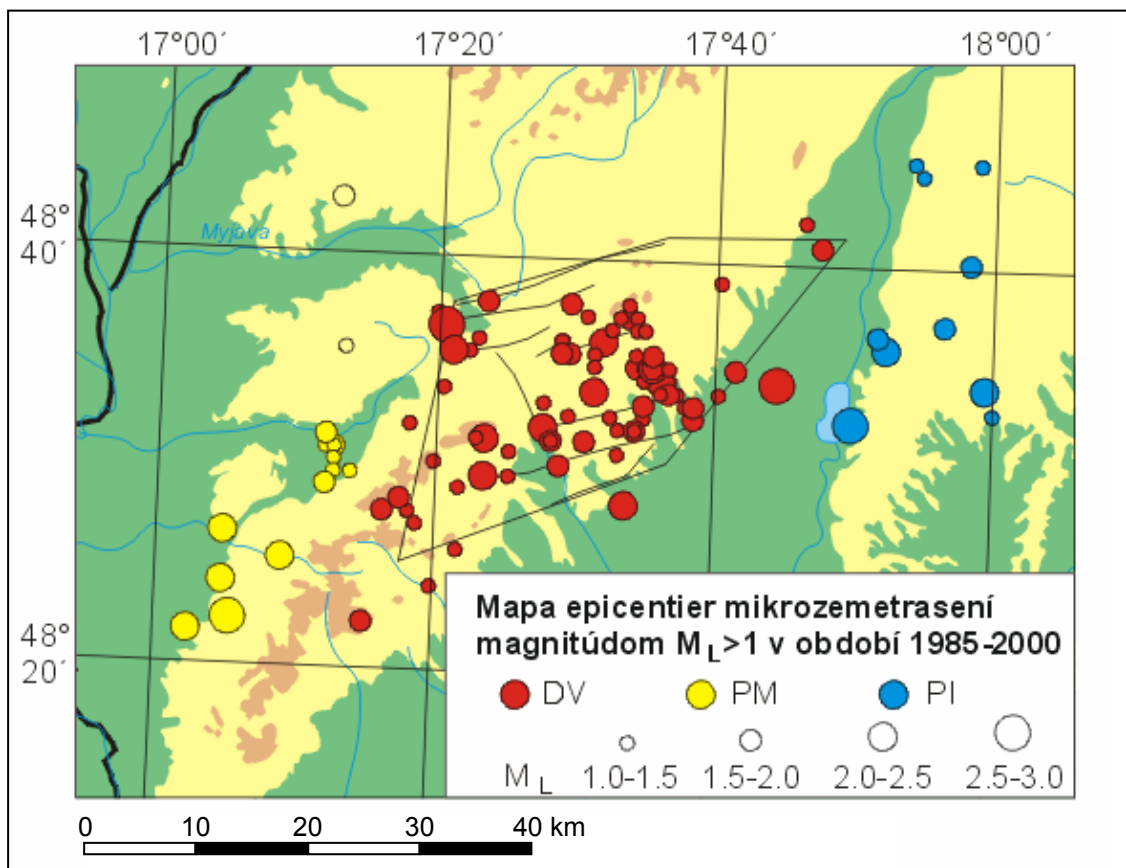
Obr. 16. Mapa epicentier mikrozemetrasení s $M_L \geq 1$ zaznamenaných lokálnou sieťou AEB v období 1985-1996, hranice zdrojovej zóny Dobrá Voda a identifikované zlomy. (Labák et al., 1997b)



Obr. 17. Mapa epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v oblasti Dobrej Vody, hranice zdrojovej zóny Dobrá Voda a identifikované zlomy. (Labák et al. 1997b)



Obr. 18. Mapa epicentier mikrozemetrasení s $M_L \geq 1$ zaznamenaných lokálnou sieťou AEB v období 1997-2000, hranice zdrojovej zóny Dobrá Voda a identifikované zlomy.



Obr. 19. Mapa epicentier mikrozemetrasení s $M_L \geq 1$ zaznamenaných lokálnou sieťou AEB v období 1985-2000, s farebným rozlíšením príslušnej zdrojovej zóny. DV – Dobrá Voda, PM - Pernek-Modra, PI – Považský Inovec.

Na Obr. 18 sú epicentrá mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ zaznamenaných seizmickými stanicami lokálnej siete AEB v období 1997-2000, ktoré ešte neboli k dispozícii v čase publikovania práce *Labák et al. (1997b)*. Epicentrá mikrozemetrasení, až na pár výnimiek, ležia vo vnútri ohraničenej oblasti. Niekoľko zemetrasení leží v tesnej blízkosti západnej hranice zdrojovej zóny. Vzhľadom na nepresnosť lokalizácií v horizontálnom smere (± 2 km) boli tieto zemetrasenia začlenené do zdrojovej zóny Dobrá Voda. Podobnú situáciu vidíme pri východnej hranici zdrojovej zóny. Mapa epicentier všetkých mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ zaznamenaných lokálnymi sieťami AEB v rokoch 1985-2000, ako sú uvedené v Prílohe 2, je na Obr.19. Rozdelenie zemetrasení do zdrojových zón Dobrá Voda (DV), Pernek-Modra (PM) a Považský Inovec (PI) je zvýraznené farebne. Pre dve zemetrasenia, ktoré, zdá sa, nepatria do ani jednej z týchto troch zdrojových zón sú ponechané nezafarbené krúžky. Zemetrasenia, ktorých epicentrá sa nachádzajú v úzkom páse lemujúcom západnú a južnú hranicu zdrojovej zóny Dobrá Voda, boli zaradené do tejto zdrojovej zóny. Zdá sa rozumné uvážiť rozšírenie zdrojovej zóny Dobrá Voda v týchto smeroch tak, aby obsahovala spomínaný pás zemetrasení, alebo spresnenie lokalizácie týchto zemetrasení.

4.2 POČETNOSTNÉ VZŤAHY

Dôležitou charakteristikou každej seizmickej zdrojovej zóny sú početnostné vzťahy. Sú to empiricky odvodené vzťahy tvaru

$$\log N = a - b \cdot M,$$

ktoré udávajú počet zemetrasení (N) za rok zodpovedajúcich triede magnitúd M , resp. strednú periódu výskytu zemetrasenia (N^{-1}) príslušnej magnitúdovej triedy.

Poznáme dva typy početnostných vzťahov

- kumulatívne, kde N udáva počet zemetrasení za rok s magnitúdom $m \geq M$ a
- intervalové, kde N udáva počet zemetrasení za rok s magnitúdom z intervalu $M - \Delta M/2 \leq m < M + \Delta M/2$.

Kumulatívne početnostné vzťahy sú stabilnejšie a menej citlivé na voľbu ako intervalové vzťahy (*Ambraseys & Sarma, 1999*).

4.2.1 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia

Kumulatívne početnostné vzťahy pre seizmickú zdrojovú zónu Dobrá Voda na základe údajov o makroseizmicky pozorovaných historických zemetraseniach boli určené v práci *Labák et al. (1997b)*.

Pri výpočte boli uvažované zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 3.5$ (vzhľadom na neúplnosť údajov o slabších zemetraseniach), pre zemetrasenia s rôznymi magnitúdami boli uvažované rôzne dĺžky dokumentovaného obdobia. Údaje o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach boli doplnené údajmi o mikrozemetraseniach v rokoch 1993-1996. Na určenie samotných koeficientov a a b bola použitá metóda maximálnej vierohodnosti (*Weichert, 1980*). Vzhľadom na to, že uvažované magnitúda $M(I_0)$ boli určené z epicentrálnej intenzity I_0 a vzhľadom na neurčitost' určenia hodnoty I_0 , zemetrasenia boli rozdelené do magnitúdových tried s krokom $\Delta M = 0.5$. V spomínanej práci sú pre zdrojovú zónu Dobrá Voda uvedené hodnoty koeficientov $a = 1.815$, $b = 0.894$. Tieto hodnoty znamenajú, že ak uvažujeme zemetrasenie s magnitúdom $M \geq 4$, dostávame

$N(4)=0.0173$, čo znamená strednú periódu výskytu zemetrasenia s magnitúdom $M \geq 4$ približne 58 rokov.

V kapitole 3.1.3 sme vyslovili pracovnú hypotézu o periodicite zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ v 20. storočí. Hypotetická perióda výskytu takéhoto zemetrasenia v zdrojovej zóne Dobrá Voda bola 20-30 rokov. Hoci sme túto hypotézu vyslovili len na základe jednoduchej úvahy o makroseizmickej aktivite v oblasti Dobrej Vody v 20. storočí, vidíme, že sa veľmi neodlišuje od hodnoty, ktorú sme získali uvažovaním celého dokumentovaného obdobia. Pozrime sa, aký početnostný vzťah by sme dostali uvažovaním len makroseizmických údajov pre 20. storočie.

V prvom kroku je potrebné z katalógu makroseizmicky pozorovaných zemetrasení (Príloha 1) odstrániť predtrasy a dotrasy silných zemetrasení z rokov 1906 a 1930. Takto upravený katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v oblasti Dobrej Vody pre 20. storočie je v Tab. 7.

Dátum	Zem. dĺžka [°N]	Zem. šírka [°E]	Hĺbka [km]	I_0	$M(I_0)$
19.04.1904	48.60	17.51		3.0	2.6
20.04.1904	48.62	17.46		6.5	4.5
12.10.1904	48.68	17.39		6.0	4.3
09.01.1906	48.58	17.46	9	8.5	5.7
16.03.1908	48.60	17.51		3.5	2.9
25.05.1908	48.60	17.55		3.0	2.6
26.05.1908	48.60	17.55		3.0	2.6
18.12.1908	48.60	17.51		4.0	3.2
04.01.1909	48.60	17.51		3.0	2.6
08.01.1909	48.60	17.51		3.0	2.6
09.01.1909	48.60	17.51		3.0	2.6
14.03.1909	48.60	17.51		5.0	3.7
16.01.1910	48.60	17.51		3.0	2.6
06.09.1929	48.58	17.55		4.5	3.4
05.03.1930	48.58	17.62	6	7.5	5.0
17.06.1967	48.58	17.38	8	5.0	3.7
03.12.1967	48.57	17.39	4	6.5	4.3
24.08.1976	48.57	17.36	8	5.5	4.0
11.04.1977	48.50	17.50		4.5	3.4
21.10.1991	48.57	17.50	7	4.0	3.1
14.07.1992	48.48	17.57	10	4.0	3.3
05.05.1999	48.57	17.55	8	4.0	3.2
18.10.1999	48.57	17.67	15	4.0	3.4
24.07.2000	48.49	17.37		3.5	2.9
28.05.2000	48.57	17.39	7	3.5	2.9
28.08.2000	48.57	17.39		4.0	3.2

Tab. 7. Makroseizmicky pozorované zemetrasenia v zdrojovej zóne Dobrá Voda v 20. storočí, ktoré boli použité pri výpočte početnostného vzťahu.

Uvažované boli zemetrasenia od hodnoty magnitúda 2.5. Pomocou intervalovej metódy je možné pre zemetrasenia jednotlivých magnitúdových tried určiť časové úseky, ktoré môžeme považovať za viac-menej homogénne zdokumentované. Pri výpočte bol použitý krok $\Delta M=0.5$ a metóda maximálnej vierohodnosti. Získané boli koeficienty $a=1.2138$ a $b=0.62868$, ktoré dávajú strednú periódu výskytu zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$

približne 20 rokov. Táto hodnota pomerne dobre zodpovedá našej pôvodnej hypotetickej perióde výskytu takéhoto zemetrasenia. Hodnoty koeficientov a a b boli v tomto prípade určené len z makroseizmických údajov a preto sa líšia od koeficientov získaných v práci *Labák et al. (1997b)*.

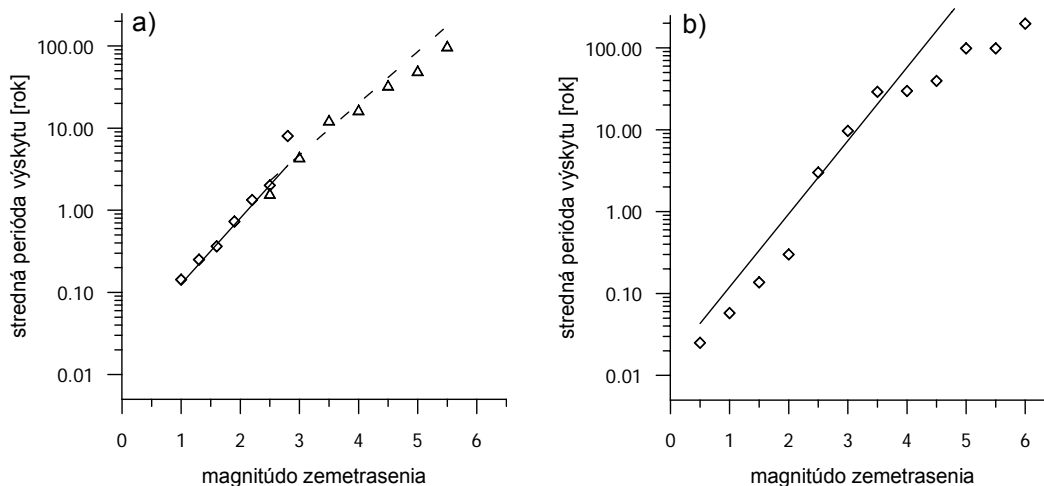
4.2.2 Mikrozemetrasenia

Pre obdobie 1993-2000 máme k dispozícii aj údaje (predpokladáme, že homogénne) o mikrozemetraseniach s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ v seizmickej zdrojovej zóne Dobrá Voda (Príloha 2). Použijeme aj tieto údaje na určenie početnostných vzťahov. Vzhľadom na magnitúdový rozsah týchto zemetrasení (pri použití kroku $\Delta M = 0.5$ by sme dostali len 4 magnitúdové triedy) a na fakt, že magnitúda mikrozemetrasení boli určené s podstatne vyššou presnosťou ako magnitúda v prípade makroseizmicky pozorovaných zemetrasení, má zmysel použiť jemnejšie magnitúdové delenie. Použité boli magnitúdové triedy s krokom $\Delta M = 0.3$. Získané hodnoty koeficientov a a b sú $a = 1.69808$ a $b = 0.801$, čo znamená strednú periódu výskytu zemetrasenia s magnitúdom $M_L \geq 4$ približne 32 rokov. Hypotetická hodnota periódy výskytu takéhoto zemetrasenia sa teda potvrdila aj v tomto prípade, hoci v súbore uvažovaných zemetrasení (Príloha 2) pri určení početnostného vzťahu bola maximálna hodnota magnitúda $M_L = 2.9$.

Pre zdrojovú zónu Dobrá Voda máme teda tri dvojice koeficientov a a b – hodnoty na základe údajov o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach v oblasti Dobrej Vody v 20. storočí, hodnoty na základe údajov o mikrozemetraseniach v období 1993-2000 a hodnoty uvedené v práci *Labák et al. (1997b)*, ktoré boli určené na základe údajov o makroseizmicky pozorovaných historických zemetraseniach a údajov o mikroseizmickej aktivite v rokoch 1993-1996. Hodnoty koeficientov a a b a príslušná stredná perióda výskytu $N^{-1}(4)$ zemetrasenia s magnitúdom $M \geq 4$ sú v Tab. 8. Závislosť strednej periódy výskytu zemetrasenia v závislosti od magnitúda zemetrasenia je pre jednotlivé dvojice hodnôt koeficientov a a b (spolu so vstupnými údajmi použitými na ich získanie) na Obr. 20a a 20b.

zdroj údajov	a	b	$N^{-1}(4)$
makroseizmické údaje (20. storočie)	1.214	0.629	20 rokov
mikrozemetrasenia s $M_L \geq 1$ (1993-2000)	1.698	0.801	32 rokov
Labák et al. (1997b)	1.815	0.894	58 rokov

Tab. 8. Hodnoty koeficientov kumulatívneho početnostného vzťahu a príslušná stredná perióda výskytu zemetrasenia s magnitúdom $M \geq 4$ získané pre jednotlivé zdroje údajov. a, b – koeficienty početnostného vzťahu, $N^{-1}(4)$ – stredná perióda výskytu zemetrasenia s magnitúdom $M \geq 4$.



Obr. 20. Závislosť strednej periódy výskytu od veľkosti magnitúda zemetrasenia. a) Hodnoty získané na základe údajov o mikrozemetrasiach s $M_L \geq 1$ v rokoch 1993-2000 (pootočené štvorčeky a plná čiara) a hodnoty získané na základe údajov o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach v 20. storočí (trojuholníčky a prerušovaná čiara). b) Hodnoty prevzaté z práce Labák *et al.* (1997b).

Na obidvoch obrázkoch (20a, 20b) vidieť miernu zmenu sklonu závislosti strednej periódy výskytu od veľkosti magnitúda zemetrasenia pre mikrozemetrasiach a zemetrasenia s makroseizmickými účinkami. Takáto závislosť nie je neobvyklá. Vyjadruje skutočnosť, že správanie sa seizmickej zdrojovej zóny nie je možné celkom dobre popísať jedným početnostným vzťahom pre celý interval magnitúd (Schwartz & Coppersmith, 1984). Preto budeme považovať všetky početnostné vzťahy za charakteristiky seizmickej zdrojovej zóny Dobrá Voda.

4.3 ODHAD MAXIMÁLNEHO MAGNITÚDA M_{MAX}

Ďalšou charakteristikou seizmickej zdrojovej zóny je maximálne magnitúdo M_{MAX} , t.j. maximálne magnitúdo, ktoré môže dosiahnuť zemetrasenie v danej zdrojovej zóne. Určenie hodnoty M_{MAX} nie je ľahká úloha, pretože nie je k dispozícii dostatočné množstvo potrebných údajov a najväčšie známe historické zemetrasenie nemožno pre krátkosť dokumentovaného obdobia považovať za najväčšie možné zemetrasenie. Hodnota maximálneho magnitúda M_{MAX} bola pre seizmickú zdrojovú zónu Dobrá Voda určená v práci Labák *et al.* (1997b). Vzhľadom na to, že počas obdobia 1997-2000 nepribudli žiadne údaje, ktoré by získané výsledky zmenili, obmedzíme sa iba na priblíženie metód použitých na určenie hodnoty M_{MAX} v spomínanej práci.

Prvá metóda je založená na magnitúde zodpovedajúcej maximálnej pozorovanej intenzite v danej oblasti – M_{maxobs} . Toto magnitúdo predstavuje dolný odhad hodnoty magnitúda M_{MAX} . Vzhľadom na neurčitosť určenia epicentrálnych intenzít, bola hodnota M_{MAX} určená tak, že k hodnote M_{maxobs} bola pripočítaná hodnota 0.5 alebo 1. Pripočítanie hodnoty 1 predstavuje konzervatívnejší odhad hodnoty M_{MAX} . Výhoda tejto metódy je v tom, že pre určenie maximálneho magnitúda M_{MAX} sú využité údaje z celého dokumentovaného obdobia. Takýmto spôsobom dostávame pre zdrojovú zónu Dobrá Voda hodnoty $M_{maxobs}+0.5=6.2$ a $M_{maxobs}+1=6.7$. Tu je mierny rozdiel oproti práci

Labák et al. (1997b), kde uvažovanú oblasť predstavovala celá skupina zdrojových zón v Západných Karpatoch a $M_{\max\text{obs}}=5.8$.

Druhá použitá metóda tiež využíva údaje o historickej seizmickej aktivite. Hodnota maximálneho magnitúda M_{MAX} bola určená pomocou tretieho asymptotického rozdelenia extrémnych hodnôt (Gumbel, 1959, Yegulalp & Kuo, 1974) v tvare

$$p_i = \exp(-[M_{\text{MAX}} - x_i] / [M_{\text{MAX}} - U]^K),$$

kde p_i je kumulatívna distribučná funkcia v tvare $m/(N+1)$ (N je celkový počet podintervalov, na ktorý je rozdelený záujmový interval rokov a m je počet podintervalov, v ktorých je maximálne magnitúdo menšie alebo rovné ako magnitúdo x_i), M_{MAX} , U a K sú koeficienty, ktoré boli určené nelineárnou metódou najmenších štvorcov. Koeficient M_{MAX} je hľadané maximálne magnitúdo.

Uvažované boli dve rôzne dĺžky intervalu – 5 a 10 rokov. Získané hodnoty M_{MAX} sa líšia len minimálne - $M_{\text{MAX}}=6.1$ pre dĺžku intervalu 5 rokov a $M_{\text{MAX}}=6.2$ pre dĺžku intervalu 10 rokov.

Tretia použitá metóda na určenie hodnoty M_{MAX} využíva geologicko-tektonické údaje. Hoci v súčasnosti nie sú k dispozícii empirické vzťahy medzi veľkosťou zemetrasení (magnitúdo, seizmický moment) a charakteristikami porušenej časti zlomu (povrchová dĺžka trhliny, podpovrchová dĺžka trhliny, veľkosť plochy porušenej časti zlomu,...), ktoré by boli odvodené z údajov o zemetraseniach v zdrojovej zóne Dobrá Voda, takéto empirické vzťahy boli odvodené z údajov o vybraných zemetraseniach z celého sveta v práci Wells & Coppersmith (1994).

Maximálna povrchová dĺžka zlomov v zdrojovej zóne Dobrá Voda je cca 20 km. Na určenie hodnoty M_{MAX} bol použitý vzťah medzi momentovým magnitúdom M a povrchovou dĺžkou trhliny SRL (Wells & Coppersmith, 1994)

$$M = 5.08 + 1.16 * \log(\text{SRL}) .$$

DÔLEŽITÁ POZNÁMKA. Doteraz sme pod magnitúdom rozumeli buď $M(I_0)$ alebo M_L . Oidva tieto typy magnitúd zodpovedajú magnitúdu M_S , ktoré je určované z povrchových vln. Momentové magnitúdo M je určované z hodnoty seizmického momentu M_0 . Prevodové vzťahy medzi magnitúdom M_S a seizmickým momentom M_0 boli publikované v práci Ekström & Dziewonski (1988) v tvare

$$\log M_0 = \begin{matrix} 19.24 + M_S & M_S < 5.3 \\ 30.20 - (92.45 - 11.40 * M_S)^{1/2} & 5.3 \leq M_S \leq 6.8 \\ 16.14 + 1.5 * M_S & M_S > 6.8 \end{matrix} .$$

Prevodový vzťah medzi momentovým magnitúdom M a seizmickým momentom M_0 bol publikovaný v práci Hanks & Kanamori (1979) v tvare

$$M = 2/3 * \log M_0 - 10.7.$$

Tieto vzťahy boli odvodené na základe údajov o zemetraseniach z celého sveta.

Stotožnením maximálnej povrchovej dĺžky zlomu (cca 20 km) s maximálnou možnou povrchovou dĺžkou trhliny SRL, dostávame zodpovedajúcu hodnotu momentového magnitúda $M=6.59$, čo podľa prevodových vzťahov medzi M , M_0 a M_S zodpovedá hodnote maximálneho magnitúda $M_{\text{MAX}}=6.52$.

Výsledné získané hodnoty maximálneho magnitúda M_{MAX} pre zdrojovú zónu Dobrá Voda sú v Tab. 9.

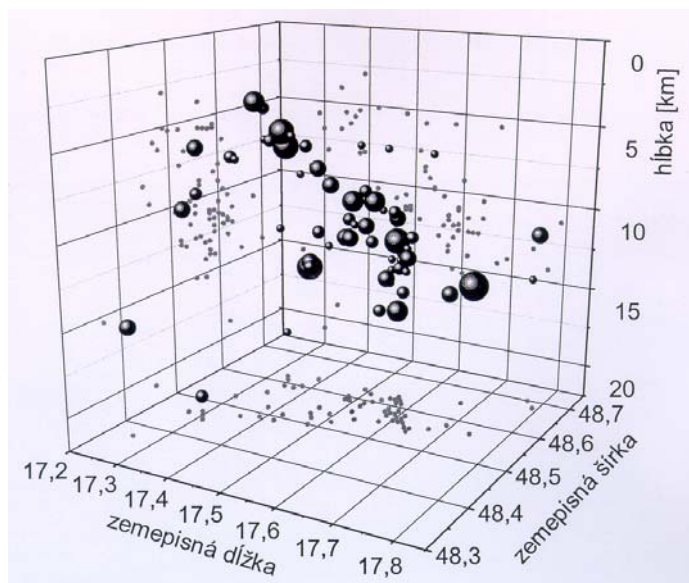
Metóda	Parametre výpočtu	M_{MAX}
1	$M_{maxobs} + 0.5$	6.2
	$M_{maxobs} + 1.0$	6.7
2	interval 5 rokov	6.1
	interval 10 rokov	6.2
3	$SRL_{max} = 20 \text{ km}$	6.5

Tab. 9. Hodnoty maximálneho magnitúda M_{MAX} pre zdrojovú zónu Dobrá Voda určené tromi rôznymi metódami, opísanými v texte.

Ak použijeme koeficienty početnostných vzťahov odvodených na základe makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v oblasti Dobrej Vody v 20. storočí, dostávame pre zemetrasenie s magnitúdom 6.1-6.7 strednú dobu výskytu približne 420-1000 rokov.

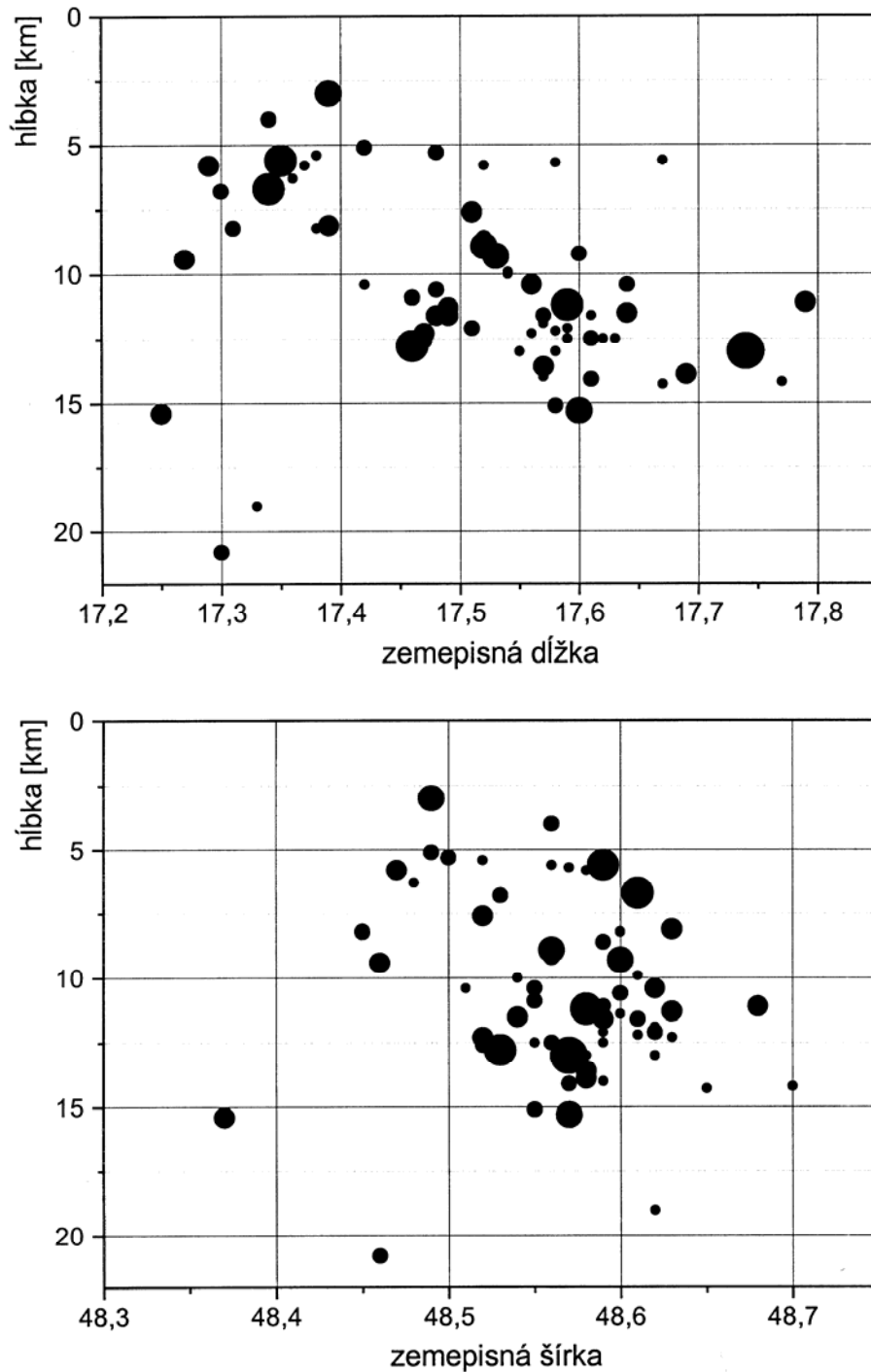
4.4 VZŤAH MEDZI HYPOCENTRAMI MIKROZEMETRASENÍ A TEKTONICKÝMI LÍNIAMI OBLASTI

Poloha epicentier mikrozemetrasení bola využitá pri vymedzení hraníc zdrojovej zóny. Hĺbka hypocentra však ešte analyzovaná nebola. K nasledujúcej analýze nepotrebujeme homogénny rad pozorovaní, potrebujeme však pomerne presne určenú hĺbku ohniska. Hĺbka ohniska je parameter zemetrasenia určený s najmenšou presnosťou a preto nebudeme uvažovať mikrozemetrasenia zo začiatku dokumentovaného obdobia, kedy lokálne siete AEB boli tvorené malým počtom seizmických staníc. Uvažovať budeme mikrozemetrasenia od roku 1991, kedy bola v prevádzke lokálna sieť EBO tvorená dvanástimi seizmickými stanicami. Na Obr. 21 sú polohy hypocentier mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ v období 1991-2000 s naznačením ich priemetov do jednotlivých rovín.



Obr. 21. Mapa hypocentier mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ v období 1991-2000 s naznačením priemetov do jednotlivých rovín.

Priemety hypocentier mikrozemtrasení do vertikálnych rovin sú detailne znázornené na Obr.22. Zdá sa, že hlavná zlomová plocha sa skláňa v smere od východu na západ pod uhlom približne 25-40°. V smere sever-juh nie je pozorovaný prevládajúci smer hlavnej zlomovej plochy. Takáto situácia by mohla približne zodpovedať koncepcii ponárajúcej sa elastickej európskej mikroplatne pod z východu sa nasúvajúcu karpatskú mikroplatňu. Na overenie správnosti tejto hypotézy je však nutné porovnanie s geologickými údajmi.



Obr. 22. Detailné priemety hypocentier mikrozemtrasení do vertikálnych rovin.

5. ZÁVERY

Cieľom tejto práce bolo charakterizovať seizmicitu zdrojovej zóny Dobrá Voda. Už získané poznatky boli rozšírené o novozískané údaje – najmä o údaje o mikrosezmickej aktivite v tejto oblasti v období 1997-2000.

Stručne boli charakterizované dostupné údaje o seizmickej aktivite v skúmanej oblasti. Katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení s dostupnými mapami izoseist zemetrasení s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ je v Prílohe 1. Katalóg mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ zaznamenaných seizmickými stanicami lokálnych sietí v okolí lokality Atómových elektrární Bohunice je v Prílohe 2. Na základe údajov o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach v 20. storočí bola vyslovená pracovná hypotéza o výskyte zemetrasenia s magnitúdom $M(I_0) \geq 4$ v zdrojovej zóne Dobrá Voda s periódou cca 20-30 rokov, čo znamená najbližšie takéto zemetrasenie približne v období 1995-2005. Na základe dostupných údajov o mikrosezmickej aktivite bola konštatovaná zvýšená úroveň mikrosezmickej aktivity v rokoch 1997-2000 v sledovanej oblasti. Na overenie správnosti tohto tvrdenia je však potrebný dlhší časový rad pozorovaní, než aký je k dispozícii. Mechanizmy ohnísk zemetrasení, pre ktoré bol k dispozícii dostatočný počet potrebných údajov, naznačujú horizontálny sklz na zlomoch počas mikrozemetrasení.

Pôvodné vymedzenie hraníc zdrojovej zóny bolo porovnané s polohou epicentier mikrozemetrasení s lokálnym magnitúdom $M_L \geq 1$ v období 1985-2000. Bola navrhnutá mierna korekcia polohy západnej a južnej hranice (cca 3-5 km). Na základe údajov o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach v priebehu 20. storočia a údajov o mikrozemetraseniach s $M_L \geq 1$ v období 1993-2000 (obdobie považované za homogénne zdokumentované) boli určené dve dvojice koeficientov a a b kumulatívneho početnostného vzťahu pre zdrojovú zónu Dobrá Voda. Použitím zodpovedajúcich početnostných vzťahov dostávame strednú periódu výskytu zemetrasenia s magnitúdom $M \geq 4$ približne 20-32 rokov, čo je v dobrej zhode s vyššie spomenutou pracovnou hypotézou. Hodnota maximálneho magnitúda M_{MAX} (podľa práce *Labák et al., 1997b*) bola uvedená pre tri rôzne metódy určenia. Získané hodnoty M_{MAX} sú si podobné a pohybujú sa v intervale magnitúd 6.1-6.7. Použitím získaných početnostných vzťahov dostávame strednú periódu návratu zemetrasenia s takýmto magnitúdom približne 400-1000 rokov. Analyzovaná bola poloha hypocentier mikrozemetrasení s $M_L \geq 1$ v období 1991-2000. Zdá sa, že hlavná zlomová plocha sa skláňa v smere od východu na západ pod uhlom približne 25-40°. V smere sever-juh nie je pozorovaný prevládajúci smer hlavnej zlomovej plochy.

Hoci získané poznatky nepochybne prispievajú k lepšiemu poznaniu seizmicity zdrojovej zóny Dobrá Voda, nie je ich možné považovať za definitívne. Dostupné údaje o seizmickej aktivite zdrojovej zóny sa vyznačujú na jednej strane malým počtom a nezanedbateľnou mierou neurčitosti údajov (v prípade údajov o makroseizmicky pozorovaných zemetraseniach) a na druhej strane krátkou dobou homogénnych pozorovaní (v prípade údajov o mikrosezmickej aktivite). Získané výsledky bude potrebné skontrolovať, prípadne korigovať, keď bude k dispozícii dlhší časový rad homogénnych údajov o mikrosezmickej aktivite.

LITERATÚRA

- Ambraseys, N. N., Sarma, S. K., 1999. The Assessment of Total Seismic Moment. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 3, No. 4, 439-461.
- Cipciar, A., Labák, P., Moczo, P., Kristeková, M., in press. Earthquakes in Slovakia and seismic monitoring by the National Network of the Seismic Stations. Geofyzikálny ústav, SAV, Bratislava.
- Ekström, G., Dziewonski, A. M., 1988. Evidence of bias in estimations of earthquake size. *Nature*, 332, 319-323.
- EQUIS, 1996. Geologické zhodnotenie oblasti atómovej elektrárne Bohunice. Equis, Bratislava.
- Gumbel, E. J., 1959. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.
- Hanks, T. C., Kanamori, H., 1979. A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*, 84, B5, 2348-2350.
- Kárník, V., 1968. *Seismicity of the European Area. Part 1*. Academia, Praha.
- Kárník, V., Michal, E., Molnár, A., 1957. *Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei bis zum Jahre 1956*. Travaux Géophysiques, No. 69, Praha.
- Kováč, M., Šefara, J., Plašienka, D., 1997. Geologické zhodnotenie oblasti Atómovej elektrárne Bohunice. III. etapa: Geologické podklady pre tvorbu seizmotektonického modelu. EQUIS, Bratislava.
- Labák, P., 1996a. Reinterpretácia zemetrasenia 5.6.1443 na strednom Slovensku. In: *Analýza dat v seismologii a inženýrske geofyzice*, Kaláb, Z., eds, 1996, Ústav geoniky AV ČR, Ostrava-Poruba. pp. 83-93.
- Labák, P., 1996b. *Mapy izoseist zemetrasení s epicentrami na území Slovenska v rokoch 1946-1995*. Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava.
- Labák, P., Brouček I., 1996. *Katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska od roku 1034. (Verzia 1996)*. Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava.
- Labák, P., Moczo, P., Bystrická, A., 1997a. *Seizmologická databáza pre komplexné zhodnotenie seizmického ohrozenia lokality Atómovej elektrárne Bohunice*, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava.
- Labák, P., Bystrická, A., Moczo, P., Rosenberg, L., 1997b. *Pravdepodobnostný výpočet seizmického ohrozenia pre lokalitu Atómových elektrární Bohunice*. Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava.

Labák, P., Kristeková, M., Kristek, J., Cipciar, A., Sekereš, J., 2001. Seizmická aktivita v zdrojovej zóne Dobrá Voda. 4. celoslovenská geofyzikálna konferencia, 20.6.-21.6.2001, Bratislava.

Pospíšil, L., Schenk, V., Schenková, Z., 1985. Relation between seismoactive zones and remote sensing data in the Western Carpathians. In: Proceedings of the 3rd International symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk. Schenk, V., Schenková, Z., eds., Geophysical Institute, Czechoslovak Academy of Sciences, Praha. pp. 256-263.

Prochádzková, D., Kárník, V., eds., 1978. Atlas of isoseismical maps, Central and Eastern Europe. Geophysical Institute of Czechoslovak Academy of Sciences, Prague.

Réthly, A., 1907. Az 1906 évi Magyarországi földrengések. M. Kir. Orsz. Meteorológiai és Fölmágnasségi Intézet. Budapest.

Réthly, A., 1952. Earthquakes in the Carpatian basins 455-1918. Akadémiai Kiadó. Budapest. (in Hungarian language).

Sekereš, J., Hruška, J., Nováková, J., Barták, V., 1987. Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice. Kompilační zpráva – 2. Etapa. Energoprojekt, Praha.

Sekereš, J., Kristeková, M., 1997. Seizmometrická sieť v okolí Atómových elektrární Bohunice. In: 2. Celoslovenská geofyzikálna konferencia, 18.6.1997, Bratislava. (poster)

Sekereš, J., Labák, P., 2001. JE- Jaslovské Bohunice, seizmické meranie. Súhrnná správa zo seizmických meraní za obdobie 1.1.1985-31.12.2000. Progseis Trnava.

Schwartz, D. P., Coppersmith, K. J., 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas faults. Journal of Geophysical Research, 89, 5681-5698.

Szeidovitz, G., 1986. Earthquakes in the region of Komárom, Mór and Várpalota. Geophysical Transactions, 32, 255-274.

Šefara, J., Bielik, M., Bodnár, J., Čížek, P., Filo, M., Gnojek, I., Grecula, P., Halmešová, S., Husák, Ľ., Janoščík, M., Král, M., Kubeš, P., Kucharič, Ľ., Kurkin, M., Leško, B., Mikuška, J., Muška, P., Obernauer, D., Pospíšil, L., Putiš, M., Šútora, A., Velich, R., 1987. Štruktúrno-tektonická mapa vnútorných Západných Karpát pre účely prognózovania ložísk. Geofyzikálne interpretácie. Text k súboru máp. Slovenský geologický úrad, Bratislava, Geofyzika n.p., Brno, Uránový průzkum k.p., Liberec.

Šimůnek, P., Sekereš, J., 1992. JE – Jaslovské Bohunice. Závěrečné hodnotenie seizmických meraní EBO. Energoprojekt Praha.

Weichert, D. H., 1980. Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 974-1002.

Wells, D. L., Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974–1002.

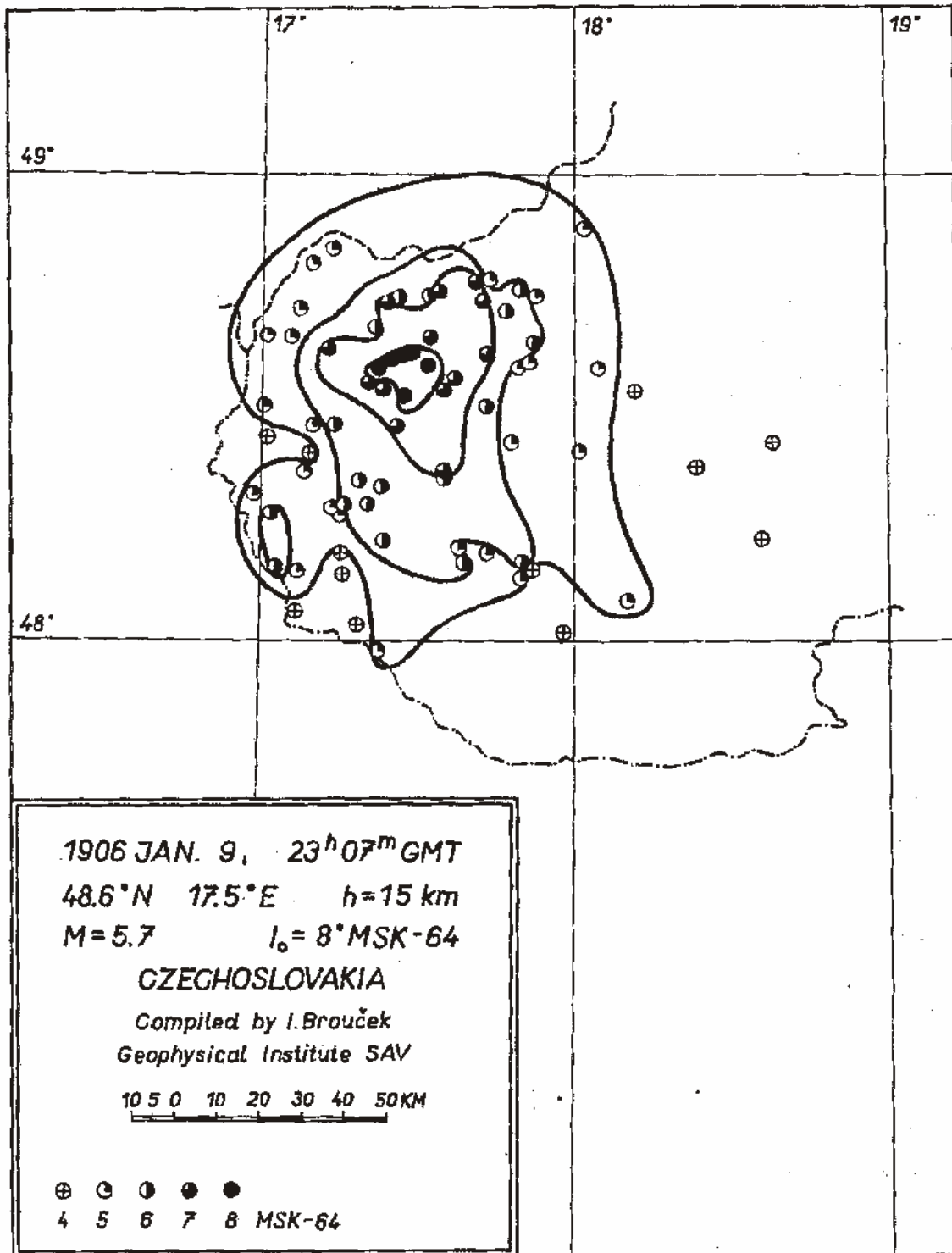
Yegulalp, T. M., Kuo, J. T., 1974. Statistical prediction of the occurrence of maximum magnitude earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64, 393-414.

PRÍLOHA 1

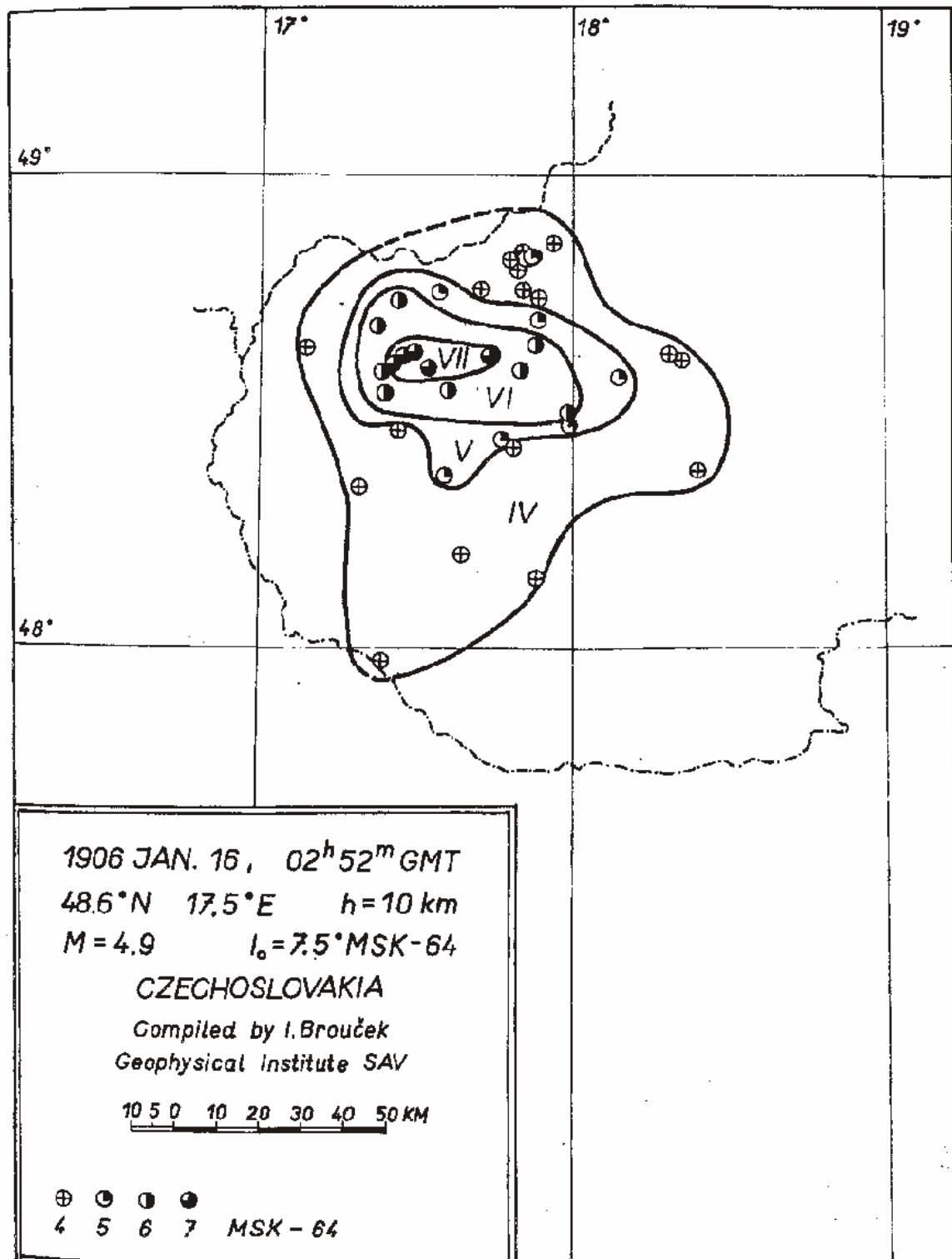
KATALÓG MAKROSEIZMICKY POZOROVANÝCH ZEMETRASENÍ V OBLASTI DOBREJ VODY

A

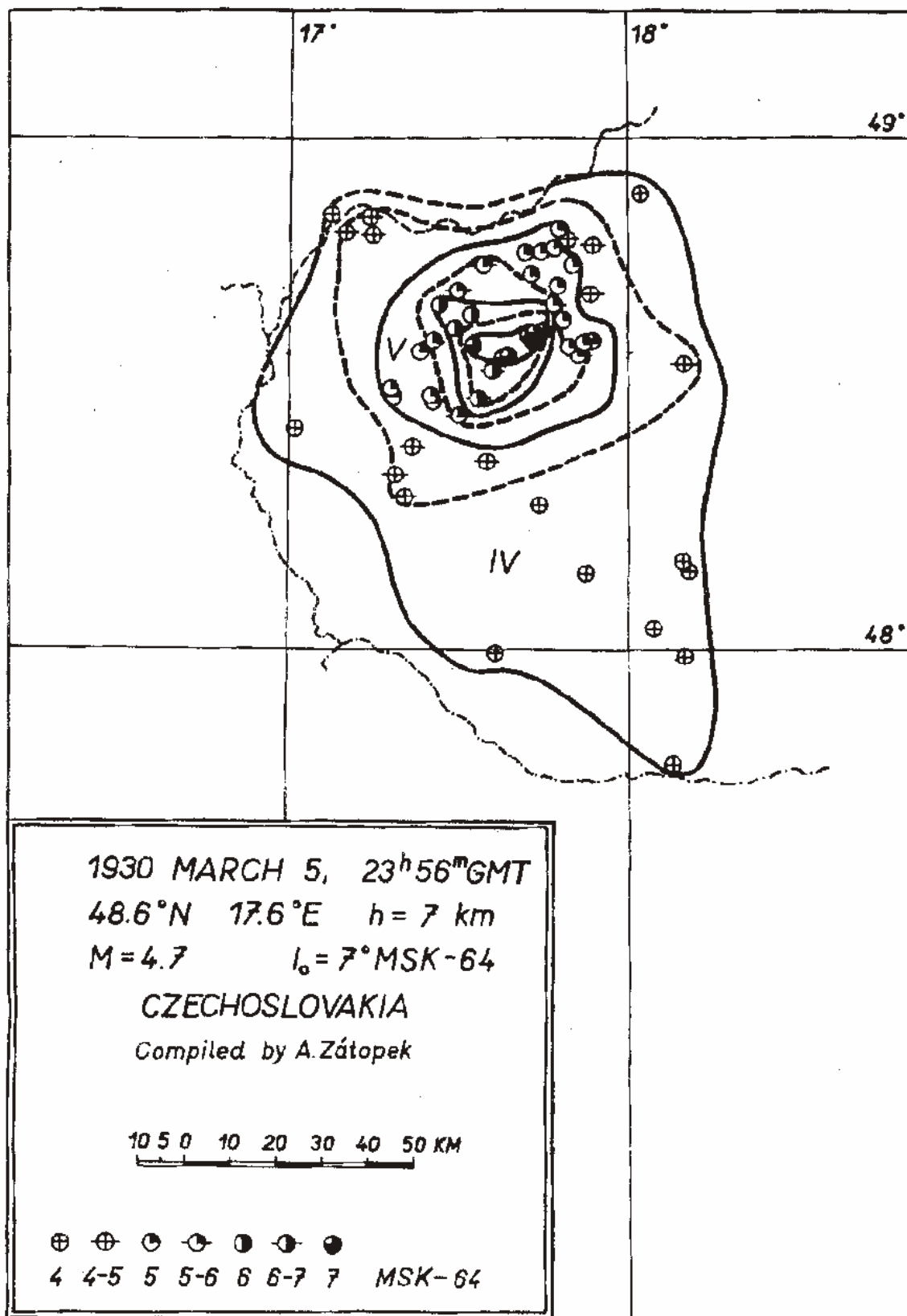
MAPY IZOSEIST ZEMETRASENÍ S MAGNITÚDOM $M(I_0) \geq 4$



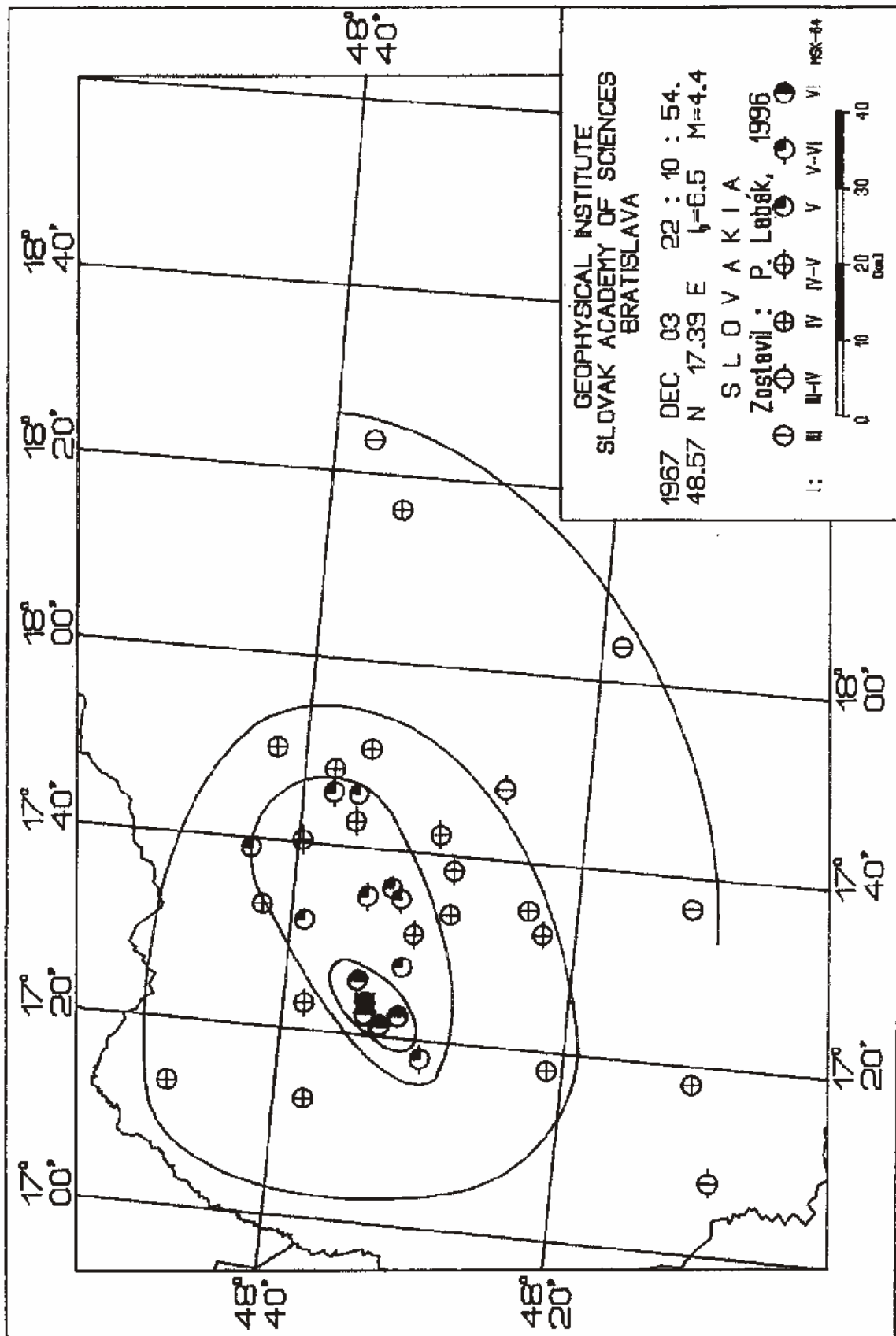
Mapa izoseist zemetrasenia 9.1.1906. (Procházková & Kárník, eds., 1978)



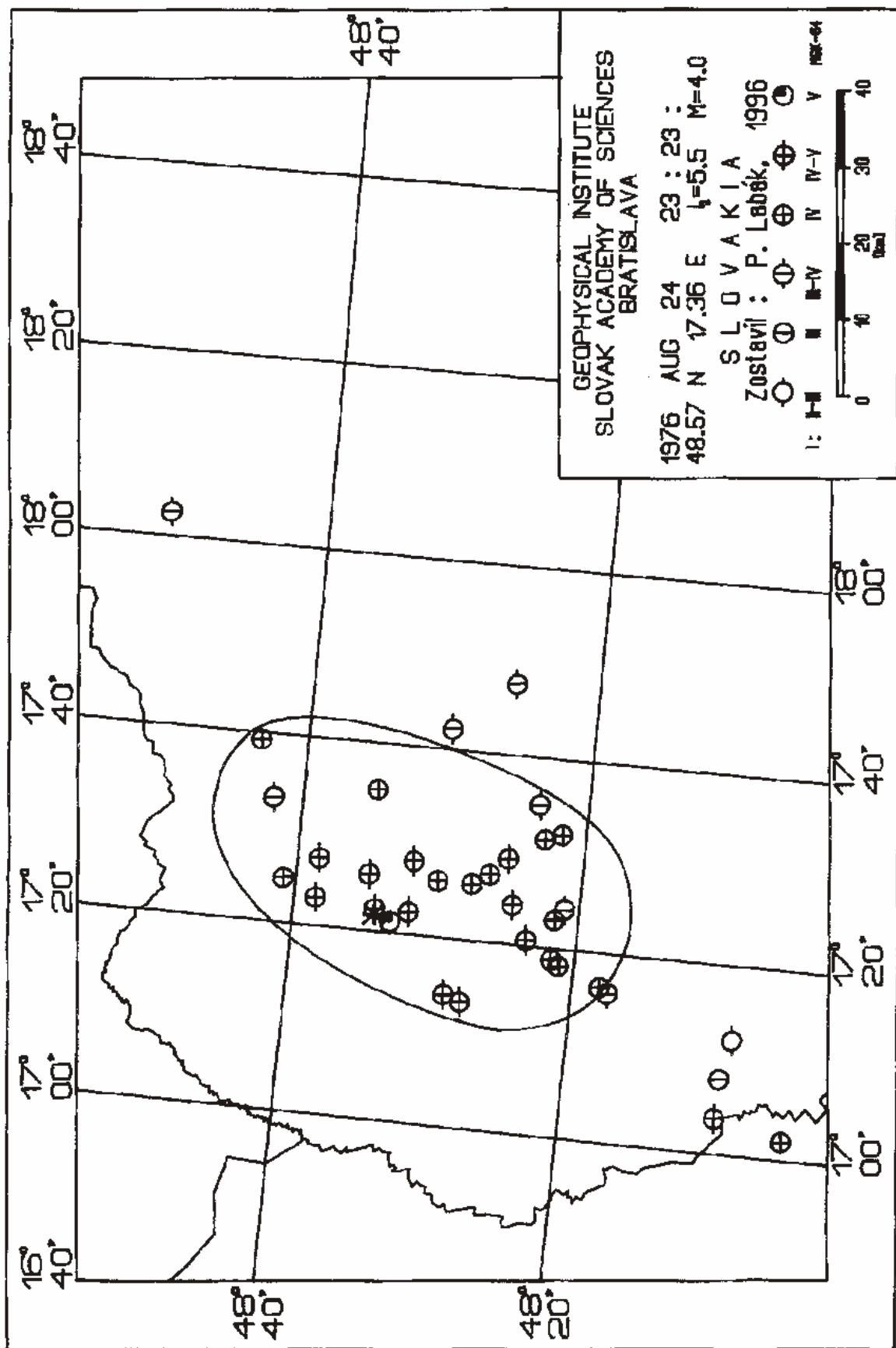
Mapa izoseist zemetrasenia 16.1.1906. (Procházková & Kárník, eds., 1978)



Mapa izoseist zemetrasenia 5.3.1930. (Procházková & Kárník, eds., 1978)



Mapa izoseist zemetrasenia 3.12.1967. (Labák, 1996b)



Mapa izoseist zemetrasenia 24.8.1976. (Labák, 1996b)

PRÍLOHA 2

**KATALÓG MIKROZEMETRASENÍ
S LOKÁLNYM MAGNITÚDOM $M_L \geq 1$,
ZAZNAMENANÝCH SEIZMICKÝMI STANICAMI
LOKÁLNYCH SIETÍ AEB
V OBDOBÍ 1985-2000**