

# NEURÓNOVÉ SIETE A ŠTÚDIUM TEKTONICKEJ AKTIVITY NA ZÁKLADE GEOMAGNETICKÝCH DÁT

## NEURAL NETWORKS AND THE STUDY OF TECTONIC ACTIVITY BASED ON GEOMAGNETIC DATA

Valach, F., Jankovičová, D., Dolinský, P. Túnyi<sup>1</sup>, I., Kaplák, P.<sup>2</sup>.

GFÚ SAV, Hurbanovo, Slovensko

<sup>1</sup>GFÚ SAV, Bratislava, Slovensko

<sup>2</sup>GFÚ SAV, Šrobárová, Slovensko

### Abstract

One of the possible causes of subterranean electrical conductivity changes is the tectonic activity. We tried to find relationships between the changes in the subsurface medium conductivity, represented by electromagnetic transfer functions, and the tectonic activity. The modern approach, based on the neural network concept, was used.

### Úvod

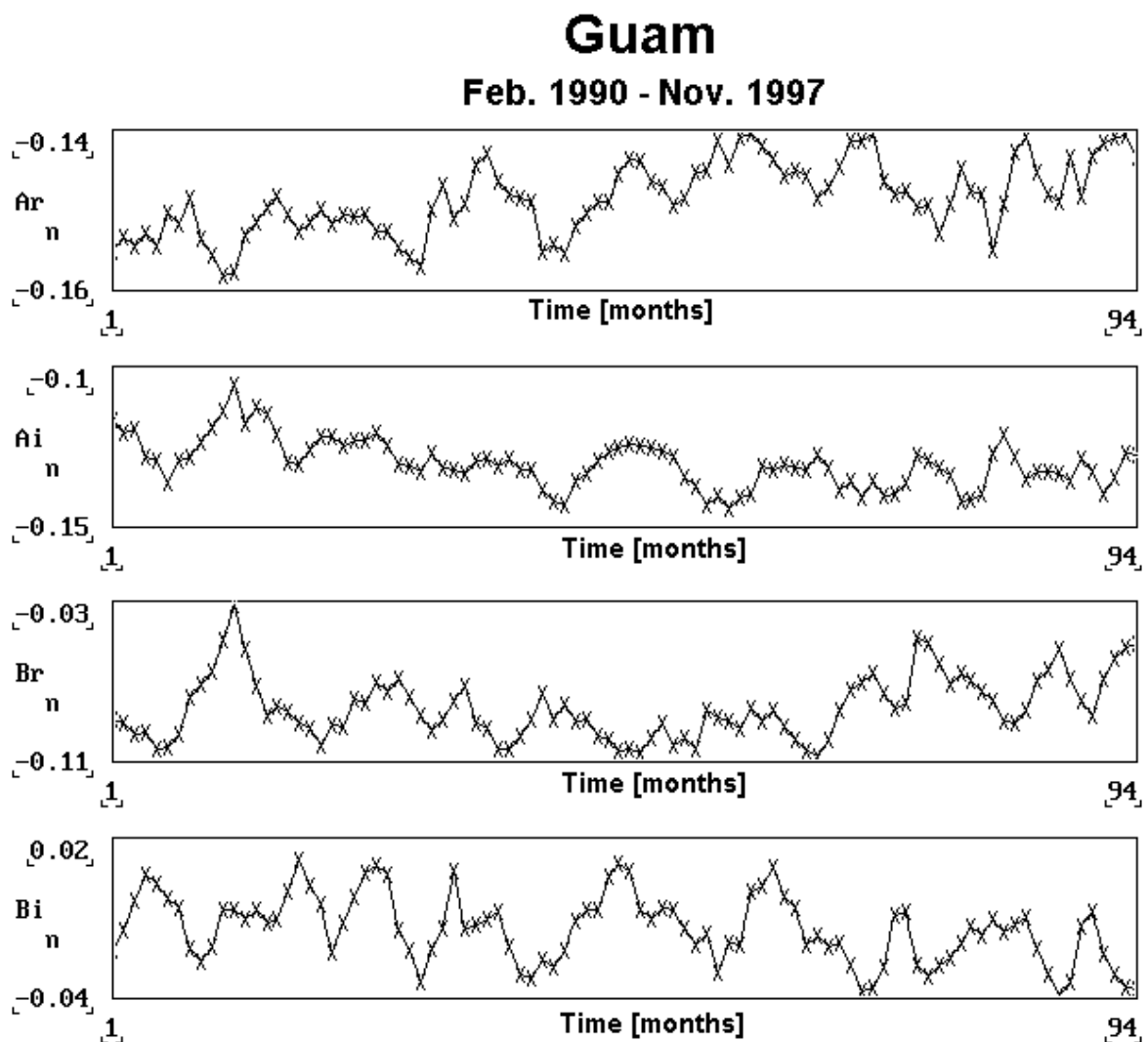
Jedným z možných dôvodov zmien elektrickej vodivosti hornín v podzemí je tektonická aktivita. O zmenách elektrickej vodivosti v súvislosti s výskytmi zemetrasení referovalo už viacero prác (Barkusov, 1973, Yamazaki, 1975, Zeng et al., 1998, Sidorin, 1999). Existencia takéhoto javu bola podložená aj laboratórnymi experimentami, napr. v práci (Brace, 1975). Tento efekt doprevádza tzv. dilatanciu, lokálne zväčšenie objemu trhlín a pórov v regióne budúceho zemetrasenia (Garland, 1979).

Elektrickú vodivosť podzemia je možné študovať pomocou elektromagnetických prenosových funkcií, definovaných rovnicou

$$Z=AH+BD, \quad (1)$$

kde  $Z$ ,  $H$  a  $D$  sú variácie vertikálnej a horizontálnej zložky geomagnetického poľa a magnetická deklinácia (v rovnakých jednotkách – nT). Za variácie geomagnetického poľa sa zvyknú dosadzovať Fourierove koeficienty, získané spektrálnou analýzou magnetogramov

príslušných komponent poľa. A a B sú elektromagnetické prenosové funkcie. Sú komplexnými funkciami frekvencie (periódy variácií geomagnetického poľa).



Obr. 1a Časový rad reálnych a imaginárnych častí elektromagnetických prenosových funkcií A a B, vypočítaných pre observatórium Guam.

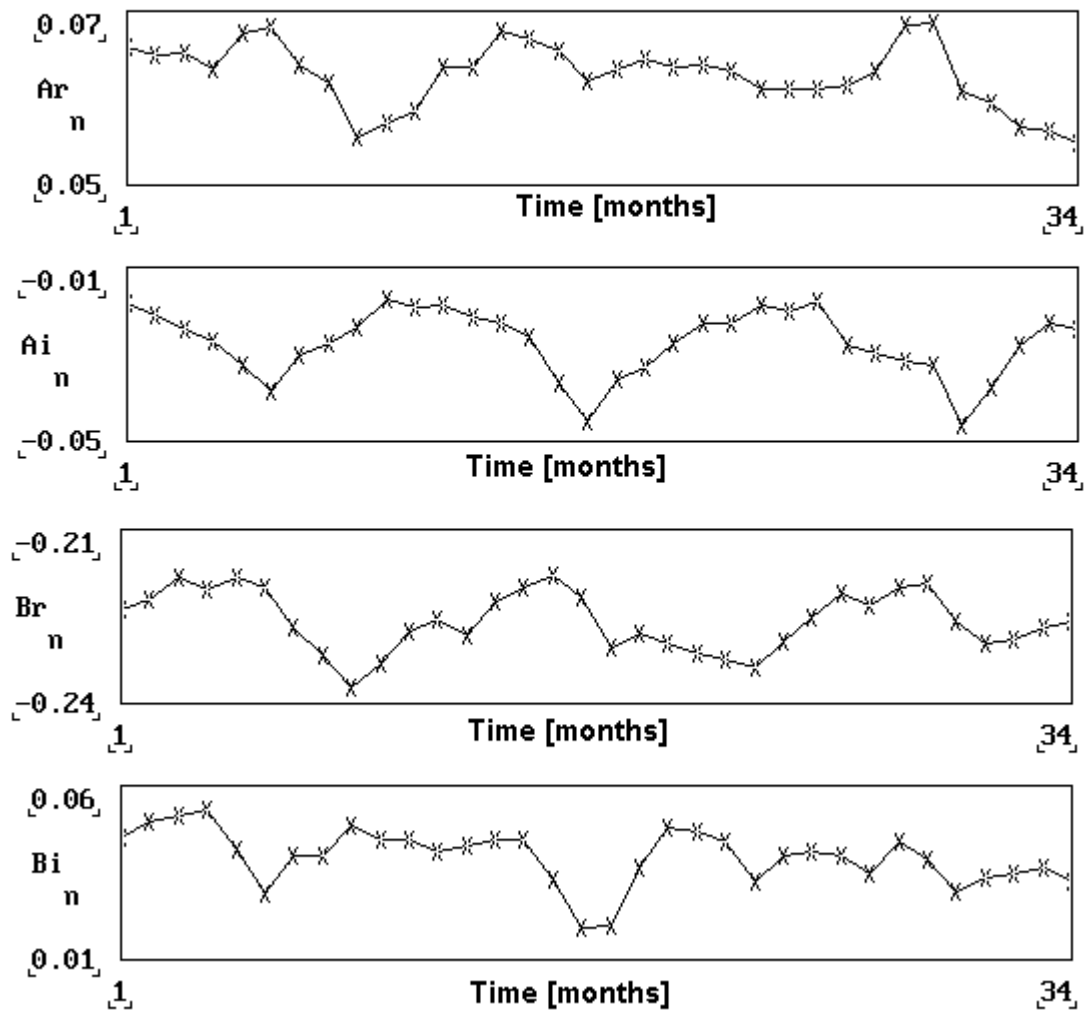
Moderným nástrojom na štúdium nelineárnych javov je umelá sieť neurónov (artificial neural network) (Gurney, 1996, Valach and Jankovičová, 2000). Uvažujúc neurónovú sieť s 26 vstupnými neurónmi, s dvoma neurónmi v skrytej vrstve a s jedným výstupným neurónom zavedieme nasledovné označenie:

$z(j)$  je vstupný údaj na  $j$ -tom vstupnom neuróne,  $w(i,j)$  je váha (koeficient charakterizujúci silu spojenia) medzi  $i$ -tym neurónom v skrytej vrstve a  $j$ -tym vstupným neurónom,  $W(i)$  je váha medzi výstupným neurónom a  $i$ -tym skrytým neurónom.

Vtedy výstupom zo siete je veličina  $y$ , ktorá je daná vzťahom

# Memembetsu

Feb. 1995 - Nov. 1997



Obr 1b Časové rady reálných a imaginárných částí elektromagnetických prenosových funkcí pre observatórium Memembetsu.

$$y = F\{W(0) + W(1) F[w(1,0) + w(1,1)z(1) + w(1,2)z(2) + w(1,3)z(3) + \dots + w(1,26)z(26)] + W(2) F[w(2,0) + w(2,1)z(1) + w(2,2)z(2) + w(2,3)z(3) + \dots + w(2,26)z(26)]\}. \quad (2)$$

Vo vzťahu (2) je F(...) tzv. aktivačná funkcia

$$F(x) = 1/[1+\exp(-c.x)]. \quad (3)$$

V procese tréningu sa na tréningových sadách vstupných údajov  $z(j)$  a želaných výstupov  $Y$  prispôsobujú váhy tak, aby výstupy  $y$ , vypočítané podľa vzťahu (2) boli blízko k želanej hodnote  $Y$ .

## Materiál a metódy

Pre účely štúdia súvislostí medzi zmenami elektromagnetických prenosových funkcií a výskytom zemetrasení sme zvolili dve geomagnetické observatóriá, ktoré ležia v oblasti veľkej subdukčnej zóny pri západnej hranici Pacifickej litosférickej platne a ktoré charakterizuje častý výskyt zemetrasení v ich okolí, observatórium Guam (patrí USA) a Memembetsu (Japonsko).

K výpočtom elektromagnetických prenosových funkcií sme použili 1-minútové digitálne registrácie zložiek geomagnetického poľa. Zo záznamov z desiatich najporušenejších dní v mesiaci sme pomocou počítačového programu GMUP (Zeng et al., 1998) vypočítavali prenosové funkcie pre 10 periód variácií ( $T = 20, 26, 35, 45, 60, 75, 90, 120, 150$  a  $200$  min), a to reálne a imaginárne časti. Porušenosť geomagnetického poľa bola určovaná podľa planetárnych indexov  $K_p$ .

Obr. 1a a 1b zobrazujú časové rady prenosových funkcií  $A$  a  $B$ , reálnych a imaginárnych častí, pre Guam a Memembetsu. Sú tu znázornené mesačné hodnoty vypočítané spriemerovaním hodnôt pre uvedeníh desať periód variácií poľa.

Údaje o seizmickej aktivite v okolí observatórií sme získali z Dátového centra Geologickej služby Spojených štátov. Ako mieru tektonickej aktivity sme použili veličinu  $M1$ , určenú vzťahom

$$M1 = \Sigma(E/D). \quad (4)$$

$E$  je energia, ktorá bola uvoľnená pri zemetrasení (v Jouloch),  $D$  je vzdialenosť ohniska zemetrasenia od observatória (v km), sumovanie, naznačené vo vzťahu, sa vykonáva pre eventy v priebehu mesiaca.

Pre účely trénovania neurónovej siete boli vytvorené tréningové sady s nasledovnou štruktúrou:

Vstupný vektor  $t$ -tej tréningovej sady je

$$\begin{aligned} \mathbf{z} = & [A_r(t-5), A_i(t-5), B_r(t-5), B_i(t-5), M1(t-5), \\ & A_r(t-4), A_i(t-4), B_r(t-4), B_i(t-4), M1(t-4), \dots \\ & \dots A_r(t-1), A_i(t-1), B_r(t-1), B_i(t-1), M1(t-1), M1(t)], \end{aligned} \quad (5)$$

pričom na výstupe je pri t-tej tréningovej sade očakávaná hodnota

$$Y = M1(t+1). \quad (6)$$

V aktivačnej funkcii bola pre Guam zvolená hodnota  $c=1,0$  a pre Memembetsu  $c=0,5$ .

Pred vstupom do siete boli dáta škálované – násobené škálovacími koeficientami, ktoré sú uvedené v tabuľke 1.

### Scaling coefficients

input item observatory	$A_r$	$A_i$	$B_r$	$B_i$	M1
<b>Guam</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>1/80</b>
<b>Memembetsu</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>1/90</b>

Tab. 1 Škálovacie koeficienty pred vstupom do neurónovej siete.

### Výsledky a diskusia

Výsledkom trénovania siete je tabuľka váh, ktoré charakterizujú silu spojenia medzi jednotlivými neurónmi v umelej neurónovej sieti. Pre prípad observatória Guam sú váhy zhrnuté v tabuľke 2a a pre Memembetsu v tabuľke 2b.

Na obrázkoch 2a a 2b sú porovnané časové rady hodnôt M1 vypočítaných pomocou vzťahu (2), teda hodnôt predpovedaných neurónovými sieťami, s časovými radmi skutočných hodnôt M1. V obrázkoch sú vyznačené časti, ktoré boli počítané z dát, použitých pri tréningu sietí, teda sú to dáta, ktoré sieť „pozná“, a časti, ktoré boli vypočítané z dát, s ktorými sa sieť ešte nikdy predtým nestretla.

Vidíme, že predpovedané a skutočné krivky majú podobný priebeh. V prípade observatória Guam boli obidve obdobia zvýšenej seizmiskej aktivity, ktoré sa vyskytli v testovacej časti časového radu, predpovedané o 1 mesiac skôr ako sa v skutočnosti stalo, pre prípad observatória Memembetsu boli silné zemetrasenia predpovedané s presnosťou +/- 1 mesiac (korelačný koeficient v testovacích častiach radu je 0,406).

j	(a) Memembetsu		(b) Guam	
	$w_{1j}$	$w_{2j}$	$w_{1j}$	$w_{2j}$
1	2.289	0.50333	-0.93001	-0.35495
2	-8.501	-3.8714	-0.13969	0.35222
3	0.41082	0.34281	1.2137	0.1326
4	-0.59357	-1.802	0.14734	0.28715
5	5.5215	2.0057	-0.43425	-0.38574
6	-4.9092	-5.191	0.90715	-0.33719
7	2.3018	2.0507	1.1933	0.46982
8	-1.6683	-0.71731	-1.0383	0.055514
9	-2.2868	0.52846	-0.12355	0.85416
10	-13.288	-5.6697	-0.87987	-0.68885
11	4.1995	0.64185	1.4538	-0.095544
12	6.1006	6.2416	-3.7998	-0.77693
13	0.36677	0.28388	1.7983	0.48289
14	-3.4808	-0.17624	0.17326	0.34039
15	3.0252	1.4907	1.445	0.12917
16	6.6996	2.0207	2.7847	0.6119
17	2.4426	6.3615	2.0627	0.73148
18	1.7418	0.74309	-1.0161	-0.30617
19	-6.9329	0.29885	-0.15129	-0.4513
20	-2.9941	-2.0448	-0.37637	-0.50713
21	2.0748	0.20851	2.6198	0.18993
22	-14.869	-3.8187	0.10254	-0.34751
23	1.5981	0.89893	1.8386	-0.071597
24	-0.78217	2.8003	0.27379	0.13661
25	2.5892	2.8022	1.1929	0.77502
26	8.133	4.3136	-0.30771	0.0021597
0	0.085373	-0.58869	0.84573	0.57698

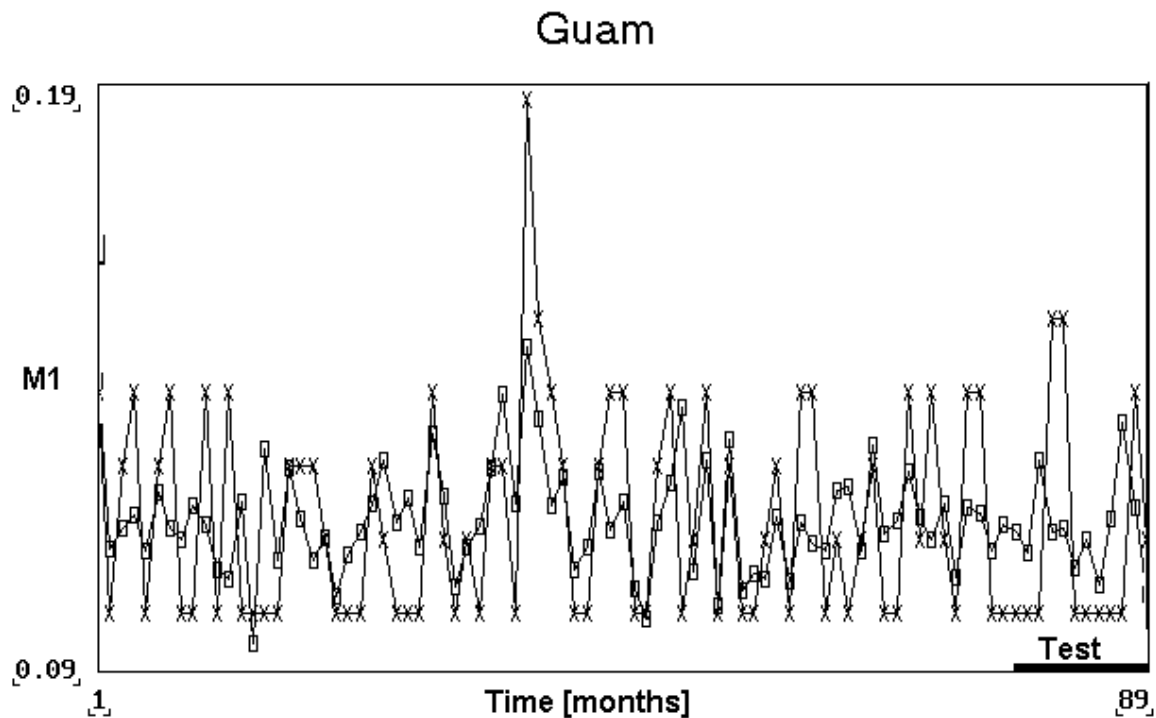
i	$w_i$	$w_i$
1	-6.0334	-6.5954
2	-4.1472	-1.0637
0	2.0024	1.3786

Tab. 2 Váhy získané v procese učenia pre observatóriá Guam a Memembetsu.

## Záver

V predloženej práci bola ukázaná možnosť použitia koncepcie neurónových sietí, známa predovšetkým ako nástroj vyvinutý pre potreby umelej inteligencie, na predpovedanie zemetrasení v oblastiach, kde zemetrasenie nie je veľmi zriedkavým úkazom (Je totiž potrebné pre potreby tréningu siete, aby boli k dispozícii dáta z istého množstva skutočných zemetrasení v oblasti). Dĺžka študovaných časových radov zatiaľ nepostačuje na to, aby boli vyvedené nejaké všeobecne platné závery. Digitálna registrácia na geomagnetických

observatóriách je však výdobytcom len niekoľkých posledných rokov, preto je namieste predpoklad, že najbližšie obdobie prinesie podstatné zväčšenie databázy použiteľných údajov o geomagnetickom poli a načrtnutá metodika bude viesť k záverom so všeobecnou platnosťou.

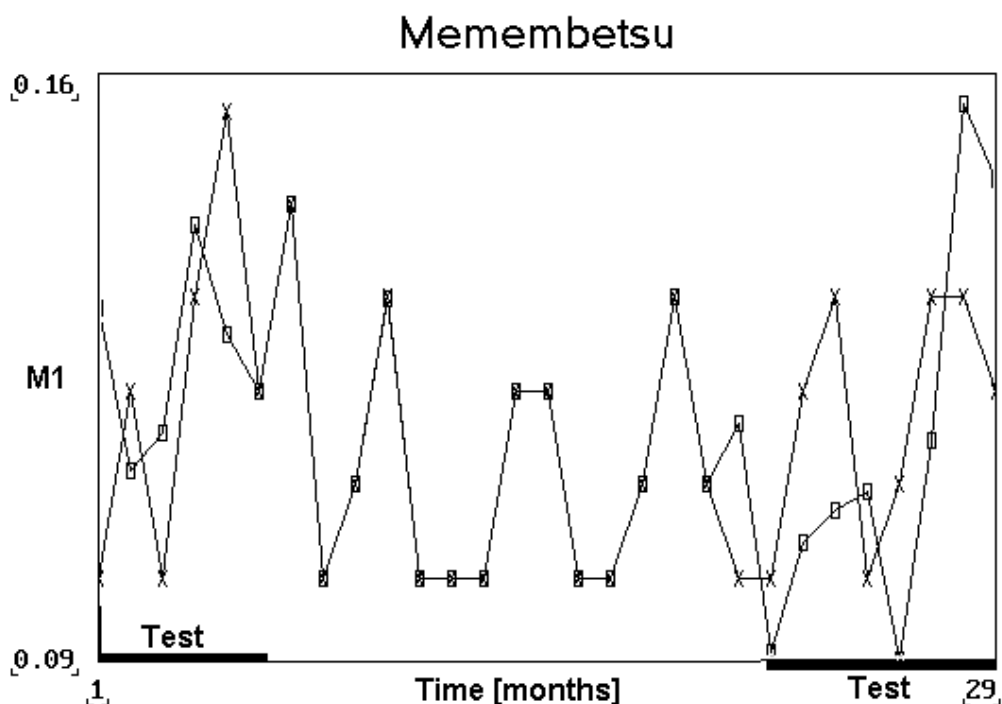


Obr. 2a Rady skutočných (x) a predpovedaných ( $\square$ ) hodnôt M1.

(Časť obrázka vyznačená ako “Test” je počítaná z dát, ktoré sieť nepoznala, zvyšok sú dáta, s ktorými sa sieť stretla v procese tréningu.)

### Súhrn

Použitím umelých neurónových sietí bol v práci urobený pokus predpovedať seizmickú aktivitu s pomocou elektromagnetických prenosových funkcií – parametrov, ktoré sú tesne spojené s podzemnou elektrickou vodivosťou. Ako miera seizmickej aktivity, ktorá môže byť pociťovaná v mieste observatória, bola zavedená veličina, ktorá je logaritmom sumy pomerov uvoľnenej elastickej energie pri zemetrasení ku vzdialenosti ohniska zemetrasenia od observatória. Z porovnania skutočných a predpovedaných časových radov tejto veličiny vyplynul záver o perspektívnosti umelých neurónových sietí ako nástroja na riešenie úlohy predpovedania zemetrasení. Boli tiež získané tabuľky váh (predbežné výsledky), ktoré spoločne so vzťahom, definujúcim výstup zo siete, dáva možnosť približných predpovedí.



Obr 2b Rady skutočných (x) a predpovedaných (□) hodnôt M1.

(Časti obrázka vyznačené ako “Test” sú počítané z dát, ktoré sieť nepoznala, zvyšok sú dáta, s ktorými sa sieť stretla v procese tréningu.)

#### Literatúra

**Barkusov, O. M.**, Variations in electrical resistivity of rocks and earthquakes, *Earthquake Precursors*, Edited by M. A. Sadovsky, I. L Nersesov and L. A. Latyna, Acad. Sci. U.S.S.R., Moskva, 1973.

**Brace, W. F.**, Dilatancy-related electrical resistivity changes in rocks, *Earthquake Prediction and Rock Mechanics*, Edited by M. Wyss, pp. 207-218, Birkhäuser Verlag Basel, 1975.

**Garland, G. D.**, *Introduction to Geophysics - Mantle, Core and Crust*, W. B. Saunders Company, Phyladelphia, 1979.

**Gurney, K.**, *An Introduction to Neural Networks*, UCL Press, London, 1996.

**Sidorin, A. Ya.**, The results of high accuracy monitoring of electrical resistivity of rocks in the seismoactive region, Zborník abstraktov z konferencie 2<sup>nd</sup> International Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology, Chania, 1999.

**Valach, F., Jankovičová, D.**, *Electromagnetic Transfer Functions, Tectonic Activity and Neural Networks*, IX-th IAGA Workshop, Hurbanovo (poster), 2000.

**Yamazaki, Y.**, Precursory and coseismic resistivity changes, *Earthquake Prediction and Rock Machanics*, Edited by M. Wyss, Pageoph, 113, 219-227, 1975.

**Zeng, Z. P., Lin, Y. F., Xu, C. R., Zhao, M., Zhao, Y. C.**, *Manual on the Forecasting of Natural Disasters: Geomagnetic Methods*, UN, Beijing, 1998.