

# UČINKI POTRESA NA GLADINO PODZEMNE VODE

## Groundwater Anomalies Associated With the Earthquake

Jože Uhan\*, Andrej Gosar\*\* UDK 550.34:556.3(497.4)"1998"

### Povzetek

*Potres 12. aprila 1998 z nadžariščem v Krnskem pogorju je bil najmočnejši potres v Sloveniji v tem stoletju ( $M_{WA}=6,0$ ). Največja intenziteta je ocenjena na VII. do VIII. stopnjo po evropski potresni lestvici (EMS-98). Potres je poleg obsežnih poškodb na zgradbah in v naravnem okolju v Zgornjem Posočju vplival tudi na višino gladine podzemne vode v vodonosnikih na Sorškem in Kranjskem polju, ki ležijo 60 km vzhodno od nadžarišča. Po podatkih štirih piezometrov je ob potresu gladina podzemne vode zanihala za 23 do 82 centimetrov. Pred glavnim potresom ali po njem ni bilo opaznih sprememb. Opisani so tudi nekateri drugi hidrološki učinki (valovi na stoječi vodi, učinki na izvire) tega potresa in njihova povezava z intenzitetno lestvico EMS-98.*

### Abstract

*On 12 April, 1998 the strongest earthquake of this century in Slovenia ( $M_{WA}=6.0$ ) occurred in the Krn mountains. Its maximum intensity was assessed at VII-VIII EMS-98. The earthquake caused substantial damage to buildings as well as to the natural surroundings of Zgornje Posočje, but, curiously enough, it also had a substantial effect on groundwater levels in aquifers on Sorško and Kranjsko polje, 60 kilometres east of the epicenter. The main shock caused fluctuations in groundwater levels ranging from 23 to 82 centimetres, as recorded by 4 piezometres. No fluctuations were recorded before or after the main shock. Some other hydrological effects (waves on standing water, effects to springs) are also described and their relation to the EMS-98 intensity degrees discussed.*

Obpotresne spremembe višine gladine podzemnih voda so v mednarodni strokovni literaturi razmeroma pogosto opisane (Roeloffs in sod., 1995; Rojstaczer, 1994). Posebno pozornost raziskovalcev po vsem svetu so pritegnili učinki potresa marca 1964 na Aljaski. Ob tem potresu so limnigrafi zaznali večmeterske spremembe višine gladine podzemnih voda na vsej severnoameriški celini (Ingebritsen in Sanford, 1998). Povečano zanimanje za hidrološke obpotresne pojave se je med raziskovalci ponovilo po potresu v Kobeju leta 1995, ko so rekonstruirali vrsto hidroloških in hidrokemičnih sprememb podzemne vode. V slovenskem prostoru zapisi o tovrstnih pojavih do sedaj niso bili znani. Prvi zapis o učinkih potresa na podzemno vodo je nastal šele ob potresu 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju. V okviru programa državnega opazovanja višine gladine podzemnih voda Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije so limnigrafi piezometrov v aluvijalnih vodonosnikih zaznali obpotresne spremembe višine gladine na Sorškem in Kranjskem polju.

## Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju

Potres, ki je na velikonočno nedeljo 1998 ob 12.55 po srednjeevropskem poletnem času (10.55 UTC) prizadel Zgornje Posočje, je bil po magnitudi ( $M_{WA}=6,0$ ) najmočnejši potres z nadžariščem v Sloveniji v tem stoletju (Zupančič in sod., 1999). Žarišče potresa je bilo v Krnskem pogorju na območju Lepene v globini okoli 8 km. Največja intenziteta je bila ocenjena na VII. do VIII. stopnjo po evropski potresni lestvici (EMS-98). Potres je povzročil največ škode v Drežniškem kotu, Bovški kotlini in v Lepeni, čutili pa so ga prebivalci celotne Slovenije in še devetih drugih držav (Gosar in sod., 1999).

## Učinki potresa na naravno okolje

Potres je poleg velike škode na zgradbah povzročil tudi velike spremembe v naravi. V visokogorju se je sprožilo več podorov, v nižjih predelih pa zemeljski plazovi. Največji podori so nastali na Velikem Lemežu, Osojnici, grebenu Krn-Krnčica (Srednji vrh) in Lipniku (Vidrih in Ribičič, 1999). Pogreznil se je tudi 100 m dolg odsek južne obale Bohinjkega jezera, ki je od žarišča potresa oddaljeno 15 km.

Nova evropska potresna lestvica (European Macroseismic Scale – EMS-98) upošteva pri določitvi intenzitete štiri kategorije: učinke na ljudi, predmete, zgradbe in naravno okolje (Grünthal, 1998). Njena bistvena sestavina je statistično obravnavanje zbranih podatkov, kar je možno predvsem pri učinkih na ljudi, predmete in zgradbe, pri naravnem okolju pa je vzorec opazovanih pojavov običajno premajhen, njihovi vzroki pa preveč kompleksni. EMS-98 obravnava štiri vrste učinkov na naravno okolje: hidrološke učinke, učinke na pobočja (podori in plazovi), učinke na ravna tla (razpoke) ter kompleksne primere (plazovi s hidrološkimi vzroki, likvefakcija).

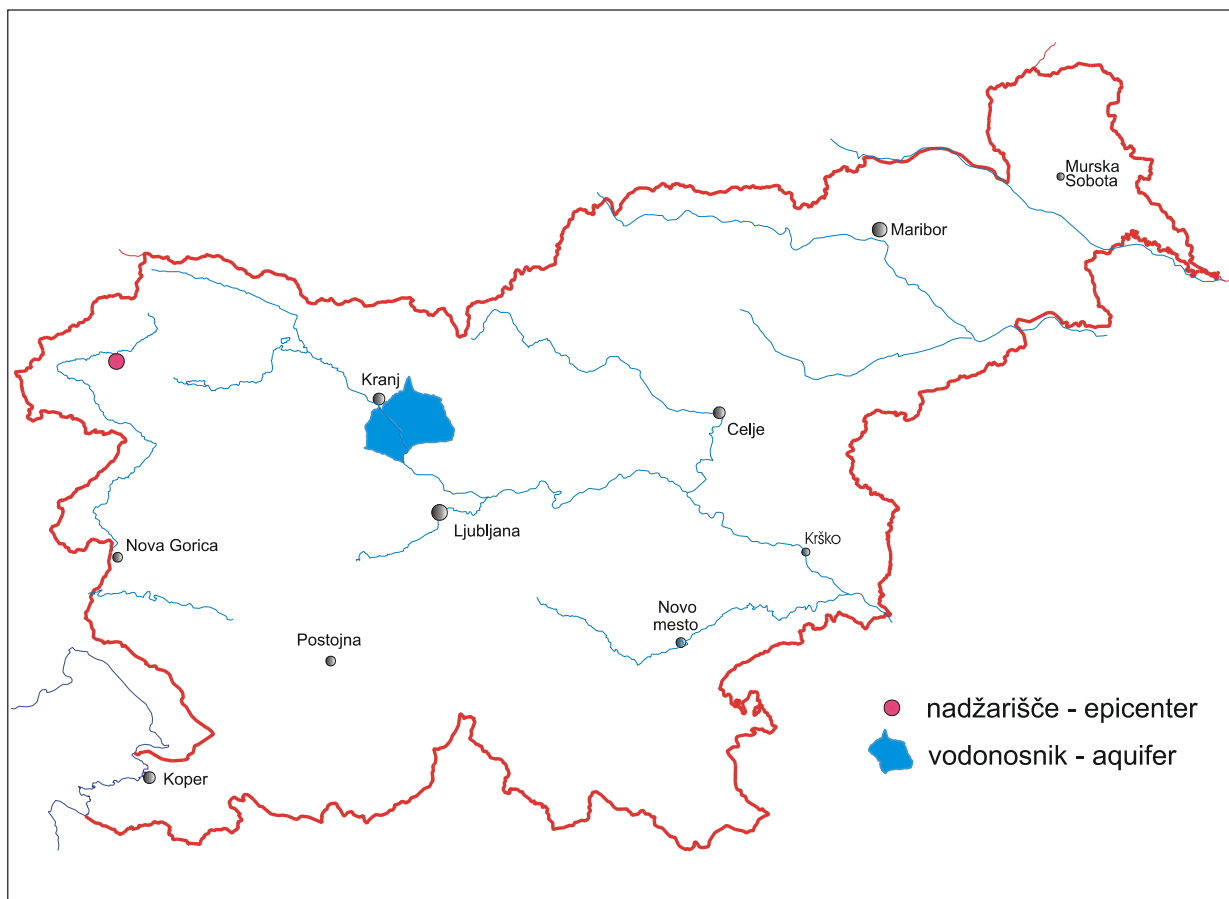
Posebnost krnskega potresa je, da je bilo njegovo nadžarišče na goratem, nenaseljenem območju. Zgodil se je tudi v času, ko zaradi izredno slabega vremena in visokega snega na najožjem nadžariščnem območju ni bilo nikogar. Zelo redko posejane, izolirane zgradbe v Krnskem pogorju (planinski stanovi in kočje) so le malo uporabne za opredelitev intenzitete, saj statistično vrednotenje podatkov ni možno. Zaradi tega je bilo zanimivo analizirati številne učinke na naravno okolje, ne toliko za določitev intenzitete, ampak za primerjavo z intenziteto, ocenjeno v najbližjih naseljih (Gosar in Zupančič, 1999). Evropska potresna lestvica namreč jasno določa, da se lahko podatki o učinkih na naravno okolje praviloma uporabljajo le v povezavi s še ostalimi tremi vrstami makroseizmičnih podatkov. V Krnskem pogorju se opazovani učinki na naravno okolje ujemajo z največjo ocenjeno intenziteto VII. do VIII. stopnje po EMS-98 (Gosar in sod., 1999).

## Učinki potresa na višino gladine podzemne vode

Gladina podzemne vode je eden osnovnih pokazateljev okolja, ki ga v največjih slovenskih aluvijalnih vodonosnikih spremljamo že več desetletij. Spremembe višine gladine podzemne vode zvezno zapisujejo limnigrafi z natančnostjo  $\pm 1$  centimeter. Časovna skala (12 mm = 1 dan) je prilagojena na hitrost infiltracijskih procesov v odprtih vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo. Kljub omejenim omejitvam merilne opreme so obpotresne spremembe višine gladine podzemne vode 12. aprila 1998 zaznali štirje piezometri državne mreže Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije, razporejeni od Britofa pri Kranju na severu do

\* mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Vojkova 1 b, Ljubljana

\*\* dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana



Slika 1. Območje učinkov potresa na gladino podzemne vode  
Figure 1. Area of groundwater anomalies associated with the earthquake

naselja Moše ob Savi na južnem delu Kranjskega polja. Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju je vplival na višine gladine podzemne vode v odprtem vodonosniku z medzrnsko poroznostjo Sorškega in Kranjskega polja, ki leži okoli 60 kilometrov vzhodno od nadžarišča (slika 1). Gladina podzemne vode je v teh vodonosnikih povprečno na globini od 6,5 (S-3667 Drulovka) do 25,4 metra (V-2079 Moše). Običajne spremembe višine gladine vode v daljšem opazovanem obdobju so v razponu od 1,6 (V-2079 Moše) do 4,6 metra (S-3364 Britof). Na limnigramu piezometra S-3667 Drulovka (slika 2) je bila 12. aprila 1998 zaznana anomalija z amplitudo 82 centimetrov (slika 4 a), piezometra S-3364 Britof 61 centimetrov (slika 4 b), piezometra S-3567 Breg (slika 3) 44 centimetrov (slika 4 c) in piezometra V-2079 Moše 23 centimetrov (slika 4 č). Po anomaliji, ki je spremljala glavni potresni sunek se je višina gladine podzemne vode ustalila v vseh štirih piezometrih na nekoliko drugačni ravni kot je bila pred potresom. V piezometrih Sorškega polja (Britof, Moše) se je gladina zvišala, v piezometrih Kranjskega polja (Drulovka, Breg) pa znižala. Kakšne druge pred- ali popotresne spremembe višine gladine podzemne vode niso bile zaznane oz. so v mejah ozadja.

Na vseh ostalih limnigramih državne mreže opazovanja višine gladine podzemne vode Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije nismo zaznali nobenih obpotresnih sprememb.

## Hidrološki učinki in intenziteta po evropski potresni lestvici

Pri hidroloških učinkih opisuje evropska potresna lestvica sedem učinkov (preglednica 1). Za vsak učinek določa območje, ki je najbolj uporabno za določanje intenzitete (diagnostičen pojav), območje, za katerega je učinek tipičen, in še razširjeno območje možnega pojava učinka (Grünthal, 1998).

Po preglednici 1 so bistvene spremembe višine gladine podzemne vode (za manjše spremembe se štejejo tiste, ki jih lahko zaznamo le instrumentalno) značilne za območje od VI. do VIII. stopnje po EMS-98. Na območju Sorškega in Kranjskega polja, ki je od nadžarišča potresa oddaljeno kar 60 km, je bila na podlagi analize odgovorov na vprašalnike intenziteta ocenjena na V. stopnjo po EMS-98 (Cecic in sod., 1999). Opisani hidrološki učinki so se torej pojavili pri intenziteti, manjši za najmanj eno stopnjo, kot pa predvideva evropska potresna lestvica.

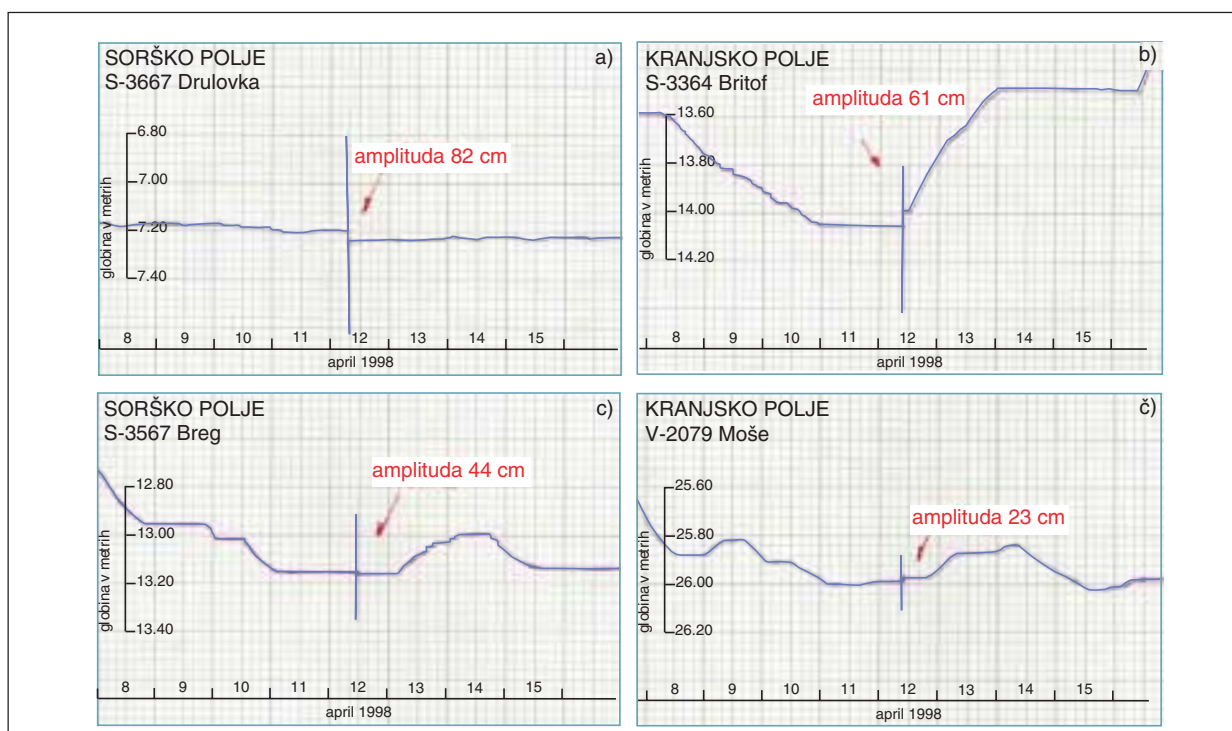
Pregledali smo tudi zapise limnigrafov in drugih meritev višine gladine podzemne vode na nekaterih drugih območjih (dolin Vipave in Soče, Ljubljansko polje in barje, Spodnja Savinjska dolina) vendar podobnih pojavov nismo opazili. Vzrok za znatno nihanje gladine podzemne vode na Sorškem in Kranjskem polju bi lahko bila resonanca, ki se pojavi, kadar je lastna frekvenca vodonosnika blizu frekven-



Slika 2. Merilno mesto višine gladine podzemne vode S-3667 Drulovka (arhiv HMZ)  
Figure 2. Groundwater level observation station S-3667 Drulovka (courtesy of HMZ)



Slika 3. Merilno mesto višine gladine podzemne vode S-3567 Breg (arhiv HMZ)  
Figure 3. Groundwater level observation station S-3567 Breg (courtesy of HMZ)



Slika 4. Učinki potresa v Posočju na višino gladine podzemne vode na Sorškem in Kranjskem polju (arhiv HMZ)  
Figure 4. Groundwater anomalies associated with the Posočje earthquake (archives of HMZ)



Preglednica 1. Povezava hidroloških učinkov in intenzitete po evropski potresni lestvici (EMS-98) (Grünthal, 1998)  
 Table 1. Relation between hydrological effects and intensity according to the European Macroseismic Scale (EMS-98)

vrsta hidroloških učinkov <i>Type of hydrological effects</i>	intenziteta - intensity											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
manjše sprem. višine vode v vodnjakih <i>minor changes of well water level</i>	●	●	○	○	○	○						
znatne sprem. višine vode v vodnjakih <i>substantial changes of well water level</i>						●	●	●				
dolga periodni valovi na stoječi vodi <i>long period waves on standing water</i>												
valovi na stoječi vodi <i>waves on standing water</i>						●	●	●				
kaljenje vode v jezerih <i>lake water made turbid</i>							○	○	○			
spremenjen pretok izvirov <i>flow of springs affected</i>					○	●	●					
začasna presahnitev izvirov <i>springs stop and start</i>							●	●	●			
voda izvržena iz jezera <i>water thrown from lakes</i>												

- območje, ki je najbolj uporabno za določanje intenzitete - *most useful range as intensity diagnostic*  
 ○—○ prav tako tipične intenzitete za ta učinek - *intensities also typical for this effect*  
 ---- območje možnega pojava učinkov - *possible observation range*

ci potresnih valov, kar je odvisno od geološke zgradbe sedimentnega bazena. Lastne frekvence vodonosnika na žalost ne poznamo in je tudi ni možno preprosto oceniti. Zaradi majhne hitrosti vrtenja valja limnigrafa (0,5 mm/h) in debeline črte, ki jo zapisuje, tudi ni možno opredeliti periode nihaja iz limnigramov. Pojav resonance je zato lahko le domneva. Z razliko v lastni frekvenci vodonosnika bi sicer lahko pojasnili, zakaj se je pri podobni intenziteti ponekod pojavilo nihanje gladine, drugod pa ne.

Potres 12. aprila 1998 je imel tudi nekatere druge hidrološke učinke. Na Bohinjskem jezeru in zbiralnem jezeru pri Mostu na Soči je gladina vzvalovala. Limnigrafi sicer teh nihanj niso mogli zaznati, zato se lahko opremo le na redka poročila očitvev. Po EMS-98 je pojav valov na stoječi vodi značilen za intenzitetno območje od VI. do VIII. stopnje, kar se ujema z drugimi makroseizmičnimi podatki (Cecić in sod., 1999).

Uprava RS za geofiziko je takoj po potresu poslala makroseizmične vprašalnike vsem aktivnim prostovoljnimi opazovalcem v Sloveniji (več kot 4300). Vrnjenih je bilo več kot 2900 vprašalnikov (Cecić in sod., 1999). V vprašalniku sta dve vprašanji o hidroloških učinkih: Je bilo opaziti spremembe v studencih in vodnjakih?; So se pojavili valovi na večjih vodnih površinah? Enaintrideset opazovalcev je kot

odgovor na prvo vprašanje obkrožilo rubriko, da se je spremenila višina vode v vodnjaku, 25 iz Posočja, štirje iz Bohinjskega kota ter po eden iz Podnarta in Javorniškega rova. Nihče ni pojava podrobneje opisal, le nekateri so omenili spremembo barve vode. Dva opazovalca iz Soče in Bovca sta obkrožila odgovor, da je izvir presahnil ali pa da je nastal nov izvir, vendar podrobnosti nista opisala.

Veliko poročil se je nanašalo na spremembo barve nekaterih vodotokov, predvsem Lepence in Tolminke, vendar ob potresu ni bilo v bližini izvirov nikogar, ki bi lahko potrdil, da se je voda obarvala že tam. V Lepeni je rjavo obarvanost povzročil orjaški podor z Velikega Lemeža, ki je delno zasul strugo, zato je bila voda obarvana še več tednov po potresu. Tudi za Tolminko so nekateri poročali o rdeči barvi vode, vendar pojava ni možno tako preprosto pojasniti. Kljub ogromnemu podoru celotnega jugovzhodnega pobočja Osojnice, se je do struge privalilo le nekaj večjih skal. Tudi ponekod drugod v bližini struge Tolminke so bili podori ali usadi le manjši (Mikoš in Fazarinc, 1999). Vprašanje, ali se je Tolminka ob potresu obarvala že ob izviro ali šele vzdolž toka, ostaja zato zaenkrat odprto. Avtorja se priporočata za kakršnekoli podatke morebitnih očitvev. Podatkov o spremenjenem pretoku večjih izvirov, ki je značilnost intenzitete potresa nad VI. stopnjo, ni. Tudi tu otežuje vrednotenje red-

kih podatkov dejstvo, da je bilo ob potresu in še cel naslednji dan zelo slabo vreme z veliko padavinami in velikimi pretoki potokov.

## Sklep

Rezultati vrste raziskav v zadnjih letih ne pojasnjujejo v celoti in enovito vseh mehanizmov pred- in popotresnih sprememb višine gladine podzemne vode. Ključni element njihovega pojasnjevanja najpogosteje ostaja skrit v heterogenosti geoloških struktur v okolici opazovalnih objektov. Merilo limnografskih zapisov ne omogoča podrobnejše analize učinkov potresa na višino gladine podzemne vode, ki bi lahko prispevala k interpretaciji pojavnosti. Nedvomno pa spremembe v višini gladine podzemne vode, ki smo jih zaznali na Kranjskem in Sorškem polju ob potresu 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju, odpirajo razmišljanje o možnosti in potrebi uporabe hidrodinamskih metod pri seizmičnih študijah. To področje raziskav bi zahtevalo poseben program za povezavo državnega hidrološkega in seizmološkega opazovanja. Trenutno stanje in opremljenost hidrološke opazovalne mreže ne zadostujeta potrebam na tem področju.

## Literatura

1. Cević, I., Godec, M., Zupančič, P. in Dolenc, D., 1999. Macroseismic Effects of 12 April 1998 Krn, Slovenia, Earthquake: An Overview. XXII General Assembly of the IUGG, Birmingham
2. Gosar, A., Živčič, M., Cević, I., Zupančič, P., 1999. Potres 12. aprila 1998 z žariščem v Krnskem pogorju. Ujma 13 (ta številka)
3. Gosar, A., Zupančič, P., 1999. Effects of the 12 april 1998 Krn, Slovenia, Earthquake (M<sub>w</sub>=6.0) on Natural Surroundings and their Intensity-related Distribution. XXII General Assembly of the IUGG, Birmingham
4. Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 pp
5. Ingebritsen, S.E., Sanford, W.E., 1998 Groundwater in Geological Processes. – 341 pp., Cambridge University Press
6. Mikoš, M., Fazarinc, R., 1999: Zemeljski plazovi kot vir plavin – primer Tolminke in Lepence po potresu leta 1998. 3. slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, 11 str.
7. Roeloffs, E. in sod., 1995, Hydrological Effects Associated with the June 28, 1992 Landers, California Earthquake Sequence. U.S. Geological Survey Open-File Report 95-42
8. Rojstaczer, S.A. (ur.), 1994, The Loma Prieta, California Earthquake of October 17, 1989 – Hydrological Disturbances. U.S. Geological Survey Professional Paper 1551-E
9. Vidrih, R., Ribičič, M., 1999. Porušitve naravnega ravnotežja v hribih ob potresu v Posočju 12. Aprila 1998 in evropska makroseizmična lestvica. Geologija, 41, 365–410
10. Zupančič, P., Cević, I., Gosar, A., Poljak, M. in Živčič, M., 1999. Nekatere seizmološke in geološke značilnosti potresa 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju. Geološki zbornik, 14. posvetovanje slovenskih geologov, Povzetki referatov, 14, 58–59