

PREGLED TRILETNIH OPAZOVANJ POTRESNE DEJAVNOSTI NA KRŠKEM POLJU

Renato Vidrih* Majda Hržič** Peter Sinčič***

UDK 550.34 (497.12 Krško polje) "1993"

Na območju Krškega polja so strokovnjaki Seizmološkega zavoda Republike Slovenije postavili začasno prenosno potresno opazovalnico za spremljanje potresne dejavnosti okolice jedrske elektrarne Krško. V obdobju od 30. julija 1990 do 30. julija 1993 je bilo v potresni opazovalnici zabeleženih 50 potresov, katerih žarišča so nastala v oddaljenosti do 20 kilometrov od opazovalnice v Brezju pri Senušah. V članku obravnavamo potrese, ki smo jim lahko določili večino potresnih parametrov, dvajsetim pa smo instrumentalno določili tudi koordinate. Najmočnejši potres je nastal 3. marca 1993 z epicentrom na območju Rake, kjer je dosegel največje učinke V stopnje po MSK-lestvici. Njegova magnituda je bila 3,2. Kljub temu da so potresi večinoma šibki, dokazujejo, da je območje Krškega polja seizmično dejavno, občasno pa lahko nastanejo tudi močnejši potresi.

Potresna opazovalnica v Brezju pri Senušah

Po vrsti potresov na Krškem polju (5), ki je trajala od 28. decembra 1989 do 23. aprila 1990 in smo jo spremljali tudi z začasno potresno opazovalnico, ki je delovala od 5. januarja 1990 do 23. aprila 1990 v lovski koči na Trški gori, smo začasno prenosno opazovalnico premestili v Brezje pri Senušah. Glavni razlog za premestitev so bile motnje v spomladanskem in poletnem času, saj je lovška koča postavljena tudi za turistične namene. Potresna opazovalnica v Brezju pri Senušah deluje od 30. julija 1990 dalje, v hiši družine Rep št. 12 a. Seizmograf v opazovalnici beleži potrese od tega datuma dalje neprekinjeno in čaka na zamenjavo s sodobno seizmološko mrežo okoli Krškega polja, ki je predvidena že dlje časa in bi znanje o potresni dejavnosti tega območja bistveno obogatila.

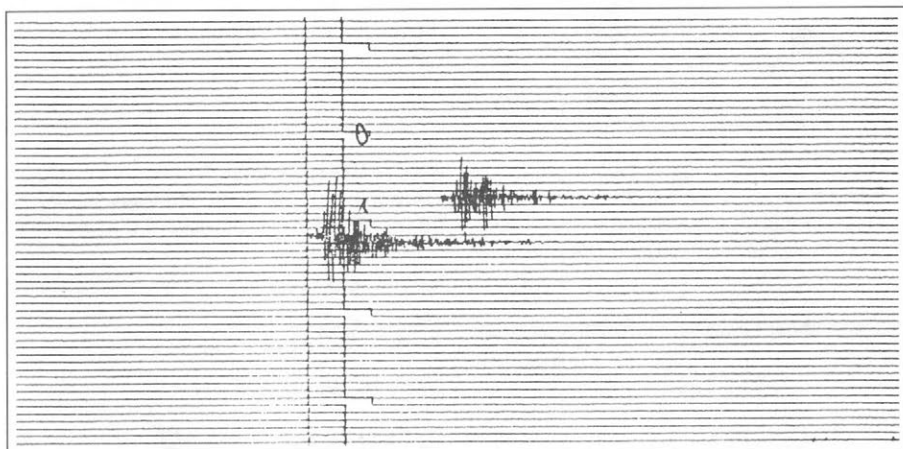
Prenosno potresno opazovalnico sestavljajo seizmometer tipa Vegik, registrator Kinematics PS 2, usmernik RLU 30/10 in elektronska ura UK 03 z dolgovalovnim sprejemnikom DS 02.

Rezultati stalnega spremljanja potresne dejavnosti

Nujnost spremljanja potresne dejavnosti Krškega polja nam je dokazala že serija potresov pozimi in spomladi 1989/90. Z začasno opazovalnico smo zabeležili

blizu 60 potresnih sunkov, od katerih bi bil marsikateri izgubljen, če te opazovalnice ne bi bilo. Zato smo se odločili to delo nadaljevati, in v triletnem pregledu potresne dejavnosti vidimo, da povsem utemeljeno in koristno. Na opazovalnici je bilo od 30. julija 1990 do 30. julija 1993 zabeleženih prek 80 naravnih pojavov in umetno povzročenih eksplozij (1, 2, 3, 4). Od teh obravnavamo tu le 50 zapisov, za katere smo prepričani, da so bili potresi in nam je zanje uspelo izračunati potresne parametre. V preglednici 1 navajamo vse te potrese, ki so presegli magnitudo $M_d \geq 1,0$. Poleg datuma navajamo čas nastanka, ki je označen s črko V ali Ž. V pomeni vstopni čas primarnih valov v potresni opazovalnici, ki je potres najbolje zabeležila, Ž pa pomeni žariščni čas, torej

izračunani čas, ob katerem je v žarišču prišlo do potresa. V preglednici podajamo še oddaljenost epicentra potresa od opazovalnice (v kilometrih) in, če je bilo mogoče izračunati, tudi instrumentalno določene koordinate epicentra, globino žarišča in magnitudo. Če so potres čutili prebivalci, na koncu navajamo še intenziteto. Večina obravnavanih potresov bi bila izgubljena, če ne bi bilo prenosne potresne opazovalnice, saj so bili večinoma prešibki, da bi jih zaznala katerakoli stalna potresna opazovalnica (slika 1). Redki med njimi so bili zabeleženi v observatoriju Seizmološkega zavoda na Golovcu v Ljubljani, ki je od Krškega oddaljen prek 70 kilometrov, v potresni opazovalnici v Bojancih v Beli krajini, ki je oddaljena več kot 50 kilometrov, v opazovalnici pri



Slika 1. Zapis potresov 16. avgusta 1991 ob 0. uri 40 minut in 1. uri 10 minut na seizmografu potresne opazovalnice v Brezjah pri Senušah. Taki potresni sunki so bili zabeleženi le na tej opazovalnici, sicer bi bili izgubljeni.

Figure 1. Seismogram of August 16, 1991, with earthquakes occurring at 0.40 and 1.10 UTC and recorded on the seismograph in Brezje by Senuše. Such earthquakes were recorded only in this seismological station, otherwise they would have been lost.

*Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Pot na Golovec 25, Ljubljana,

**Ministrstvo za okolje in prostor, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Pot na Golovec 25, Ljubljana,

***Ministrstvo za okolje in prostor, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Pot na Golovec 25, Ljubljana.

Preglednica 1: Pregled potresov, ki so nastali na območju Krškega polja in bližnje okolice v obdobju od 30. julija 1990 do 30. julija 1993 in smo jim uspeli izračunati večino potresnih parametrov.

Table 1: List of earthquakes with epicenters in Krško polje area from July 30, 1990 to July 30, 1993.

Zap. št.	Dan	Mes.	Leto		Vstopni ali žariščni čas			Od. km	Koordinati		Gl. km	M	I MSK
					ura	min.	sek.		°N	°E			
01	27	08	1990	V	16	48	43,7	6				2,0	
02	11	09	1990	V	18	32	08,3	10				1,8	
03	01	10	1990	V	02	28	57,5	4				1,3	
04	01	10	1990	V	04	18	22,0	4				1,1	
05	30	10	1990	V	14	40	37,8	15				1,3	
06	31	10	1990	Ž	22	13	09,3	19	45,96	15,57	10	2,8	IV-V
07	31	10	1990	Ž	22	13	10,8		46,02	15,60	1	?	čutili III-IV
08	04	11	1990	V	03	23	29,1	8				1,2	
09	16	11	1990	V	13	52	04,8	16				1,9	
10	03	12	1990	Ž	13	08	25,8	7	45,95	15,53	4	2,2	
11	21	12	1990	V	13	56	23,4	8				1,9	
12	22	12	1990	Ž	15	06	03,6	8	45,97	15,50	6	2,7	IV
13	13	02	1991	Ž	19	04	52,8	9	45,92	15,28	8	1,7	
14	15	02	1991	V	11	42	20,4	3				1,8	
15	14	03	1991	V	08	56	31	9				2,3	čutili IV-V
16	15	04	1991	Ž	20	50	08,7	9	45,93	15,50	9	2,4	
17	10	07	1991	V	14	08	08,7	14				1,4	
18	29	07	1991	V	15	12	25	9				1,5	
19	10	08	1991	V	09	53	43	8				1,1	
20	16	08	1991	Ž	00	27	45,4	8	45,96	15,49	5	2,9	IV
21	16	08	1991	Ž	00	40	09,0	8	45,96	15,44	0	2,2	
22	16	08	1991	Ž	01	10	00,3	8	45,96	15,48	2	2,4	
23	16	08	1991	V	15	51	48,6	5				1,5	
24	18	08	1991	V	03	38	17,8	7				1,5	
25	02	09	1991	V	14	02	46,9	8				2,1	
26	26	09	1991	Ž	03	41	19	19	46,10	15,21	13	2,0	
27	05	10	1991	V	14	52	06,5	9				2,4	
28	19	11	1991	V	08	55	24,9	16				2,2	
29	01	12	1991	Ž	10	54	32,3	10	45,92	15,62	9	2,6	
30	03	12	1991	V	11	01	40,3	7				1,8	
31	29	12	1991	V	14	20	26,3	5				1,1	
32	26	04	1992	Ž	23	51	51,9	16	45,97	15,30	10	2,7	
33	04	05	1992	V	04	09	34,9	5				2,2	
34	13	05	1992	Ž	10	42	53,7	7	45,97	15,44	2	2,3	
35	13	05	1992	V	14	37	43,9	7				1,6	
36	22	05	1992	Ž	00	16	03,1	17	45,99	15,31	13	2,4	III-IV
37	04	08	1992	Ž	23	04	53,3	15	46,04	15,37	2	2,3	
38	04	08	1992	V	23	05	30,4	15				1,6	
39	01	09	1992	Ž	11	52	33,0	10	45,97	15,31	15	2,3	
40	06	10	1992	V	03	49	32,5	10				2,2	
41	11	10	1992	V	21	02	55,5	10				1,8	
42	22	10	1992	V	10	37	33,0	5				1,9	
43	25	11	1992	V	23	31							čutili V
44	26	11	1992	Ž	03	27	17,8		45,90	15,52	2	2,3	
45	14	12	1992	Ž	19	26	25,0	14	45,92	15,32	7	2,2	
46	18	02	1993	V	02	38	34,8	14				1,2	
47	03	03	1993	Ž	19	17	43,6	8	45,97	15,40	6	3,2	V
48	03	03	1993	V	19	22	07,0	8				1,4	
49	10	03	1993	Ž	12	57	26,2		45,91	15,16	2	2,1	
50	22	03	1993	V	08	51	56,1	11				2,0	

Cerknici, ki je od Krškega oddaljena nad 80 kilometrov, in v hrvaških potresnih opazovalnicah, v Zagrebu in na Puntijarki, ki sta od Krškega oddaljeni prek 40 kilometrov.

dobje. Najdejavnejši mesec je bil avgust 1990 s šestimi potresi, najdejavnejše leto pa leto 1991 z devetnajstimi potresi.

Oddaljenost epicentrov potresov od opazovalnice

Glede na oddaljenost od potresne opazovalnice smo obravnavanih 50 potresov razdelili v razrede od 0 do 5 km, od 5 do 10 km, od 10 do 15 km in od 15 do 20 km.

Nekaterim potresom oddaljenosti nismo mogli določiti. Na opazovalnici je bilo zapisanih veliko potresov z večjo oddaljenostjo od 20 kilometrov, ker pa nas je zanimala predvsem potresna dejavnost Krškega polja in bližnje okolice, smo se odločili za zgornjo mejo oddaljenosti 20 kilometrov. Največ potresov je nastalo v oddaljenosti 5 do 10 km, najmanj pa v neposredni bližini potresne opazovalnice v Brezju. Petnajst potresnih sunkov je nastalo v oddaljenosti 10 do 20 km od opazovalnice (slika 3).

Ker z eno samo opazovalnico ne moremo določiti smeri nastanka potresa, pomenijo te oddaljenosti radij okoli opazovalnice. Za večino potresov ne vemo, v kateri smeri od opazovalnice so nastali. Dvaj-

Pogostost potresov

Slika 2 kaže porazdelitev 50 obravnavanih potresov po mesecih od 30. julija 1990 do 30. julija 1993. Neprekinjeno opazovanje se je začelo 30. julija 1990 na lokaciji v Brezju pri Senušah. Zaradi boljše preglednosti smo izbrali triletno ob-

setim potresom smo uspeli izračunati mikroseizmični koordinati, in so prikazani na sliki 4. Vidimo, da so bili ti potresi severno in severozahodno od Krškega med koordinatami 15,25 in 15,65 E ter 45,90 in 46,00 N.

Magnitude potresov

Potresom smo določili magnitude iz časovne dolžine zapisov. To je magnituda M_d in jo izračunamo iz formule:

$$M_d = 1,80 \log (td) - 0,3$$

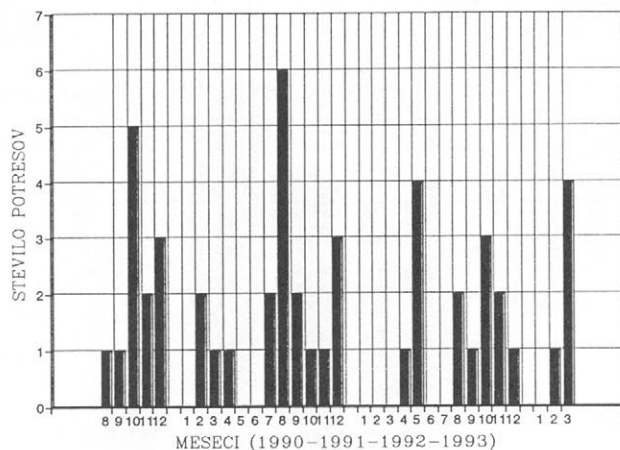
td pomeni časovno dolžino zapisa potresa v sekundah.

Velikosti magnitude, izračunane po tej formuli, so nekoliko večje od vrednosti, ki jih dobimo z izračunom s pomočjo največjega odklona tal v določeni smeri. Glede na objektivne težave določanja magnitude zelo šibkih lokalnih potresov, uporabljamo tako izračunane magnitude predvsem zaradi relativne primerjave med posameznimi potresi. Slika 5 prikazuje razpored potresov po magnitudnih razredih. V magnitudnem razredu do 1. stopnje po Richterjevi lestvici potresov zaradi šibkosti nismo upoštevali. 12 potresov je doseglo magnitudo med 1,1 in 1,5 stopnje, 13 potresov je bilo v magnitudnem razredu med 1,6 in 2,0 stopnji. Največ potresov, 17, je imelo magnitudo med 2,1 in 2,5 stopnje. V magnitudnem razredu med 2,6 in 3,0 stopnje po Richterjevi lestvici je bilo 5 sunkov. Le en potres je dosegel magnitudo 3,2 stopnje po Richterjevi lestvici. To je bil hkrati tudi potres, ki je v obravnavanem triletnem obdobju dosegel največjo intenziteto na tem območju, to je V. stopnjo po MSK.

Odvisnost med magnitudami in oddaljenostmi potresov

Slika 6 kaže shematski prikaz odvisnosti magnitud potresov od oddaljenosti od potresne opazovalnice v Brezju. Vidimo, da ne gre za nikakršno povezanost med obema potresnima parametroma v primeru lokalnih potresov. V večji oddaljenosti pa so zabeleženi le tisti potresni sunki, katerih magnituda je presegla 2,0 stopnji po Richterjevi lestvici. Glavni namen terenske potresne opazovalnice je predvsem zajemanje potresne dejavnosti na manjšem območju, v tem primeru na Krškem polju in ožji okolici.

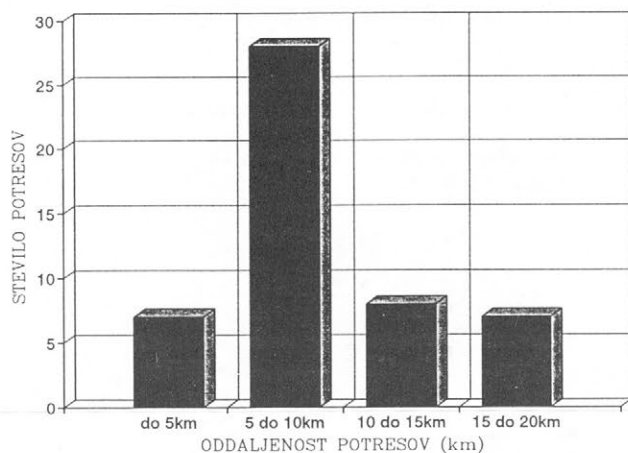
POGOSTOST POTRESOV



Slika 2. Razporeditev potresov po mesecih in letih. Odločili smo se za pregled potresne dejavnosti v triletnem obdobju med 30. julijem 1990 in 30. julijem 1993.

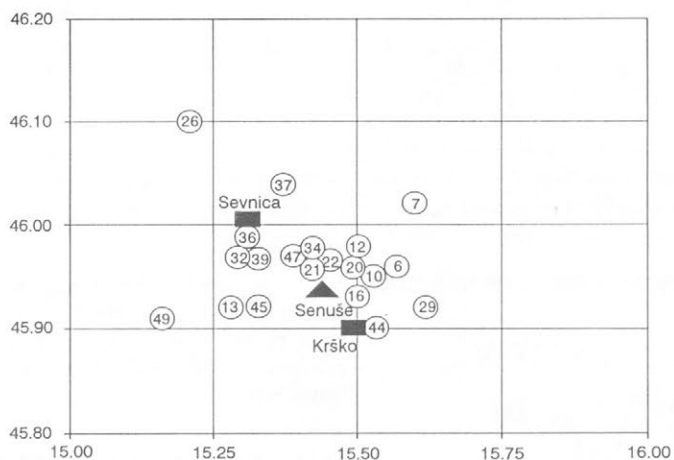
Figure 2. Distribution of earthquakes during a three-year period from July 30, 1990 to July 30, 1993.

ODDALJENOST POTRESOV



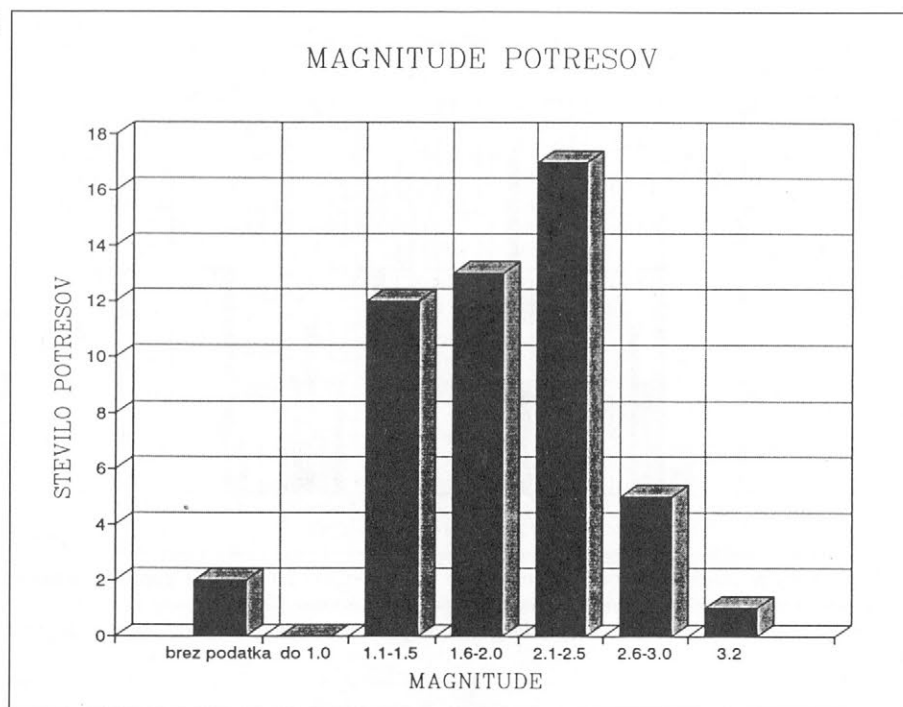
Slika 3. Po oddaljenosti od potresne opazovalnice v Brezjah pri Senušah smo potrese razdelili v več razredov.

Figure 3. Classification of earthquakes according to four classes of distance.



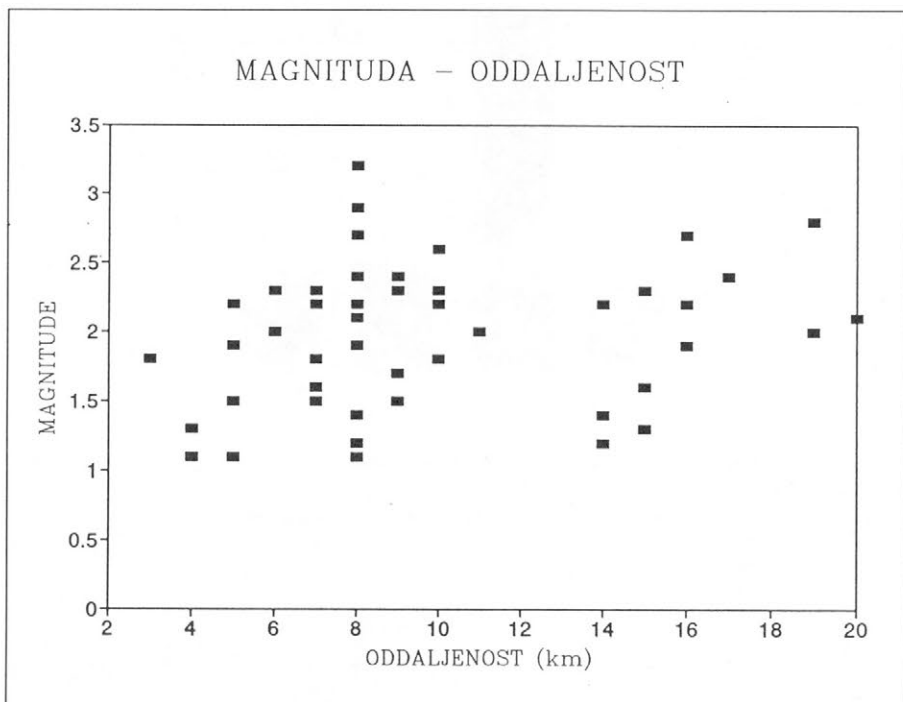
Slika 4. Pregled potresov v okolici potresne opazovalnice v Brezjah pri Senušah z izračunanimi koordinatami. Številke v krogcih pomenijo zaporedno številko potresa v preglednici 1.

Figure 4. Review of earthquakes in the vicinity of the seismological station in Brezje by Senuše with calculated coordinates. Circled numbers correspond successively to those in Table 1.



Slika 5. Porazdelitev potresov po magnitudnih razredih.

Figure 5. Classification of earthquakes according to seven classes of magnitude.



Slika 6. Odvisnost med magnitudami potresov in oddaljenostjo od opazovalnice.

Figure 6. Magnitudes plotted against distances from the seismological station.

Potresni sunki, ki so jih čutili prebivalci

Kljub temu da je bila večina potresnih sunkov šibka, so nekatere čutili tudi prebivalci v posameznih naseljih na Krškem polju in v okolici (6). Pri pregledu nava-

jamo Md magnitude, medtem ko so v drugih člankih o potresih v Ujmi magnitude izračunane s pomočjo največjega odklona tal (M). Vsi omenjeni potresi so navedeni v preglednici 1.

Potres 27. avgusta 1990

Ob 16. uri in 48 minut po UTC je nastal šibek potresni sunek z magnitudo 2,0. Epicenter je nastal v oddaljenosti 6 km od potresne opazovalnice v Brezju pri Senušah. Potresni sunek so čutili le redki

prebivalci Krškega, stopnje pa nismo uspeli določiti.

Potres 11. septembra 1990

Ob 18. uri in 32 minut je nastal v oddaljenosti 10 km od potresne opazovalnice šibek potresni sunek z magnitudo 1,8. Tudi ta potres so čutili le posamezniki v Krškem, kjer je dosegel največjo intenziteto III. stopnje po MSK-lestvici.

Potresa 31. oktobra 1990

Ob 22. uri in 13 minut sta si sledila dva potresna sunka iz oddaljenosti 19 km od opazovalnice. Prvi, močnejši je imel magnitudo 2,8 in je dosegel največje učinke med IV. in V. stopnjo po MSK-lestvici na območju Kozjega. Potres so čutili tudi v Krškem, Brežicah, Brestanici, Pilštajnu, Podčetrtku, Rogatcu, Senovem in Šentjurju pri Celju. Drugi je bil šibkejši in prekrit s prvim, vendar so ga posamezniki v Kozjem čutili.

Potres 4. novembra 1990

Potres z majhno močjo 1,2 stopnje po Richterjevi lestvici je nastal v oddaljenosti 8 km od opazovalnice ob 3. uri in 23 minut po UTC. Potresni sunek z intenziteto med III. in IV. stopnjo po MSK-lestvici so čutili posamezniki v Krškem.

Potres 22. decembra 1990

Ob 15. uri in 6 minut po UTC se je 8 km od opazovalnice na območju Krškega ponovno streslo. Potres z močjo 2,7 stopnje po Richterjevi lestvici je dosegel največje učinke IV. stopnje po MSK-lestvici v Krškem.

Potres 14. marca 1991

Ob 8. uri in 56 minut je nastal potres z magnitudo 2,3. Šibko tresenje nedoločljive intenzitete so čutili posamezniki v Krškem in Cerkljah.

Potres 15. aprila 1991

9 km od potresne opazovalnice je nastal potres ob 20. uri in 50 minut. Njegova magnituda je bila 2,4. Najbolj so ga čutili prebivalci Brezja, Senuš in Leskovca, kjer je dosegel največje učinke med IV. in V. stopnjo po MSK.

Potres 16. avgusta 1991

Potres je nastal ob 0. uri 27 minut v oddaljenosti 8 km od opazovalnice. Imel je magnitudo 2,9. Učinke IV. stopnje po MSK-lestvici je dosegel v Krškem, Narplu, Libni, Leskovcu, Velikem Podlogu. Nekoliko šibkeje so ga čutili prebivalci Artič in Cerkelj. Zapis potresa na terenski potresni opazovalnici v Brezjah pri Senušah je prikazan na sliki 7.

Potres 22. maja 1992

Potres z magnitudo 2,6 je nastal ob 0. uri in 16 minut v oddaljenosti 17 km od opazovalnice. Učinke med III. in IV. stopnjo po MSK lestvici je dosegel v Prapretnem pri Planini pri Sevnici in na Jermanovem vrhu pri Škocjanu.

Potres 25. novembra 1992

Šibek potresni sunek je nastal ob 23. uri in 31 minut. Prebivalci Cerkelj so slišali bobnenje, čutili pa so tudi rahlo tresenje tal.

Potres 26. novembra 1992

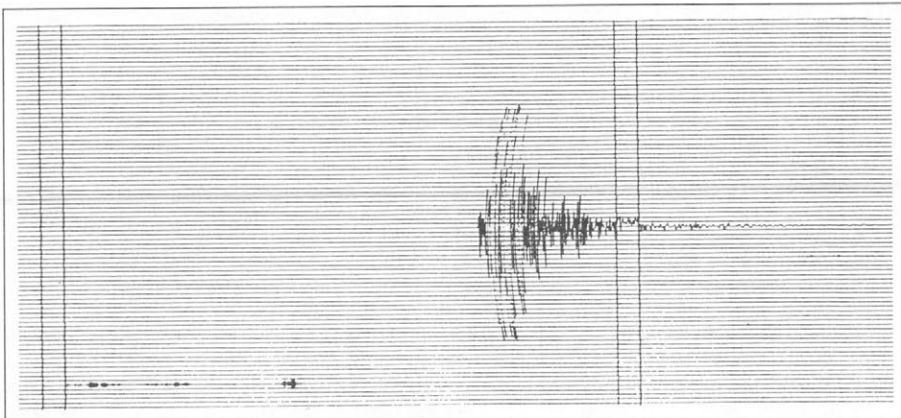
Ob 3. uri in 27 minut je nastal potresni sunek na območju Cerkelj z magnitudo 2,3. Učinki V. stopnje po MSK-lestvici so povzročili precejšen preplah med prebivalstvom pa tudi manjše razpoke na fasadah in ploščicah. Bobnenje, ki je potres spremljalo, je prebudilo veliko prebivalcev Cerkelj.

Potres 3. marca 1993

Ob 19. uri in 17 minut je potres z magnitudo 3,2 v oddaljenosti 8 km od opazovalnice prestrašil prebivalce velikega predela Dolenjske (6). Največje učinke V. stopnje po MSK-lestvici je dosegel v Krškem, Leskovcu, Raki, Brezjah, Senušah, kjer je ponekod odpadel omet, posamezniki so zapuščali stanovanja. Podobni učinki so bili tudi v Bučki in Raduljah. Potres je spremljalo tudi bobnenje.

Zaključek

Triletno beleženje potresov na Krškem polju s prenosno terensko potresno opazovalnico je pokazalo, da je to območje potresno dejavno. Prevladujejo šibki potresni sunki, ki pa so dovolj pomembni za študij in poznavanje seizmičnosti določenega območja. Če tu ne bi bilo potresne opazovalnice, večjega dela obravnavanih potresov ne bi zabeležili, saj so vse druge slovenske potresne opazovalnice (pa tudi hrvaške) predaleč, da bi spremljale šibke potrese na Krškem polju. Vidimo tudi, da se v sorazmerno kratkem času tu ponavljajo srednje močni potresi, ki povzročajo predvsem paniko in redkeje manjšo gmotno škodo. Vse to kaže, da je mreža potresnih opazovalnic na Krškem polju nujno potrebna, saj bi omogočila bistveno boljše spremljanje potresne dejavnosti in boljše vrednotenje seizmoloških in seizmotektonskih značilnosti tega prostora pa tudi boljše obveščanje javnosti o potresih.



Slika 7. Zapis potresa dne 16. avgusta 1991 ob 0. uri 27 minut po UTC na terenski potresni opazovalnici v Brezjah pri Senušah.

Figure 7. Seismogram of August 16, 1991, with an earthquake occurring at 0.27 UTC and recorded on a portable seismograph in Brezje by Senušah.

1. Hržič, M., I. Ceci, M. Deterding, R. Vidrih, M. Živčič, M. Klebel, 1990. Preliminary seismological bulletin. No. 14-24. Seismological Survey, Republic of Slovenia, Ljubljana.
2. Hržič, M., I. Ceci, M. Deterding, R. Vidrih, M. Živčič, M. Klebel, 1991. Preliminary seismological bulletin. No. 1-24. Seismological Survey, Republic of Slovenia, Ljubljana.
3. Hržič, M., I. Ceci, M. Deterding, R. Vidrih, M. Živčič, M. Klebel, 1992. Preliminary seismological bulletin. No. 1-24. Seismological Survey, Republic of Slovenia, Ljubljana.
4. Hržič, M., I. Ceci, M. Deterding, R. Vidrih, M. Živčič, M. Klebel, 1993. Preliminary seismological bulletin. No. 1-14. Seismological Survey, Republic of Slovenia, Ljubljana.
5. Vidrih, R., M. Godec, I. Ceci, M. Hržič, 1990. Serija potresov na Krškem polju od 28. 12. 1989 do 23. 4. 1990, str. 138. Seizmološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana.
6. Vidrih, R., I. Ceci, 1994. Potresi v Sloveniji v letu 1993. Ujma št. 8, Ljubljana.

Renato Vidrih, Majda Hržič,
Peter Sinčič

Krško Polje – Survey of the three-year observation period of seismic activities

In the area of Krško Polje, engineers of the Seismological Survey of Slovenia have installed a portable seismograph to monitor seismic activity in the vicinity of the Nuclear Power Plant. For the period from July 30, 1990, to July 30, 1993, fifty earthquakes were recorded within a 20km radius of the station in Brezje by Senušah. The article treats earthquakes for which most parameters could be determined.

Microseismic coordinates were calculated for twelve of them. The strongest earthquake occurred on March 3, 1993, ($M=3.2$) with its epicenter in the area of Raka, with highest intensity on MSK scale.

The distribution of earthquakes by months shows that August 1991, with 6 earthquakes, was the most active month. The largest number of earthquake occurred in the region within a 5 and 10km radius of the station. Earthquakes were mostly weak, most having magnitudes between 2.1 and 2.5 on the Richter scale. The portable seismograph is intended mainly to record local tremors, because at a distance of 20km, earthquakes of magnitudes greater than 2.0 on Richter scale can be recorded. Inhabitants felt 13 earthquakes, surveyed in Table 1.

On the basis of three-year recordings of seismic activity in the Krško polje area, although only with a portable seismograph, we can say that this area is seismically active. The majority of earthquakes recorded were weak, but they are still important enough in the study of local seismicity. Without the portable seismograph, most of the surveyed earthquakes would not have been recorded, because all other seismological stations are too far from the observed area to record weak tremors. We can see that in a relatively short time period, medium strength earthquakes occurred, causing above all panic among inhabitants, and only rarely material damage. It is confirmed that a seismic regional network is needed for better recording of seismic activity in area of Krško Polje that will allow better surveillance and assessment of seismic and seismotectonic characteristics of the area, thus enabling improved notification of the general public with respect to the earthquakes.