

GRADNJA POTRESNE OPAZOVALNICE

Peter Sinčič*, Renato Vidrih**

UDK 550.34.034 (497.12)

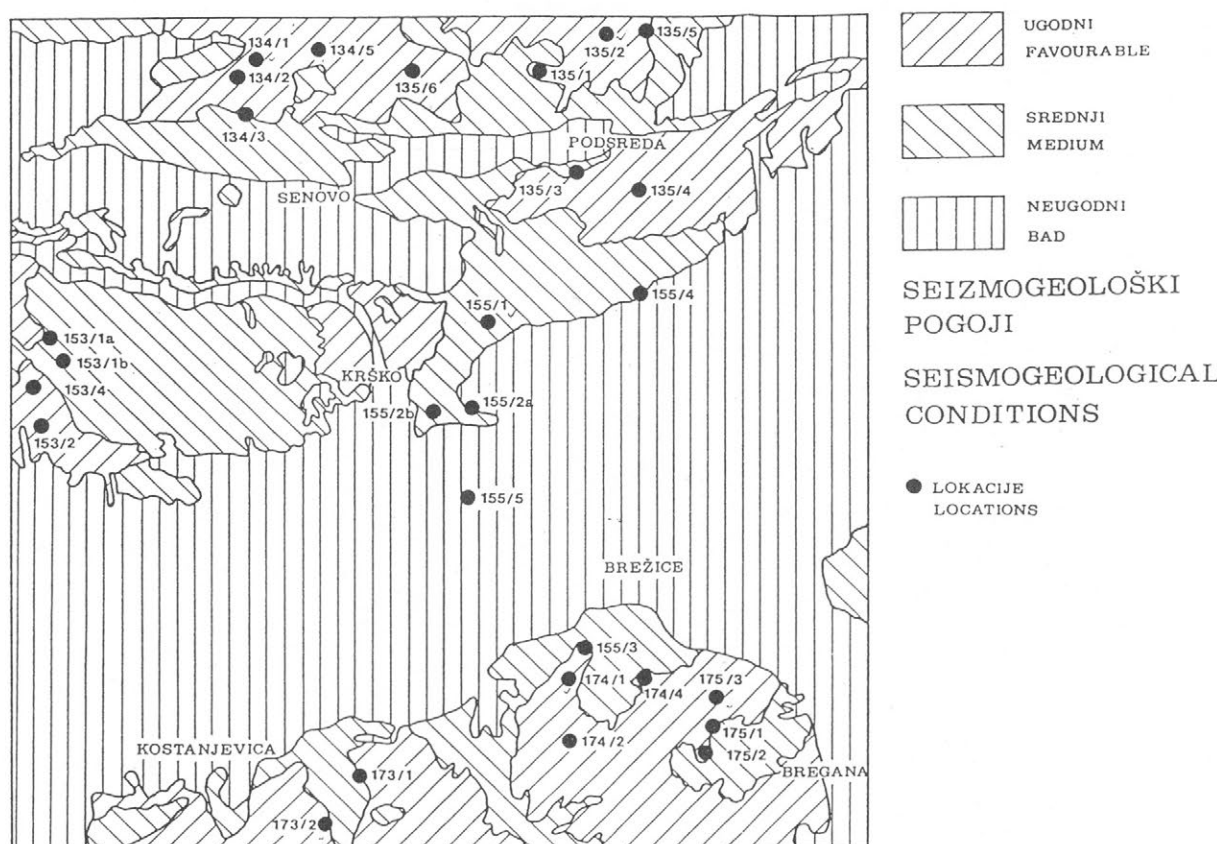
Za gradnjo potresne opazovalnice je treba izbrati primerno lokacijo. Na izbiro vplivajo geološka zgradba tal v širši okolici bodoče opazovalnice, oddaljenost lokacije od večjih urbaniziranih okolij, predvsem večjih naselij, prometnejših cest in železnic. Na lokaciji naredimo meritve seizmičnega nemira, ki nam dajo frekvenčno sliko šuma, na podlagi katere določimo nastavitve parametrov na seizmografih. Pri prvih dveh stalnih potresnih opazovalnicah Uprave Republike Slovenije za geofiziko (prej Seizmološki zavod Republike Slovenije) so seizmometri postavljeni v posebni sobi hiše na betonskih stebrih, ki imajo temelje na trdni podlagi. Kljub temu, da so ločeni od temeljev hiše, seizmometri zaznajo gibanje po hiši, ki povzroča motnje na seizmogramih. Pri gradnji naslednjih potresnih opazovalnic smo seizmometre postavili v jašek, ki je od hiše oddaljen več deset metrov. Zemljišče okrog jaška je ograjeno in s tem je večina motenj odstranjenih. Ostala seizmološka oprema je v bližnji hiši.

Vpliv zgradbe tal na izbiro lokacije

Med najpomembnejšimi pogoji za izbiro primerne lokacije je geološka zgradba tal širše okolice, predvsem pa mikrolokacije. Različne geološke podlage zelo različno vplivajo na pogoje izkoriščenosti potresne

opazovalnice. Čim boljša je geološka zgradba, večja je možna povečava seizmografov in s tem je omogočeno obsežnejše in boljše spremljanje potresne dejavnosti. Ponavadi že pred izbiro mikrolokacije iz geoloških kart ocenimo različno kvaliteto podlage v seizmogeološkem smislu. Na podlagi litološke sestave in fizikalno-mehanskih lastnosti lahko razdelimo kamnine v pet skupin:

- magmatske in metamorfne kamnine (npr. graniti, blestniki, gnajsi...)
- karbonatne kamnine (apnenci, dolomiti...)
- menjavanje klastičnih in karbonatnih kamnin (skrilačci, peščenjaki, apnenci...)
- klastične kamnine (skrilačci, laporji, konglomerati, breče...)
- nevezane kamnine (grušči, prodi, peski...).



Slika 1. Določitev seizmogeoloških pogojev za izbor lokacije na Krškem polju
Figure 1. Seismogeological foundation assesment of Krško polje

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

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

186 Ob tem pa moramo upoštevati še podtalno vodo (hidrološki pogoji), velikosti kotov nagibov terenov, nosilno zmogljivost zemljišča, stopnjo tektonske poškodovanosti, seizmoakustično impedanco ipd.

Na podlagi vseh omenjenih lastnosti razdelimo geološke podlage v tri skupine, in sicer:

- območja z ugodnimi seizmogeološkimi pogoji (npr. magmatske, metamorfne in karbonatne kamnine)
- območja s srednje ugodnimi seizmogeološkimi pogoji (npr. menjavanje klastičnih in karbonatnih kamnin, nekatere klastične kamnine)
- območja z neugodnimi seizmogeološkimi pogoji (nevezane kamnine, lahko tudi nekatere klastične kamnine).

Na sliki 1 je predstavljen primer izbora lokacij za območje Krškega polja. V končni fazi moramo združiti idealne pogoje geometrije postavitve potresnih opazovalnic z ugodnimi seizmogeološkimi pogoji in tedaj se začne terensko iskanje mikrolokacije. Območja z ugodnimi seizmogeološkimi pogoji natančneje pregledamo in se odločimo za lokacijo, ki izpolnjuje tudi druge tehnične pogoje.

Tehnični pogoji

Potresna opazovalnica, ki jo želimo postaviti, mora glede na tip zadostiti pogojem, ki postajajo z razvojem tehnologije zahtevnejši. Najpomembnejši tehnični dejavniki, ki vplivajo na izbor neke lokacije za postavitev potresne opazovalnice so:

- oddaljenost od lokalnih povzročiteljev nemira; sem sodijo ceste in železnica, tovarniški obrati, žage, jezera, slapovi, gozd
- dostopnost, in sicer za vzdrževalce opreme, bližina električne napeljave in komunikacijskih vodov
- enakomeren relief pokrajine: hribovit teren z ozkimi dolinami razpršuje seizmične valove; po dolgih ozkih dolinah in čez gorske prelaze pihajo ponavadi močnejši vetrovi; v hriboviti pokrajini izberemo prostor za opazovalnico čim nižje v dolini in ob upoštevanju tudi drugih pogojev.

Preglednica pojasnjuje, kolikšna mora biti oddaljenost opazovalnice od posameznih virov seizmičnega nemira za določeno vrsto potresne opazovalnice (3). Pokrajina v Sloveniji je precej hribovita, pa tudi poseljenost je velika, zato lahko postavljamo potresne opazovalnice tipa B, ki omogočajo povečave med 50 000 in 150 000. V to skupino sodijo opazovalnice za registracijo kratkoperiodnih pojavov in omogočajo tudi zapis šibkejših bližnjih dogodkov. Povečava nam pove, za kolikokrat je povečan premik podlage seizmometra zaradi potresnih valov. Odvisna je od jakosti seizmičnega nemira. Izberemo jo tako, da znaša povprečna vrednost amplitude seizmičnega nemira na seizmogramu 0,2 mm.

Preglednica. Najmanjše priporočljive oddaljenosti izvorov seizmičnega nemira od potresne opazovalnice: opazovalnica A omogoča povečave $\geq 200\,000$, opazovalnica B med 50 000 in 150 000 in opazovalnica C $< 25\,000$. (op.: pogoji ustreznosti opazovalnice so odvisni tudi od geološke sestave podlage)

Table. Recommended minimal distances from sources of seismic noise to the seismograph station. Station A enables gain $\geq 200\,000$, station B between 50 000 and 150 000 and station C $< 50\,000$. (Terms of suitability for seismograph station depend also on the geological structure of the ground)

Izvor seizmičnega nemira Sources of seismic noise	Vrsta opazovalnice Seismograph station		
	a km	b km	c km
Morska obala / Coast	150	25	1
Jezera / Lakes	20	10	1
Slapovi, pretoki čez pregrade / Waterfalls & watercourses	20	10	1
Težka industrija / Heavy industry	15	3	1
Železnica / Railway	6	3	1
Letališče / Airport	6	3	1
Lahka industrija / Light industry	2	0,5	0,1
Avtomobilske ceste / Major arterial routes	1	0,3	0,1
Ostale ceste, visoke stavbe / Other roads, tall buildings	0,3	0,2	0,05
Nižje zgradbe, drevje / Low buildings, trees	0,1	0,03	0,01
Visoke ograje, grmovje / High fences, shrubbery	0,05	0,025	0,005

Meritve seizmičnega nemira

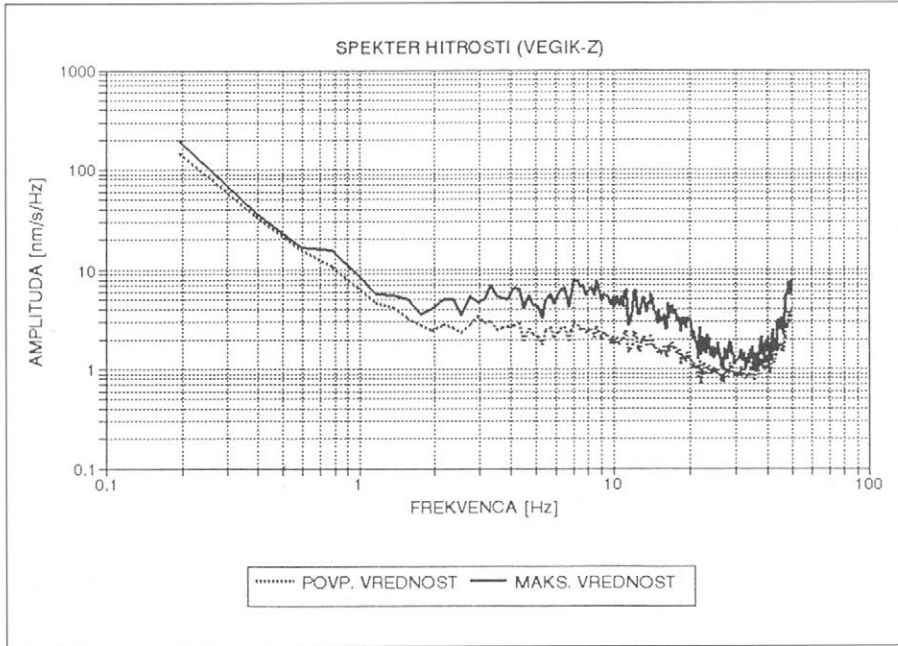
Na lokaciji za potresno opazovalnico, ki smo jo določili na podlagi splošnih terenskih pogojev, moramo opraviti še meritve seizmičnega nemira. Meritve nam pokažejo lastnosti, to je amplitudno in frekvenčno porazdelitev moči seizmičnega nemira. Za popolno sliko seizmičnega nemira na lokaciji je treba meritve opraviti v določenih časovnih presledkih čez ves dan in noč, v različnih letnih časih in različnih vremenskih pogojih. Tako izvedene meritve nam dajo podatke o dolgoperiodnem in kratkoperiodnem seizmičnem šumu (3, 4). Za nas so pomembne meritve kratkoperiodnega šuma z nihajnim časom, ki je manjši od 0,2 sekunde, oziroma s frekvenco, večjo od 5 Hz, ki nam dajo sliko lokalnih povzročiteljev seizmičnega nemira (slika 2). Iz meritev časovnega poteka šuma izračunamo frekvenčne spektre seizmičnega nemira, na podlagi katerih določimo vrsto opreme za potresno opazovalnico. Stopnja nemira določa občutljivost instrumentov. Pri večjem nemiru izberemo manj občutljive seizmometre. Frekvenčni potek nemira nam pove, kakšne filtre moramo uporabiti pri seizmografih, da izločimo vpliv šuma na meritve potresov.

Majhen seizmični nemir ni edini pogoj za kakovost lokacije. Sliko kakovosti terena

nam dopolni amplitudni odziv na potresni signal. Razmerje signal/šum je najboljša na mirnih lokacijah. Z meritvijo signala potresa se izognemo primeru, ko je vzrok majhnega seizmičnega nemira slaba prevodnost materiala podlage. Kakovost lokacije najbolje ocenimo z začasno, nekajmesečno postavitvijo seizmografa na izbrano mesto in analizo njegovih meritev.

Jašek

Seizmometer je zelo občutljiv instrument, zato ga ponavadi ločimo od preostalega dela registratorja. Pri nas smo se odločili za postavitev, ki jo po svetu pogosto uporabljajo. Seizmometer smo postavili v jašek (slika 3), ki je od stavbe oddaljen nekaj deset metrov. Pri gradnji jaška je treba najprej izkopati zemljo in pesek, da pridemo do trdne skalnate podlage. To izravnamo z vodoneprepusno betonsko podlago. Nanjo postavimo avtoklavirano salonično cev s premerom meter in pol (slika 4), ki omogoča delo serviserja v jašku. Njena višina je odvisna od globine trdne podlage. Z zunanje strani je cev izolirana z izotektom, da ne prepušča vode. Jašek je zaradi toplotne izolacije pokrit s pokrovom iz 20 cm debelega stiropora. Zaradi majhne mehanske trdnosti je nalepljen na ploščo iz PVC-ja. Proizvajalci seizmometrov navajajo za svoje instrumente sicer precej širok temperaturni razpon delovanja, vendar so zaželeni čim manjše spremembe temperature v jašku v različnih let-



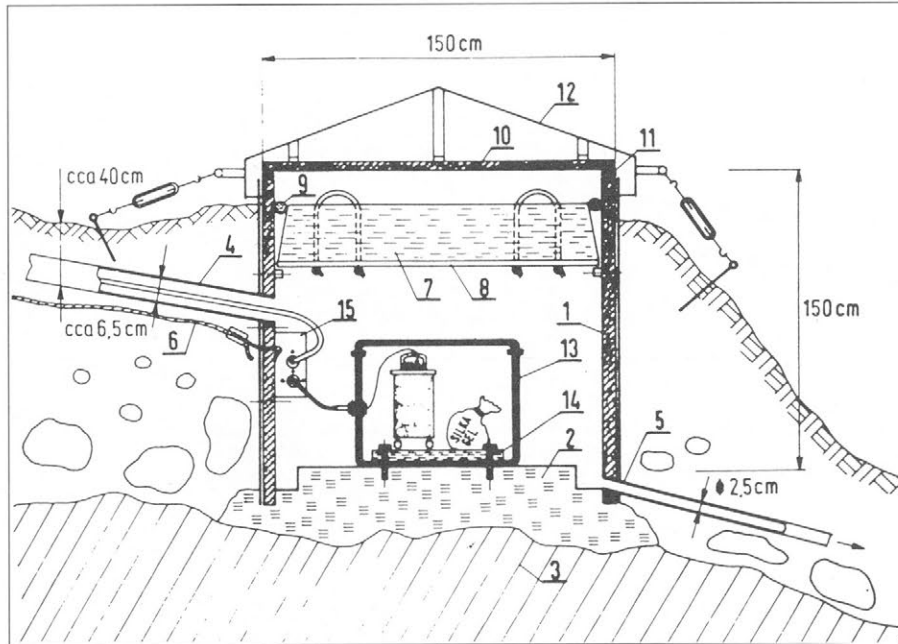
Slika 2. Meritev seizmičnega nemira za potresno opazovalnico na Krimu: ponazorjeni sta povprečna in največja vrednost komponent seizmičnega šuma pri meritvah

Figure 2. Seismic noise measurements for the seismological station on Krim: the average and maximum values of the components of seismic noise measurement are represented



Slika 4. Postavitev avtoklavirane salonitne cevi s premerom meter in pol in debelino stene 6 cm na vodonepropustno betonsko podlago (potresna opazovalnica v Bojancih)

Figure 4. Installation of autoclaved concrete tube with 1.5 m diameter and 6 cm thickness, on a waterproof concrete foundation (Bojanci seismic observatory)



Slika 3. Prerez seizmološkega jaška (1):
Figure 3. Cross section of a seismological shaft (1):

- | | |
|--|--|
| 1. avtoklavirana salonitna cev | 1. Autoclaved concrete pipe |
| 2. za vodo neprepustna betonska podlaga | 2. Waterproof concrete surface |
| 3. osnovni material – trdna skala | 3. Basic material – solid rock |
| 4. alkatenska cev, po kateri so položeni kabli | 4. Plastic tube encasing cables |
| 5. odtok | 5. Drainage |
| 6. ozemljitvena žica | 6. Grounding wire |
| 7. pokrov iz stiropora za temperaturno stabilizacijo zraka v jašku | 7. Polystyrene lid stabilizing the temperature of the air inside the shaft |
| 8. plošča iz PVC-ja zagotavlja mehansko trdnost pokrovu iz stiropora | 8. PVC plate providing lid solidity |
| 9. tesnilni trak iz poliuretanske pene | 9. Foam sealant tape |
| 10. salonitni pokrov | 10. Concrete lid |
| 11. tesnilna guma med robom jaška in pokrovom | 11. Sealant rubber between the edge of the shaft and the lid |
| 12. aluminijasta streha, ki je z jeklenimi vrvmi sidrana v tla | 12. Aluminium roof, fixed to the ground by steel wires |
| 13. aluminijast zaboj s seizmometrom | 13. Aluminium box housing seismometer |
| 14. podložna železna plošča | 14. Iron plate placed under the instrument |
| 15. priključna omarica s prenapetostno zaščito | 15. Connection box with overcharge protection |

nih časih. Pokrov iz stiropora ne tesni, zato skrbi za tesnjenje med pokrovom in steno jaška poliuretanska pena. Salonitni pokrov preprečuje vdor meteorne vode. Tesnjenje med jaškom in pokrovom zagotavlja gumijast trak, ki je nalepljen na rob jaška. Vse skupaj prekriva še aluminijasta streha, ki je pred močnimi vetrovi sidrana z vrvmi v tla (slika 5). Kljub temu, da je ohišje seizmometra za vodo neprepustno, je seizmometer postavljen na 8 mm debelo železno ploščo v aluminijastem zaboju z zatesnjenim pokrovom. Železna plošča je skupaj z dnom zaboja z vijaki pritrjena na betonsko podlago jaška. Poleg seizmometra je v zaboju še posoda s silikagelom, ki vsrkava vlago. Trikomponentna opazovalnica potrebuje tri seizmometre: za navpično smer, za smer vzhod–zahod in za smer sever–jug (slika 6).

V jašek je speljana alkatenska cev s premerom 80 mm, v kateri sta položena nizkonapetostni kabel za prenos signalov seizmometra in napajanje ter kabel z omrežno napetostjo 220 V, ki omogoča napajanje merilnih instrumentov med servisiranjem. Med rednim obratovanjem opazovalnice je ta kabel priključen na ozemljitev. Na steno jaška je pritrjena omarica z elementi za prenapetostno zaščito. Ohišje omarice je ozemljeno. Jašek je ozemljen z 8 mm debelo bakreno žico. Štirje kraki ozemljitvene žice se razprostirajo proč od jaška, prav tako pa poteka ozemljitvena žica ob alkatenski cevi do prostora v hiši s preostalo seizmološko opremo (1).

188 Zemljišče okrog jaška meri 12 m x 12 m in je ograjeno z meter in pol visoko ograjo, ki preprečuje hojo v neposredni bližini seizmometra.

Seizmični prostor

Vsa elektronska oprema, ki jo sestavljajo seizmografski ojačevalniki, elektronska ura s termostatiranim kristalnim oscilatorjem in dolgovalovnim sprejemnikom točnega časa ter pisala in napajalni del z usmernikom, akumulatorsko baterijo in razsmernikom, so v najetem prostoru v najbližji hiši (slika 7).

Kabel, pripeljan iz jaška s seizmometrom, je v priključni omarici v prostoru vezan na prenapetostne zaščitne elemente, od tu pa so signalni vodi vezani na vhode seizmografskih ojačevalnikov. Za vsako komponento je potreben po en ojačevalnik. Seizmografski ojačevalnik ima stopenjsko nastavljivo ojačenje in vgrajen nizek filter, ki je potreben za filtriranje motečih signalov. Vsaka komponenta ima svoje pisalo, kamor pripeljemo ojačane signale iz ojačevalnikov. Papir na pisalu zadostuje za štiriindvajseturno zapisovanje seizmičnih pojavov, potem ga je treba zamenjati z novim. Vsak seizmogram mora biti opremljen s točnim časom. Ura s termostatiranim kristalnim oscilatorjem in



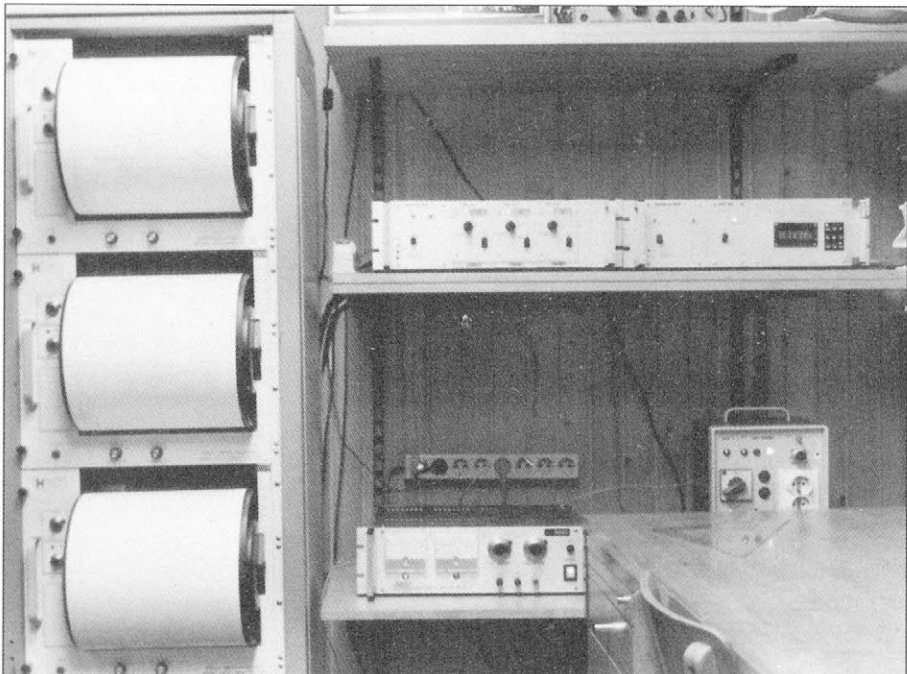
Slika 5. Pogled na jašek v ograjenem prostoru, pokrit z aluminijasto streho v potresni opazovalnici v Bojancih

Figure 5. View of the shaft in an enclosed area, covered with aluminium roof, at the Bojanci seismic station



Slika 6. Trikomponentna opazovalnica ima v jašku tri seizmometre v dveh vodotesnih zabojih (potresna opazovalnica na Vojskem)

Figure 6. The shaft of a three-component observatory houses three seismometers placed in two waterproof boxes (Vojsko seismological station)



Slika 7. Registratorji in druga oprema v potresni opazovalnici na Vojskem

Figure 7. Registrators and accompanying equipment at Vojsko seismological station

dolgovalovnim sprejemnikom časovnih signalov daje na tisočinko sekunde točen čas. Vsako minuto in ob polni uri odda znak, ki se zapiše na seizmogram. Znak, ki označuje polno uro, se po dolžini trajanja razlikuje od minutnega znaka. Papir na pisalu se pomika s tako hitrostjo, da je razdalja med dvema minutama 120 mm. Vsi instrumenti morajo biti ozemljeni, da se zmanjša vpliv motenj na delovanje, obenem pa je ozemljitev tudi zaščita pred strelami ob nevihtah. Seizmografski ojačevalnik in uro so razvili in izdelali strokovnjaki Uprave Republike Slovenije

za geofiziko (URSG) na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Napajalni del sestavljata stabilizirani usmernik in akumulatorska baterija. Vse elektronske komponente imajo v svojem napajalnem delu pretvornike DC/DC, tako da jih lahko napajamo neposredno iz akumulatorske baterije. Ta ima zmogljivost 200 Ah in omogoča osemindvajseturno nenehno delovanje seizmografov ob izpadu omrežne napetosti. Za primer daljšega izpada je v opremljeni potresni opazovalnici bencinski agregat z močjo 1 kW.

Oskrbovanje opazovalnice

Potresna opazovalnica z analognimi seizmografi potrebuje za nemoteno obratovanje operaterja. Običajno je to domačin pri hiši, v kateri je prostor s seizmografi. Njegove naloge, ki so potrebne za nemoteno delovanje instrumentov, so:

- vsakodnevna zamenjava registrirnega papirja na pisalih, kontrola ure in zapis vseh potrebnih podatkov na seizmogram, na primer datum in čas začetka in konca zapisa, komponenta seizmografa, popravka ure, datum kalibracije
- sporočanje okvar opreme na observatorij URSG: poleg očitnih okvar (okvara pogona pisala, zamašitev ige s črnilom, okvara ure ali sprejemnika časovnih signalov) mora biti pozoren na pojav sprememb ojačenja, neenačmernega teka bobna s papirjem in premik ničle
- preliminarno odčitavanje potresnih parametrov
- ob močnejših potresih odčitavanje najpomembnejših potresnih parametrov s seizmograma in takojšnje poročanje na observatorij URSG po telefonu ali brezžični zvezi
- pošiljanje seizmogramov na observatorij URSG po pošti dvakrat na teden.

Operater opravlja svoje delo vse leto. Vsak dan potrebuje za to eno do dve uri, odvisno od števila komponent seizmografov. Za zadovoljivo opravljanje tega dela je potrebno izobraževanje o vzdrževanju instrumentov in osnovah analize potresov. V opazovalnici se dela vse dni, zato mora biti vsaj delno usposobljen še en sodelavec, ki nadomesti operaterja, kadar ta zbolí ali je na dopustu.

Sklep

Leta 1995 pripravljamo v Upravi Republike Slovenije za geofiziko gradnjo dveh potresnih opazovalnic. Štiri stalne potresne opazovalnice, kolikor jih je zdaj, ne omogočajo natančnejšega izračuna potresnih parametrov. Poleg tega omogoča sedanja razporeditev opazovalnic le zapise seizmičnih pojavov, ki nastajajo predvsem na zahodu in jugu države. Tako se je v preteklosti že zgodilo, da so prebivalci potres čutili, seizmografi pa zaradi prevelike oddaljenosti od epicentra dogodka niso zaznali (2). Širše območje lokacije za novo opazovalnico je izbrano na podlagi projekta gradnje omrežja potresnih opazovalnic, za mikrolokacijo opazovalnice pa bodo potrebne še dodatne raziskave terena.

Po opisanem načinu izbire lokacije in gradnje potresne opazovalnice sta bili

zgrajeni potresni opazovalnici na Vojskem in v Bojancih. Postopek izbire lokacije bo tudi v prihodnje za sodobnejše digitalne instrumente ostal enak. Jašek, v katerega bomo postavili seizmometer, bo še vedno potreben, druga oprema potresne opazovalnice pa bo odvisna od izbire načina zajema in prenosa podatkov v center. Če se odločimo za kontinuiran prenos podatkov v center, potrebujemo digitalizator, ki pretvori analogne signale seizmometra v digitalno obliko, modem in najeto telefonsko linijo do centra ali radijski oddajnik za brezžični prenos podatkov ter v centru sprejemnik. Zabeleženi podatki se v centru opremijo s časom. Oprema je velika toliko, da jo lahko namestimo v kovinsko omarico, pritrjeno na antenski drog. Za delovanje potrebuje tako malo električne energije, da za napajanje lahko uporabimo sončne celice. Toda te vrste potresnih opazovalnic imajo tudi več slabih lastnosti. Prenos podatkov po najetih telefonskih linijah je zelo drag. Pri brezžičnem prenosu je zaradi velike količine podatkov na enoto časa potrebna praktično za vsako opazovalnico posebna prenosna frekvenca. Glede na želeno število potresnih opazovalnic, ki naj bi pokrivalo celotno ozemlje Slovenije, bo pri **Upravi za telekomunikacije** težko pridobiti toliko prenosnih frekvenc. Pri kakršnikoli okvari aparatur za prenos so vsi podatki izgubljeni.

Drugi tip opazovalnice deluje bolj avtonomno. Poleg digitalizatorja spadajo k opremi take opazovalnice še računalnik za obdelavo, prenos in shranjevanje podatkov ter naprava za nepretrgano napajanje z električno energijo, ki omogoča delovanje instrumentov tudi med daljšim izpadom omrežne napetosti. Prenos podatkov v center je občasen po komutacijskih telefonskih zvezah. Oprema je v manjšem zabojniku. Vsaka opazovalnica potrebuje svoj sprejemnik časovnih signalov. Podatki se prenašajo v center že opremljeni s časom. Slaba stran takih potresnih opazovalnic je, da je oprema zelo draga, dobra pa ta, da so obratovalni stroški nižji. Pri okvari prenosnih poti se podatki ohranijo v računalnikovem spominu, ki ima zmogljivost za več dni. Operater v taki opazovalnici ni potreben.

1. Trnkoczy, A., Vidrih, R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica, 12, Beograd, 17-34.
2. Vidrih, R., Ceci, I., 1994. Potresi v Sloveniji v letu 1993. Ujma 8, Ljubljana, 33-42.
3. Willmore, P. L., 1982. Manual of Seismological Observatory Practice. World Data Center A For Solid Earth Geophysics, NOAA, Boulder, Colorado, 165.
4. Živčič, M., Gostinčar, M., Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Seizmični šum na Krimu. Seizmološki zavod Slovenije, Ljubljana, 27.

Peter Sinčič, Renato Vidrih The construction of a seismological station

Among the most important considerations in the selections of a location is the geological foundation of the ground in the vicinity and the microlocation in particular. Different geological foundations have varying effects on maximum utilisation of the seismological station. The more suitable the geological structure, the higher the potential magnification of seismographs; consequently, seismic monitoring of better quality can be expected.

Any seismic observatory planned for a certain location must comply with certain conditions which are becoming more and more demanding with further technological development. The most important technical factors influencing the choice of a location of a seismological station are:

- appropriate distance from the local noise producing elements, such as roads, railways, industrial plants, saw-mills, lakes, waterfalls, forests
- accessibility; including accessibility for maintenance workers, proximity to electric and communication installations
- Low relief of the landscape. Highlands with narrow valleys disperse seismic waves. In long and narrow valleys there is often strong wind. In such regions, the best location for a seismological station is at the lower altitudes in the valley, while also respecting other factors.

Seismic noise measurements must be performed at the location for the seismic observatory which has, as mentioned, been established accordingly to the general ground conditions. Such measurements show us the characteristics, that is amplitude and frequency distribution, of the seismic noise. To get a complete image of seismic noise at a certain location, the measurements must be taken at fixed time intervals and in different seasons and weather conditions. From the time values of the noise, different frequency spectrums are calculated and then used to provide the correct equipment for the observatory.

UJMA