

# PRVA AVTOMATSKA DIGITALNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC V SLOVENIJI

## THE FIRST AUTOMATIC DIGITAL SLOVENIAN NATIONAL SEISMIC NETWORK

### Izidor Tasič

mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, izidor.tasic@gov.si

### Peter Sinčič

Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, petersincic@gov.si

### Povzetek

Struktura prve digitalne seizmološke mreže na slovenskem ozemlju je temeljila na izkušnjah in tehničnih zmožnostih tistega obdobja. Opremo za potresne opazovalnice in računalniško opremo v središču za obdelavo podatkov (SOP) je dobavilo podjetje Nanometrics iz Kanade leta 1995, posamezne lokacije pa so bile opremljene v letih med 1995 in 1997. Ob koncu leta 1997 je bila ena potresna opazovalnica v istem računalniškem omrežju kot SOP, štiri so komunicirale s središčem prek klicnih telefonskih linij, ena pa je bila povezana s podaljšano linijo. Vse opazovalnice so v SOP pošiljale le prožene dogodke, se pravi, da so bili digitalni zapisi potresa poslani v SOP šele po tem, ko je avtomatski algoritem na lokaciji potresne opazovalnice prepoznal konec potresa in je zaključil zapis. Povezava prek klicnih telefonskih linij in majhno dinamično območje prvih A/D pretvornikov so se ob potresu v Posočju leta 1998 izkazali za kritične in tako tudi pokazali smernice za izgradnjo nove državne mreže potresnih opazovalnic v poznejšem obdobju.

### Abstract

The structure of the first seismic network in Slovenia was based on the experience and technical possibilities of that time period. The framework of the network, that is the equipment for the seismic stations and the Data Processing Centre (DPC), was provided by the Canadian company Nanometrics in 1995. Individual locations were equipped in 1995, 1996 and 1997. The year 1996 is the starting point of the operation of the digital seismic network, when four seismic stations were connected to the network. By the end of 1997, one seismic station was connected to the same local area network (LAN) as the DPC, four communicated with the DPC via conventional telephone lines (dial-up access) and one has access to the DPC via "leased line". All the stations sent event-triggered data to the DPC when the earthquake activity was over. The connections over conventional telephone lines and the small dynamic range of the RD-3 digitisers were main drawbacks of the network, which was established in the Posočje earthquake in 1998 and thus indicated guidelines for future improvements.

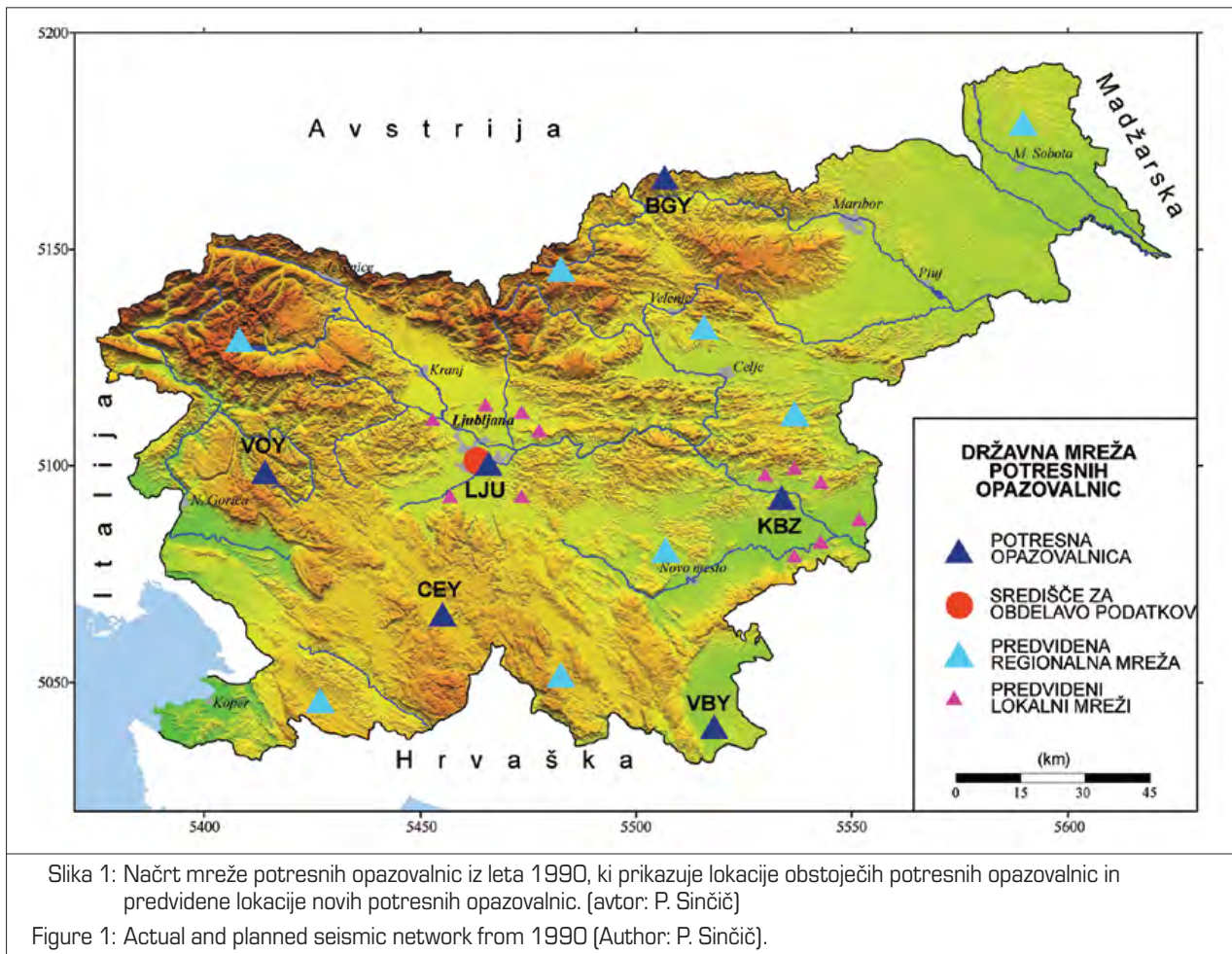
## Uvod

Opremlitev pojma *mreža potresnih opazovalnic* se je skozi čas spreminjala, kakor so postajale učinkovitejše tudi same potresne opazovalnice. Danes o *mreži potresnih opazovalnic* govorimo, kadar se podatki iz potresnih opazovalnic zbirajo v stvarnem času v vsaj enem središču, kjer se ti podatki obdelujejo, pri čemer velja, da ena ustanova skrbi tako za potresne opazovalnice, ki so povečini avtonomne in nimajo človeške posadke, kakor tudi za središče. Ta ustanova:

- skrbi in vzdržuje merilno in komunikacijsko opremo, tako da lahko zagotavlja kakovost podatkov iz potresnih opazovalnic,
- nadzira komunikacijske poti, saj morajo podatki iz posamezne opazovalnice o nihanju tal priti v središče v stvarnem času, ker samo to omogoča avtomatizirano primarno analizo potresa,

- v središču za obdelavo seizmične podatke obdeluje, vrednoti, arhivira in opravlja druge seizmološke dejavnosti, kot je obveščanje pristojnih služb in javnosti.

V času hitrih komunikacij obstajajo tudi *virtualne mreže potresnih opazovalnic*, kjer pa uporabnik virtualne mreže le uporablja posamezne produkte iz mrež drugih upravljavcev. Podatke pridobiva iz lokalnih središč in ne neposredno iz potresnih opazovalnic. Zaradi tega uporabnik virtualne mreže nima nadzora nad kakovostjo podatkov in tudi ne oskrbuje ali vzdržuje potresne opazovalnice in komunikacijske poti. Primer virtualne mreže, kjer tudi Slovenci prispevamo podatke, je *European Virtual Broadband Seismic Network (VEBSN)*, ki vključuje podatke iz več sto potresnih opazovalnic.



V preteklosti je bil pri razvoju mreže potresnih opazovalnic velik poudarek na času, ki je bil potreben, da se je zabeleženi dogodek iz več potresnih opazovalnic v centru ovrednotil. Čas, ki je potekel od začetka potresa pa do prvega obvestila javnosti, se je z razvojem merilne in strojne opreme, programske opreme in kakovosti komunikacijskih poti krajšal. Pred letom 1960 so bile potresne opazovalnice še redke, bile so v večjih zgradbah in so imele stalnega oskrbnika. Nihanje tal so analogni seizmološki sistemi beležili na fotopapir ali navadni papir in je vseboval večurni zapis, pogosto kar en dan. Osnovna analiza potresa je bila opravljena že na lokaciji, oskrbnik potresne opazovalnice pa je zapise lahko naknadno poslal v zbirni center. Če je na nekem območju delovalo več potresnih opazovalnic, analizo zapisov potresov pa so opravljali na eni lokaciji, je že bilo mogoče govoriti o mreži potresnih opazovalnic. Vendar pa je bil v takih primerih čas med zabeleženim dogodkom in njegovo analizo velik, včasih celo nekaj dni.

V šestdesetih letih so začele delovati prve seizmološke mreže, kjer so se analogni seizmični signali v realnem času prenašali prek žice ali radijske povezave v središče, kjer so se vsi ti podatki beležili in centralno obdelali. Tako je recimo ob koncu leta 1982 v Črni gori začela delovati mreža desetih potresnih opazovalnic, kjer se je analogni seizmični signal prek FM radijske telemetrije prenašal v središče v Podgorici. Glavna težava analognih sistemov

je bila relativno majhno dinamično območje, kar pomeni, da so lahko bili prekrmljeni pri že srednje močnih potresih. Z razvojem seizmoloških digitalnih zajemalnih enot sredi 80. let prejšnjega stoletja, ki so omogočali beleženje večje dinamike nihanj tal, so analogni sistemi prenosa podatkov postopoma prehajali v digitalne.

## Začetek digitalne seizmologije v Sloveniji

Ob koncu 80. let prejšnjega stoletja so mrežo potresnih opazovalnic v Sloveniji tvorile štiri stalne opazovalnice in dvečasni (slika 1) (Sinčič in Vidrih 1993, Sinčič in Vidrih 1995). Na vseh opazovalnicah so bili analogni instrumenti za merjenje in registriranje potresov (Sinčič in drugi, 1997). Potresne opazovalnice so imele stalnega oskrbnika, ki je skrbel za menjavo medijev (papir ali fotopapir). Takoj po potresu so oskrbniki naredili tudi osnovno analizo in prek UKV radijske zveze sporočili rezultate analiz v središče v Ljubljano, papir z zapisom potresa pa pozneje po pošti poslali v Ljubljano. Število potresnih opazovalnic, njihova razporeditev v Sloveniji in zastarela oprema pa niso omogočali zadovoljivega opravljanja vseh nalog seizmološke službe. Dinamično območje analognih seizmoloških instrumentov se je gibalo med 30 in 35 decibel, kar ni omogočalo učinkovitega



Slika 2: Digitalni seizmološki sistemi, nabavljeni v letih med 1990 in 1994 (A: SSR-1; B: SSA-2; C: RefTek 72A-02; D: 72A-07/DSK). (avtor: P. Sinčič)

Figure 2: Digital seismic systems, purchased in the period between 1990 and 1994 (A: SSR-1; B: SSA-2; C: RefTek 72A-02; D: 72A-07/DSK) (Author: P. Sinčič).

kovitega spremljanja potresne dejavnosti, saj sistemi niso registrirali večine šibkih potresov, ki pa nam veliko povedo o aktivnih prelomih, pri močnih potresih pa so bili zapisi prekrmljeni. Zato je bila v začetku 90. let načrtovana razširitev mreže opazovalnic z devetimi novimi regionalnimi opazovalnicami in dvema lokalnima mrežama



Slika 3: Oprema Nanometrics: osebni računalnik z vgrajenim sprejemnikom GPS, enota FEP in UPS z dodatnimi baterijami

Figure 3: Nanometrics equipment: personal computer with GPS receiver, FEP unit and UPS with an additional set of batteries

s po šestimi opazovalnicami (slika 1). Vse opazovalnice bi bile opremljene z napravami za digitalno zajemanje podatkov. Opazovalnice lokalnih mrež bi bile postavljene tako, da bi lahko kontinuirano v stvarnem času prenašale seizmične podatke v center za obdelavo podatkov z uporabo radijske telemetrije na frekvenčnem območju VHF 170 MHz ali UHF 450 MHz (Sinčič in Vidrih, 1993). Ker bi morala biti med sprejemno in oddajno točko vidna povezava, je to omejilo možnost izbire lokacij. Zaradi razgibanega reliefa bi bil tak načina prenosa podatkov iz regionalnih potresnih opazovalnic v središče tehnološko preveč zahteven. Za te opazovalnice je bil načrtovan prenos podatkov po klicnih ali najetih telefonskih linijah. A v začetku 90. let je hitrost podatkov med potresno opazovalnico in središčem po klicnih telefonskih linijah potekala počasneje kot samo zajemanje podatkov, saj je bil standardiziran prenos po bakrenih žicah takrat med 2400 do 9600 bps (danes so te hitrosti sto in še več presežene). Zato je bilo načrtovano, da bi se večina seizmičnih podatkov prenašala ponoči, ko so telefonske linije manj obremenjene. Da pa ne bi prišlo do izgub podatkov, bi se ti beležili na pomnilniški medij dalj časa in bi se, če bi bilo potrebno, tudi »ročno« prenesli v središče.

Za spoznavanje z digitalno tehnologijo je tedanji Seizmološki zavod leta 1990 kupil digitalno zajemalno enoto s SSR-1 podjetja *Kinematics* in prve širokopasovne enokomponentne seizmometre WR-1. 16-bitna analogno-digitalna pretvorba je zagotavljala 96 dB dinamično območje (slika 2). Ob koncu leta 1994 so enoto poslali k proizvajalcu v ZDA zaradi povečanja števila vhodnih kanalov iz treh na šest. Digitalizacija se je nadaljevala z nabavo SSA-2 zajemalnih enot in FBA-23 pospeškometrov in nabavo *RefTek* zajemalnih enot *Reftek 72A-07/DAT* ter *Reftek 72A-02*. Izkušnje, ki so jih dobili s temi enotami, so nato pomagale pri izbiri opreme za prvo digitalno seizmološko mrežo.

Digitalnih sistemov, ki jih je do leta 1995 uporabljal Seizmološki zavod, ni bilo mogoče uporabiti v avtomatskem procesu določitve osnovnih potresnih parametrov. Za prenos podatkov iz teh instrumentov je bil potreben usposobljen inženir, ki je prepisal podatke iz instrumenta v prenosni računalnik in jih prenesel v center, kjer so se podatki ročno obdelali. Instrumenti *RefTek* so omogočali kontinuirano zajemanje podatkov na disk oziroma na DAT-kaseto, vendar so bili nezanesljivi in so pogosto prenehali beležiti podatke. Instrumenti podjetja *Kinematics* so bili stabilnejši, a so bili zaradi majhne kapacitete pomnilnika primerni samo za shranjevanje kratkih oziroma »proženih« dogodkov. Vsi sistemi, razen enote *RefTek 72a-02*, so za usklajevanje podatkov s točnim časom še vedno uporabljali navigacijski sistem *Omega* (Sinčič in Vidrih, 1994). Radijski navigacijski sistem *Omega* je zgradila mornarica Združenih držav Amerike v 70. letih prejšnjega stoletja in je z osmimi oddajniki pokrival celo zemeljsko oblo. Ladjam in letalom so omogočali določitev položaja na  $\pm 2,2$  km natančno. Od srede 90. let ga je vse bolj nadomeščal satelitski navigacijski sistem točnega časa, ki ga poznamo s kratico GPS (*Global Positioning System*). Sistem *Omega* so zato leta

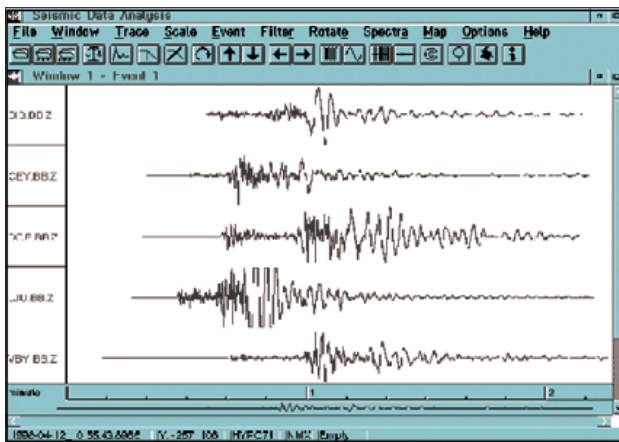
Strojna oprema	Opis
<i>Seizmometer CMG-40T</i>	Širokopasovni trikomponentni seizmometer CMG-40T zaradi svoje preproste, robustne izdelave v vodotesnem ohišju in kakovosti še danes izdelujejo. Primeren je za registracijo lokalnih in regionalnih potresov. Izhodni signal je sorazmeren hitrostnemu odzivu v frekvenčnem območju med 0,03 Hz in 50 Hz.
<i>A/D pretvornik RD-3</i>	RD-3 je 16-bitni analogno-digitalni pretvornik, ki v povezavi z ojačevalnikom z mikroprocesorsko nastavljivim ojačenjem zagotavlja 132 dB dinamično območje. Linearni nizkoprepustni filter, fazno ujemanje posameznih ojačevalnikov in avtomatsko nastavljlivo ojačenje zagotavljajo točno pretvorbo analognega signala seizmometra v digitalno obliko, primerno za nadaljnjo obdelavo. Enota RD-3 vsebuje tudi vezje za generiranje sinusnih, naključnih in impulznih signalov, potrebnih za kalibracijo senzorja. ----- Maksimalni vhod na posameznem kanalu (Vpp) = 4,8 V  Občutljivost (v povezavi s seizmometrom CMG-40T) = 1 nm/s
<i>A/D pretvornik HRD-24</i>	HRD-24 je 24-bitni analogno-digitalni pretvornik in zagotavlja 142 dB dinamično območje. Za pretvorbo analognega signala v digitalno se uporablja Sigma-delta AD pretvornik. Enota vsebuje vezje za generiranje sinusnih, naključnih in impulznih signalov, potrebnih za kalibracijo senzorja.  Enota je vsebovala tudi GPS sistem točnega časa, tako da so se podatki pravilno časovno uskladili že v sami enoti. ----- Maksimalni vhod na posameznem kanalu (Vpp) = 14,0 V  Občutljivost (v povezavi s seizmometrom CMG-40T) = 1 nm/s
<i>IBM 486 osebni računalnik</i>	Za zajem podatkov iz AD pretvornika in njihovo nadaljnjo obdelavo je podjetje Nanometrics dobavilo računalnike IBM z lastnostmi: 486DX5 66MHz mikroprocesor, 16 MB RAM pomnilnik, 540 MB trdi disk, disketna enota, grafična kartica, VGA zaslon. Ta računalnik je podjetje izbralo zaradi kakovosti in dolge življenjske dobe. Poleg standardnih računalniških modulov so bili v ohišje računalnika vgrajeni še komunikacijski procesor CP8-1, nadzorni kronometer ( <i>watchdog timer</i> ) in GPS sistem točnega časa. Operacijski sistem je bil OS/2 in je bil prvi komercialni večopravilni sistem za PC-je. Komunikacijski procesor CP8-1 je bila predprocesorska enota z dvema vhodnima serijskima linijama za prenos podatkov v stvarnem času s hitrostjo prenosa 38 kBaud in je opravljala obdelavo podatkov, ki je bila potrebna pred prenosom podatkov v sam računalnik, saj je bila procesorska moč računalnika preslaba. Nadzorno-kronometrska enota skupaj s pripadajočo programsko opremo je zagotavljala ponovni zagon posameznega programskega paketa, ki je obstal v nedefiniranem stanju (»se je obesil«), in, če to ni pomagalo, ponovni zagon računalnika.  Štiri PC enote so imele vgrajeni modem s hitrostjo 14,4 mbps.
<i>IBM 486 osebni računalnik – SOP</i>	Za komunikacijo z enotami na potresnih opazovalnicah je podjetje Nanometrics dobavilo računalnik IBM z lastnostmi: 486DX5 66MHz mikroprocesor, 16 MB RAM pomnilnik, 540 MB trdi disk, disketna enota, grafična kartica, VGA zaslon in zunanji optični zapisovalnik za arhiv. Ta računalnik je podjetje izbralo zaradi kakovosti in dolge življenjske dobe. Poleg standardnih računalniških modulov so bili v ohišje računalnika vgrajeni še komunikacijski nadzorni kronometer ( <i>watchdog timer</i> ). Operacijski sistem je bil OS/2. Nadzorno-kronometrska enota skupaj s pripadajočo programsko opremo je zagotavljala ponovni zagon posameznega programskega paketa, ki je obstal v nedefiniranem stanju (»se je obesil«), in, če to ni pomagalo, ponovni zagon računalnika.  Imela je vgrajeno komunikacijsko kartico in modem s hitrostjo 14,4 mbps ter programsko opremo za analizo seizmičnih podatkov DAN.
Preglednica 1: Oprema prve avtomatske digitalne mreže potresnih opazovalnic Table 1: The equipment of the first Slovenian digital national seismic network	

1997 ukinili in seizmološke naprave, ki so uporabljale ta signal za sinhronizacijo točnega časa, so v trenutku ostale brez zelo pomembnega podatka – točnega časa, zaradi česar so postali samo indikatorji nihanja tal.

## Prva avtomatska mreža digitalnih potresnih opazovalnic

Od začetka 90. let je podjetje *Nanometrics* ponujalo rešitev »na ključ«, kar pomeni, da je ponujalo tako seiz-

mološko merilno opremo (brez seizmometrov) kakor tudi opremo za središče za obdelavo podatkov s samodejnim vzpostavljanjem komunikacije s potresnimi opazovalnicami. To je bilo prvo komercialno podjetje, ki je imelo celovito ponudbo programske in strojne opreme za zajemanje seizmičnih nihanj na potresni opazovalnici ter nato prenosa podatkov v središče, kjer so bili dogodki obravnavani najprej avtomatsko, nato pa jih je obdelal še seizmolog (Dolenc in Tasič 1998). Digitalne mreže potresnih opazovalnic so sicer že obstajale od konca 80. let, a je bil razvoj programske opreme v domeni samih institucij, ki so upravljale te mreže, saj so imele močno kadrovsko



Slika 4: Zapis potresa v Posočju leta 1998, kot ga je zabeležila mreža potresnih opazovalnic Nanometrics. (avtor: P. Sinčič)

Figure 4: Seismogram of the earthquake in Posočje in 1998, recorded with the Nanometrics seismic network [Author: P. Sinčič]

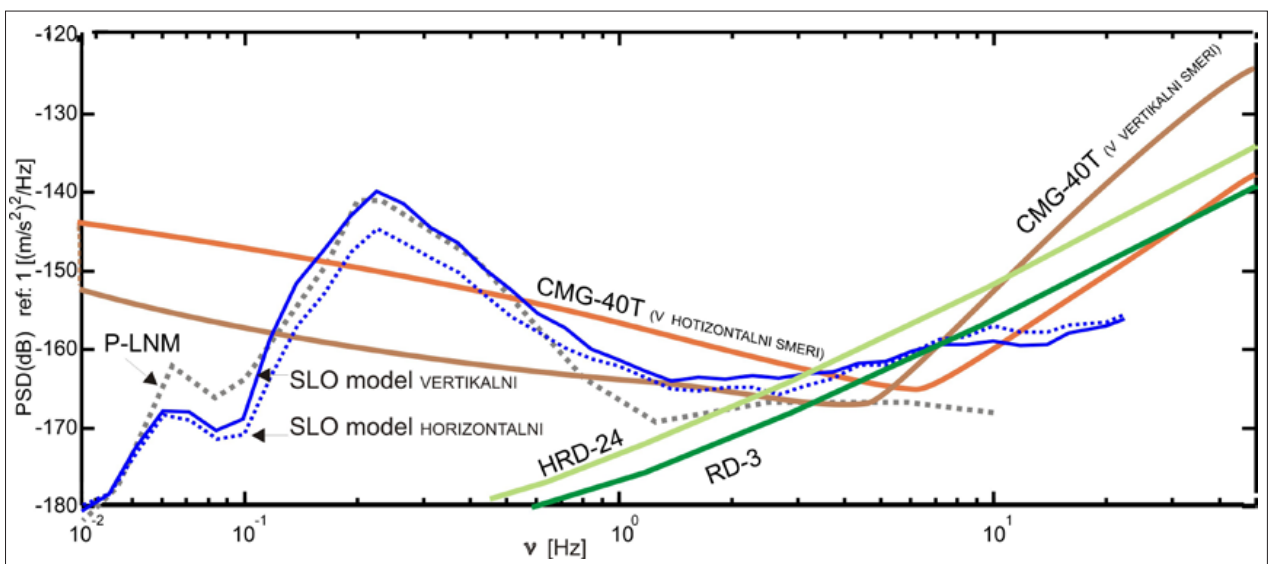
zaledje in so lahko same razvijale namensko programsko opremo (npr. Kanamori in Hauksson, 1991).

Ker je bila ponudba podjetja *Nanometrics* za tisti čas najprimernejša za razpoložljive komunikacijske poti v Sloveniji, je bilo to podjetje tudi izbrano za dobavo opreme. Predvsem zaradi finančnih razlogov je bilo pri nabavi seizmološke opreme načrtovano, da bi nabava potekala v več let in v več neodvisnih fazah. V prvi fazi je bila načrtovana nabava opreme za pet opazovalnic in osrednji računalnik, ki je imel nalogo zbiranja seizmoloških podatkov. Ta nabava je bila opravljena leta 1995. Opremo potresnih opazovalnic so sestavljali seizmometer *Güralp* CMG-40T

(kupljen neodvisno pri podjetju *Güralp* iz Anglije), analogno-digitalni (A/D) pretvornik RD-3 in računalnik IBM-PC s programsko opremo NAQS (ime je kratica iz *Network AcQuisition Software*) za zajemanje podatkov iz zajemalne enote (preglednica 1). Seizmometer in A/D pretvornik sta bila nameščena v seizmičnem jašku, do več metrov oddaljene računalniške enote je bil RD-3 povezan s podatkovnimi kablji in vodi za napajanje.

Analogni signal iz seizmometra je A/D pretvornik pretvoril v digitalni podatkovni tok, ki je bil prek priključitvenega vmesnika in procesorske enote CP8-1 vzpostavljen do računalnika z večopravilnim operacijskim sistemom OS/2. Programska oprema NAQS je obdelovala vse prihajajoče podatke in jih shranjevala v krožni pomnilnik na trdi disk. Velikost diska je zagotavljala približno petdnevno shranjevanje podatkov.

Zaradi poenostavitve izračuna lokalne magnitude iz digitaliziranih zapisov je bil RD-3 pretvornik nastavljen tako, da je en vzorec na izhodu predstavljal 1 nm/s. Ta zahteva je sicer poenostavila računanje magnitude, tudi šibki potresi so bili natančneje zabeleženi zaradi nižjega lastnega šuma zajemalne enote, vendar je zaradi tega zajemalna enota pokrila le del celotnega dinamičnega območja seizmometra CMG-40T. Seizmometer je lahko zabeležil nihanje tal z amplitudo do 2,5 cm/s, največjo amplitudo tal, ki smo jo lahko zabeležili s tako nastavitvijo zajemalne enote RD-3, pa je bila 0,3 cm/s. Posledice te odločitve so se izkazale za kritične ob potresu v Posočju leta 1998, ko je bil sistem na observatoriju na Golovcu, ki je bil v tem času bistven za hitro izračunavanje magnitude, prekrmljen in s tem neuporaben za določitev magnitude potresa.



Slika 5: Modeli instrumentalnega šuma (spodnja meja za detekcijo koristnega signala) za opremo prve avtomatske mreže potresnih opazovalnic: seizmometer CMG-40T in zajemalni enoti RD-3 in HRD-24. Za primerjavo je podan še Petersonov model spodnje ravni seizmičnega šuma (P-LNM; Peterson, 1993) in model spodnje ravni seizmičnega šuma za slovensko ozemlje (SLO-model, vertikalni in horizontalni; Tasič, 2015). (avtor: I. Tasič)

Figure 5: Self-noise models (the lowest limit for detection of an useful signal) for the equipment of the first Slovenian digital national seismic network (seismometer CMG-40T, acquisition unit RD-3 and acquisition unit HRD-24) regarding to the Peterson Noise Model (Peterson, 1993) and Slovenia's low noise model (SLO-model; Tasič 2015).

Oznaka (lokacija)	Datum	Opis
VBY (Bojanci)	28. 5. 1996	Postavitev seizmološke opreme Nanometrics z zajemalno enoto RD-3. (Komunikacija: klicna telefonska linija.)
	17. 6. 1996	Zamenjava PC IBM in GPS antene zaradi udara strele.
	11. 8. 1998	Zamenjava zajemalne enote RD3 z enoto RD3 z večjim dinamičnim obsegom.
	2. 6. 1999	Zamenjava zajemalne enote RD3 z zajemalno enoto HRD24. Priklop na računalniško omrežje.
	17. 2. 2004	Ukinitev sistema Nanometrics.
LJU (Golovec, Ljubljana)	Oktober 1995*	Postavitev seizmološke opreme Nanometrics z zajemalno enoto RD-3. Priklop na računalniško omrežje.  *Natančen datum ni določen, saj so oktobra potekala različna zaključna dela, kot je recimo postavitev GPS antene na stalno lokacijo in postavitev protistrelne zaščite za sistem.
	19. 6. 2015	Ukinitev sistema Nanometrics.
BISS (Bistriški Jarek)	22. 8. 1996	Postavitev seizmološke opreme Nanometrics z zajemalno enoto RD-3. (Komunikacija: klicna telefonska linija.)
	21. 9. 2012	Ukinitev sistema Nanometrics.
DOBS (Dobrina)	14. 10. 1996	Postavitev seizmološke opreme Nanometrics z zajemalno enoto RD-3. (Komunikacija: klicna telefonska linija.)
	29. 10. 2006	Postavitev NMX HRD-24 (v računalniškem omrežju).
	7. 7. 2011	Ukinitev sistema Nanometrics.
CEY (Grahovo, Cerknica)	10. 4. 1997	Postavitev seizmološke opreme Nanometrics z zajemalno enoto RD-3. (Komunikacija: klicna telefonska linija.)
	14. 5. 2014	Ukinitev sistema Nanometrics.
CESS (vas Cesta)	4. 9. 1997	Postavitev seizmološke opreme Nanometrics z zajemalno enoto HRD-24 in modema za najeto linijo do Krškega, kjer sledi povezava s PC enoto, ki je priklopljena na državno komunikacijsko omrežje.
		Še deluje.
KBZP (Brezje pri Senušah)	17. 2. 2004	Postavitev samo HRD-24 (z lokacije VBY) s prenosom podatkov v Ljubljano.
	10. 9. 2015	Ukinitev po okvari zaradi strele.
<p>Preglednica 2: Oprema potresnih opazovalnic pri prvi postavitvi in poznejše bistvene spremembe. Na vseh lokacijah je bil postavljen seizmometer istega tipa: CMG-40T.</p> <p>Table 2: The equipment of the seismic stations at the first layout and significant changes. At all locations, a seismometer of the same type was placed: the CMG-40T.</p>		

Časovno usklajenost podatkov je zagotavljal sprejemnik časa GPS, vgrajen v računalnik IBM-PC. Nemoteno delovanje naprav ob izpadu omrežne napetosti je zagotavljalo brezprekinitveno napajanje (UPS). Računalniške enote na potresnih opazovalnicah so v SOP v Ljubljani na Golovcu pošiljale tako statusne podatke kakor tudi »prožene« seizmične zapise.

Štiri potresne opazovalnice naj bi bile povezane z osrednjim računalnikom po klicnih telefonskih linijah, seizmološka enota na observatoriju na Golovcu v Ljubljani pa bi bila vključena v lokalno računalniško mrežo. Na tej lokaciji je bil tudi SOP z IBM-PC osebним računalnikom, ki je skrbel za komunikacijo z opremo na potresnih opazovalnicah (Tasič 2007) in delovno postajo SUN, kjer se je opravljala analiza zapisov.

V letih 1997 in 1998 sta bila dobavljena še kompleta opreme za dve potresni opazovalnici, a z novim modelom zajemalne enote HRD-24. Zajemalna enota HRD-24 je imela 24-bitni A/D pretvornik in vgrajen GPS sprejemnik, tako da so se podatki opremili s točnim časom že v sami enoti. Zato sta bili ti enoti bistveno boljši od enote RD-3. Tudi ta A/D pretvornik je bil nastavljen tako, da je en vzorec na izhodu predstavljal 1 nm/s. S tako nastavitvijo

je bila največja še pravilno zabeležena amplituda hitrosti nihanj tal 0,9 cm/s.

Decembra 1995 je že delovala oprema na lokaciji na Golovcu, ampak mreža je do svojega izraza prišla šele tedaj, ko so samostojno delovale vsaj štiri potresne opazovalnice. Tako štejemo leto 1996 kot začetek delovanja digitalne mreže, saj smo v tem letu opremili še tri potresne opazovalnice (preglednica 2). Leta 1997 sta bili dodatno opremljeni še dve opazovalnici, pri čemer je bila opazovalnica v Cesti nad Krškim z oznako CESS opremljena z novo zajemalno enoto HRD-24. Na opazovalnici sta bila postavljena samo zajemalna enota in seizmometer, prek najete linije pa se je signal prenašal do računalnika v Krškem (postavljen je bil na Geodetski upravi), kjer je tudi bil krožni pomnilnik. Računalnik je bil vključen v državno računalniško omrežje, tako kot središče na Golovcu, in sistema sta si lahko izmenjevala podatke skoraj v stvarnem času. Slabost »oddaljenega« računalnika je bila v tem, da so bili podatki izgubljeni, če je prišlo do prekinitve prenosa podatkov na relaciji med potresno opazovalnico in Krškim. V letu 1998 je bil dobavljen še en novi sistem zajemalne enote HRD-24, a je, še preden je bil vključen v mrežo, močan potres v Posočju (Gosar in drugi 1999, Gosar 1999, Ribičič in Vidrih 1998, Vidrih

in Ribičič 1999) zamajal celotno mrežo, v prenesenem pomenu in dobesedno.

## Potres v Posočju leta 1998 in državna mreža potresnih opazovalnic

Ta potres je pokazal na glavno slabost te mreže – na velike težave s prenosom podatkov. Na observatoriju na Golovcu je bila na voljo le ena telefonska linija za komunikacijo s potresnimi opazovalnicami. Tako je naenkrat samo ena od štirih potresnih opazovalnic lahko pošiljala seizmične podatke v Središče za obdelavo podatkov (SOP). Preostale so čakale na prosto linijo in ponavljale vzpostavitev povezave z nekajminutnim intervalom. Zaradi nizke hitrosti prenosov podatkov po klicni telefonski liniji je potekal prenos celotnega zapisa tega potresa, ki je bil daljši, kot je bilo v povprečju, iz posamezne lokacij skoraj pet minut ali še minuto več. Zaradi preobremenjenosti linij ob potresu pa je bilo tudi vzpostavljanje nove povezave med potresno opazovalnico in SOP oteženo. Potres so čutili po celi Sloveniji in telefonske centrale so bile kmalu preobremenjene s klici med uporabniki. Zato so zapisi potresa iz posameznih opazovalnic v SOP prihajali počasi in nezvezno. Dodatno nesrečno naključje je povzročilo, da je bila komunikacija z opazovalnico CESS prekinjena že prejšnji dan. Tako so bili takoj na voljo samo podatki iz opazovalnice na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. A zaradi premajhnega dinamičnega območja A/D enote RD-3, so bili zapisi prekrmljeni, sistem ni zabeležil celotnega nihanja tal in zato ni bilo mogoče določiti magnitude potresa s podatki tega sistema. Pri sistemu SSR-1, ki je imel pospeškometer, pa že eno leto zaradi ukinitve sistema OMEGA ni deloval sistem točnega časa. Ker takrat ni bilo na voljo veliko uporabniških programov, tudi ni bilo programskega vmesnika, ki bi pospeškovno nihanje tal, ki ga je zabeležil pospeškometer, pretvoril v hitrostno, kar bi poenostavilo izračun magnitude v izrednih situacijah oziroma pri močnih potresih.

Po potresu v Posočju je bilo narejenih kar nekaj posodobitev programskega dela sistema na vseh PC enotah za čim enostavnejši in hitrejši prenos podatkov (Tasič 2001, Tasič 2003, Tasič in Mali 2007). Pospešeno so se pretvarjale tudi klicne linije v najete, saj je bila komunikacija ena od dveh poglavitnih težav mreže. A težava z enotami RD-3 je ostala. Kljub temu, da so bile pozneje vse opazovalnice povezane v državno računalniško omrežje, je zajemalna enota RD-3 s svojim dinamičnim območjem in nezmožnostjo avtonomnega delovanja brez neposredne bližine računalnika še vedno predstavljala omejitve. Čeprav smo nato pri enoti RD-3 na potresni opazovalnici v Bojancih še v istem letu s posegom v elektroniko povečali dinamično območje za faktor 3,8, je nezmožnost pošiljanja seizmičnih podatkov v stvarnem času še vedno pomenila težavo. Zato smo naslednje leto na tej opazovalnici zamenjali enoto RD-3 s HRD-24.



Slika 6: Zajemalna enota RD-3 (levo) in zajemalna enota HRD-24 (desno) [avtor: I. Tasič]  
Figure 6: Acquisition unit RD-3 (left) and acquisition unit HRD-24 (right) [Author: I. Tasič].

## Sklepne misli

Potres v Posočju 1998 je dejansko zaključil aktivnosti na prvi digitalni mreži (nabav *Nanometrics*) iz leta 1995. Nova oprema podjetja *Nanometrics* se iz tega sklopa po tem dogodku ni več nabavljala. Istočasno so se začeli postopki za izgradnjo popolnoma nove državne mreže potresnih opazovalnic in SOP, ki je odpravila vse pomanjkljivosti, ki so se pokazale ob potresu leta 1998. Projekt se je imenoval »PM 2000« (Lapajne in drugi, 1998, Vidrih in drugi 2006).

Seizmološka oprema podjetja *Nanometrics* iz 90. let prejšnjega stoletja je bila, kljub omenjenim pomanjkljivostim, dobro zasnovana in kakovostno narejena. Čeprav smo po letu 2000 dobavili poenoten kompleksnejši sistem za novo mrežo, smo še vedno vzdrževali elemente stare mreže (preglednica 2). Tako smo zadnjo enoto s sistemom RD-3 izključili šele leta 2015, in sicer zato, ker so porušili objekt, v katerem je bil postavljen. Ves ta čas (skoraj 20 let) je računalnik IBM-PC z operacijskim sistemom OS/2 neprekinjeno deloval.

Zajemalno enoto HRD-24 pa še danes uporabljamo na lokaciji CESS, saj smo jo s povezavo z industrijskim mini računalnikom z majhno porabo električne energije ter z napajanjem z enosmerno napetostjo 12V, ki stoji v neposredni bližini seizmometra, lahko vključili tudi v sodobno okolje nove mreže. Ta oprema deluje že 21 let. Enak model HRD-24 smo, potem ko smo ga umaknili iz lokacije VBY, postavili na novo lokacijo (KBZP), kjer pa je prenehal delovati po poškodbi zaradi udara strele.

## Viri in literatura

1. Dolenc, D., Tasič, I., 1998. Mreža potresnih opazovalnic SABO na severozahodu Turčije, *Ujma* 12, Ljubljana, 199–200.
2. Gosar, A., Živčič, M., Ceci, I., Zupančič, P., 1999. Seizmološke značilnosti potresa (potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju). *Ujma*, 13, 57–65.
3. Gosar, A., 1999. Rezultati raziskav o vplivih lokalne geološke zgradbe na poškodbe objektov. Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju. *Ujma* 13, 102–106.
4. Kanamori, H., in Hauksson, E., 1991. TERRAScope and CUBE project at Caltech. <https://doi.org/10.1029/90E000395>.
5. Lapajne, J., Sinčič, P., Živčič, M., 1998. Načrti za posodobitev opazovanja potresov v Sloveniji. *Ujma*, 12, 153–155.
6. Peterson, J., 1993. Observations and modeling of background seismic noise. Open-file report 93–322, U. S. Geological Survey.
7. Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. *Ujma*, 7, 130–137.
8. Sinčič, P., Vidrih, R., 1994. Pomen točnega časa pri registraciji potresov. *Ujma*, 8, 182–185.
9. Sinčič, P., Vidrih, R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. *Ujma* 9, 185–189.
10. Sinčič, P., Vidrih, R., Deterding, M., 1997. Zapisi potresov skozi čas. *Ujma*, 11, 178–184.
11. Ribičič, M., Vidrih, R., 1998. Plazovi in podori kot posledica potresov. *Ujma*, 12, 95–105.
12. Vidrih, R., Ribičič, M., 1999: Posledice potresa v naravi (potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju). *Ujma*, 13, 107–116.
13. Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. (ur. Vidrih, R.) Agencija RS za okolje, Ljubljana.
14. Tasič I., 2001. Digitalna mreža potresnih opazovalnic Nanometrics, Potresi v letu 1999, 68–73.
15. Tasič, I., 2003. Avtomatska lokacija dogodkov na mreži NMX. Potresi v letu 2001, Agencija RS za okolje, 58–65, Ljubljana.
16. Tasič, I., in Mali, M., 2007. Posodobitve – komunikacijski tunel za HRD-24, Potresi v letu 2006, 74–93.
17. Tasič, I., 2015. Spodnja raven seizmičnega šuma v Sloveniji. *Ujma*, 29, 343–349.