

MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC OKOLI JE KRŠKO

Network of Seismological Stations around the Krško Nuclear Power Plant

Renato Vidrih*, Matjaž Godec**, Andrej Gosar***,
Peter Sinčič**, Izidor Tasič*, Mladen Živčič*

UDK 550.34.04(497.4 Krško)

Povzetek

V različnih programih raziskav potrebnih za oceno potresne nevarnosti na lokaciji Jedrske elektrarne Krško (NEK), ki so bili izdelani v zadnjih desetih letih, je bilo večkrat ugotovljeno, da je nujno izboljšati opazovanje potresne aktivnosti na širšem območju Krške kotline z lokalno mrežo potresnih opazovalnic. Leta 1991 je bil za tako mrežo tudi že izdelan projekt (Trnkoczy in sod., 1991), ki pa zaradi pomanjkanja sredstev ni bil realiziran. Po letu 1993 so se na območju Krške kotline pospešile geološke in predvsem geofizikalne raziskave, sprva v okviru domačega projekta, ki so ga financirali MZT, MOP-URSJV in MGD (1994–1996), kasneje pa z mednarodnim projektom, ki ga je financirala EU prek programa PHARE (1998–2000). S temi raziskavami je bila dokaj dobro pojasnjena površinska in globinska geološka in strukturno-tektonska zgradba Krške kotline. Ker pa vsako ocenjevanje potresne nevarnosti temelji na t. i. seizmotektonskih modelih, ki povezujejo tektonske pojave (prelome) z žarišči potresov, je bila v zaključnem poročilu projekta PHARE ponovno jasno izpostavljena potreba po natančnejšem opazovanju seizmičnosti Krške kotline z modernimi potresnimi opazovalnicami, nameščenimi v neposredni bližini. Predlagano je bilo predvsem opazovanje dveh prelomov, ugotovljenih z geofizikalnimi raziskavami, in sicer Artiškega preloma in domnevnega Orliškega preloma. Slovenija je priporočila iz zaključkov projekta PHARE sprejela kot obvezo, ki naj se izpolni v najkrajšem možnem času.

Mreža potresnih opazovalnic okoli Jedrske elektrarne Krško bo obsegala štiri opazovalnice, od katerih so tri začele delovati v začetku leta 2002, četrta pa bo dokončana do konca leta.

Abstract

Various studies conducted in the past ten years for the purpose of assessing seismological hazards at the location of the Krško Nuclear Power Plant (KNPP) have shown that the monitoring of seismic activity in the Krško basin urgently needs to be improved with the construction of a local network of seismological stations. A project for the setup of such a network was already prepared in 1991 (Trnkoczy et al, 1991), but was never implemented due to lack of funds. After 1993, intensive geological and in particular geophysical studies were conducted in the Krško basin, initially within the scope of a domestic project financed by MZT, MOP-URSJV and MGD (1994–1996), and later within the framework of an international project financed by EU through the PHARE programme (1998–2000). These studies provided a clear explanation of the surface and underground geological and tectonic structure of the Krško basin. However, as each assessment of seismological hazard is based on so-called seismotectonic models linking tectonic phenomena (faults) with earthquake epicenters, the final report of the PHARE project once again clearly exposed the need for the more precise monitoring of seismic activity in the Krško basin by means of modern seismological stations located in the direct vicinity. The report proposed in particular the monitoring of two faults identified by means of geophysical studies, i.e. the Artiče fault and the supposedly existing Orlič fault. Slovenia has accepted the recommendations embodied in the conclusions of the PHARE project as a commitment to be fulfilled within the shortest possible time.

The network of seismological stations around the Krško Nuclear Power Plant will be comprised of four stations, three of which began to operate in the beginning of 2002, and the fourth will be completed by the end of the year.

Število in položaj potresnih opazovalnic (geometrija mreže)

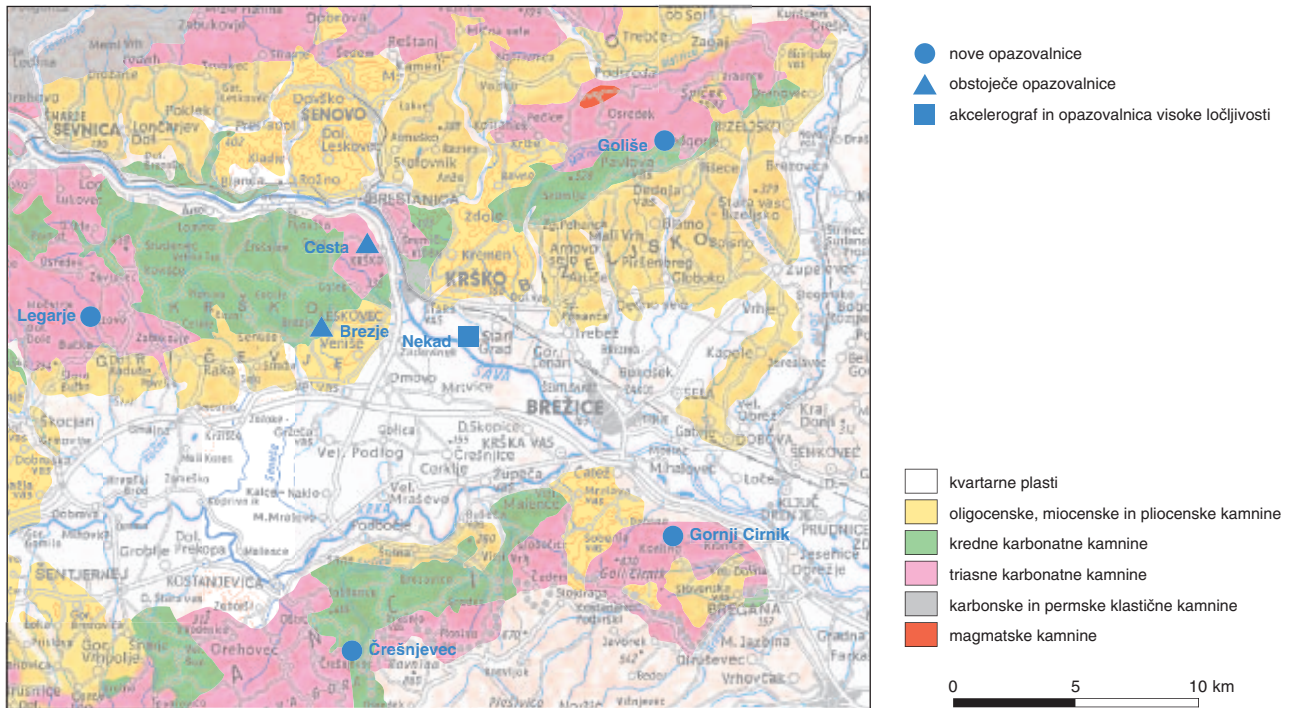
Karakteristike mreže potresnih opazovalnic opisujeta dva glavna parametra, in sicer natančnost lociranja žarišč oz.

nadžarišč potresov in občutljivost mreže za zaznavanje šibkih potresov. Natančnost lociranja žarišč potresov je neposredno odvisna od števila in oddaljenosti potresnih opazovalnic. Za določitev nadžarišča (epicentra) potresa so tako potrebne najmanj tri opazovalnice, če pa želimo določiti še žariščno

* mag., Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

** Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

*** dr., Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana



Slika 1. Poenostavljena geološka karta Krške kotline z vrisanimi obstoječimi potresnimi opazovalnicami in štirimi izbranimi lokacijami za načrtovane opazovalnice

Figure 1. Simplified geological map of the Krško basin showing the existing seismological stations and the four locations selected for the planned stations.

globino, so potrebne najmanj štiri opazovalnice. Občutljivost mreže opazovalnic pa je odvisna od lastnosti seizmološke opreme, od seizmičnega nemira in geoloških pogojev na lokaciji opazovanja ter od oddaljenosti potresov. Pri natančnem opazovanju, kot se zahteva v Krški kotlini, je za seizmotektonske analize treba zaznati in locirati tudi zelo šibke potrese, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih opazovanih prelomov.

Za opazovanje seizmičnosti v Krški kotlini smo glede števila potresnih opazovalnic proučili različne možnosti, od dveh do šestih opazovalnic. Glede na zahtevano občutljivost in natančnost in geološke pogoje je nujno imeti vsaj šest opazovalnic. Ob upoštevanju izvedbenih pogojev, razpoložljive opreme in možnosti zagotovitve sredstev za izgradnjo smo se v tej fazi odločili za mrežo štirih opazovalnic. Pri tej odločitvi so bili ključni geološki pogoji in položaj obstoječih opazovalnic. Večji del Krške kotline namreč prekrivajo kvartarni, nevezani sedimenti, ki so za postavitev potresnih opazovalnic izrazito neprimerni. Ustrezne lokacije smo zato morali iskati na njenem obrobju, ki je zgrajeno iz mezozojskih apnencev in dolomitov z ustrenejšimi mehanskimi lastnostmi. Različne analize so pokazale, da bo osrednje območje Krške kotline dovolj dobro pokrito z dvema opazovalnicama južno od kotline na območju Gorjancev in dvema opazovalnicama severno od nje na območju Krškega hribovja in Orlice (slika 1). Ker je Krška kotlina izrazito razpotegnjena v smeri zahod–vzhod oz. jugozahod–severovzhod, na območju zahodno in vzhodno od ožjega območja zelenega opazovanja ni ustreznih kamnin za namestitev potresnih opazovalnic.

Da bi zmanjšali stroške raziskav, potrebnih za izbor lokacij, smo ponovno ovrednotili nekatere lokacije, ki so bile obravnavane že za projekt iz leta 1991, in jih le dopolnili z manjkajočimi raziskavami. Po proučitvi dokumentacije in terenskem ogledu smo ugotovili, da je iz tega projekta primernih več lokacij na območju Gorjancev, na območju Krškega hribovja so bile potrebne dodatne raziskave, na območju Orlice pa smo morali lokacije iskati na novo. V nadaljevanju obravnavamo geološke in seizmološke pogoje le na štirih izbranih lokacijah.

Geološki pogoji na izbranih lokacijah

Zaželeno je, da se potresna opazovalnica nahaja na čim trši kamnini, ki ima ugodne geotehnične lastnosti in visoko seizmično impedanco. Seizmometer mora biti v stiku z nepreperelo kamnino, zato se postavlja v nekaj metrov globok jašek ali, če je debelina preperine prevelika, v vrtno.

Analiza seizmogeoloških pogojev je obsegala analizo osnovnih in tematskih geoloških kart (npr. inženirskogeološke in tektonske). Kamnine smo glede na njihove seizmogeološke lastnosti razvrstili v štiri razrede, in sicer v: ugodna tla, srednje ugodna tla, manj ugodna tla in slaba tla. V ožji izbor so prišle le lokacije, ki so ležale na ugodnih in srednje ugodnih tleh (magmatske in metamorfne kamnine, apnenci, dolomiti in konsolidirane klastične kamnine – peščenjak, skrilavec). Debelino preperine smo ocenili

s pomočjo geološkega opisa kamnine in s pomočjo pregledne pedološke karte Slovenije. Zaželeno so večje (manj tektonizirane) in enostavnejše avtohtone geološke enote, vendar tega nismo mogli povsod upoštevati zaradi ohranjanja približno enakomerne gostote opazovalnic.

Kabinetnim analizam je sledil geološki ogled terena, pri katerem smo poleg geoloških zbrali še številne druge podatke, kot raba tal, lastništvo, možni viri seizmičnega nemira in možnost zagotovitve komunikacij. Z geološkim ogledom smo ocenili tudi debelino preperine in se odločili, ali so potrebne seizmične refrakcijske meritve. Izgibali smo se boljšim kmetijskim zemljiščem in gozdu, ker z vetrom povzročeno nihanje dreves, ki se prek korenin prenaša v tla, predstavlja močan vir seizmičnega nemira.

V nadaljevanju podajamo kratek geološki opis štirih izbranih lokacij.

1. Legarje (Krško hribovje)

X = 5089 420
Y = 5525 080
Z = 390

Izbrana lokacija se nahaja v plasteh svetlosivega dolomita z vključki apnenca srednjetriasne starosti (T_2^1). Debelino skladov anizične stopnje ocenjujejo na 200 m. Dolomit je delno skladovit, večinoma masiven, ponekod tudi brečast. Leži konkordantno na skladih skitske stopnje. 50 m severno poteka fotogeološko opazovan prelom s strmim vpadom v smeri V–Z.

2. Goliše (Orlica)

X = 5096 660
Y = 5548 725
Z = 570

Lokacija leži v plasteh norijske in retijske stopnje (T^{2+3}), ki so razvite v treh litoloških faciesih, in sicer kot plastovit dolomit z rožencem (debelina 40–70 m), masiven dolomit (debelina okrog 700 m) in kot dachsteinski apnenec (30–60 m). Ploščat dolomit z rožencem nastopa v 10 do 20 cm debelih plasteh z vključki temnosivega do črnega roženca. Starost teh plasti je ocenjena na podlagi litološkega razvoja in podobne klasifikacije na sosednjih terenih. Masiven zrnat dolomit je sive, svetlosive, ponekod tudi bele barve, srednje ali debelozmrate strukture. Ponekod je tudi skladovit. Stiki tega dolomita s starejšimi kamninami so večinoma tektonski. Plastovit dachsteinski apnenec je sive, svetlosive do skoraj bele barve. Poznamo ga kot skladovit in debeloskladovit apnenec, ki ponekod lateralno in vertikalno prehaja v zrnat in masiven dolomit. Prisotnost mikrofosilov v naštetih kamninah nam dokazuje zgornjetriasno starost. 250 m zahodno poteka pokrit prelom v smeri JZ–SV, 100 m vzhodno pa pokrit prelom v smeri SZ–JV

3. Črešnjevce pri Oštrcu (Gorjanci)

X = 5075 705
Y = 5535 825
Z = 415

Lokacija leži v triasnih plasteh (srednji in zgornji trias – T_{2+3}) blizu meje z jurskimi kamninami (spodnja in srednja jura – J_{1+2}), ki jih gradita svetlosiv plastovit apnenec in plastovit dolomit z vložki apnenca. Zgornjetriasnih in srednjetriasnih dolomitov med seboj ne moremo ločiti. Zgornjetriasni dolomit je zrnat in pasast, vsebuje tudi fosile. Na njem ležijo konkordantno jurski sedimenti. Navzdol prehaja zgornjetriasni dolomit v dolomit, podoben cordevolskemu, z nejasnimi ostanki diplopor, nato sledi plast dolomita z lečami tufa, ki lateralno prehaja v siv plastovit dolomit. 100 m južno poteka fotogeološko opazovan prelom v smeri V–Z, 450 m, vzhodno pokrit prelom v smeri SZ–JV, 500 m severno pa fotogeološko opazovan prelom v smeri SZ–JV.

4. Gornji Cirk (Gorjanci)

X = 5080 425
Y = 5549.035
Z = 405

Lokacija se nahaja v plasteh svetlosivega do temnosivega apnenega dolomita z vključki temnosivih do črnih skrilavcev zgornjetriasne starosti (T_3). Debelina zgornjetriasnih dolomitov je ocenjena na okoli 700 m. Najmlajši del zgornjetriasnih plasti je sestavljen iz naslednjih izmenjajočih se kamnin: dolomita, sivega apnenca in dolomitiziranega apnenca. Tu so ugotovili tudi prisotnost fosilov. 250 m vzhodno od lokacije poteka domneven prelom v smeri SZ–JV, 400 m zahodno pa domneven prelom v smeri JZ–SV.

Geofizikalne raziskave lokacij z refrakcijsko seizmiko

Cilj raziskav z refrakcijsko seizmično metodo je bil določitev debeline preperine in hitrosti seizmičnih valov v osnovni kamnini. Iz tega lahko sklepamo na kakovost osnovne kamnine in načrtujemo globino izkopa. Če je bila debelina preperine večja kot 5 metrov, smo se odločili za postavitve senzorjev v vrtno ali za novo lokacijo. Na obeh lokacijah na Gorjancih (Črešnjevce in G. Cirk) je refrakcijske seizmične meritve opravil Geoexpert (Zagreb) leta 1990 (Jagatić, 1990). Za lokaciji Legarje in Goliše smo sklenili pogodbo z Geoinženiringom d. o. o., ki je meritve opravil v začetku aprila 2001 (Stopar, 2001).

Na vsaki lokaciji sta bila izmerjena dva profila dolžine okoli 100 m v pravokotnih smereh, in sicer na obeh lokacijah na Gorjancih samo z longitudinalnimi (P) valovi, na Legarjah in Golišah pa ločeno z longitudinalnimi (P) in transverzalnimi (S) valovi. V nadaljevanju na kratko podajamo glavne rezultate refrakcijskih seizmičnih raziskav po posameznih lokacijah.

Legarje (Krško hribovje)

Na lokaciji Legarje smo ugotovili triplastni sistem. Prvo, vrhno plast debeline okoli 2 m predstavlja humus in preperina, v kateri je hitrost P-valov okoli 410 m/s, hitrost

S-valov pa 160 m/s. Druga plast je debela povprečno kar okoli 12 m in jo gradi preperel, razpokan ali tektonsko porušen dolomit s P-hitrostjo okoli 930 m/s in S-hitrostjo 510 m/s. Globina do kompaktnejše srednjetrojne dolomitne podlage je tako kar okoli 14 m, kar je več od pričakovanega, tudi glede na lego na vrhu vzpetine, kjer je debelina preperine navadno manjša. P-hitrost v podlagi je okoli 2050 m/s, S-hitrost pa okoli 1140 m/s. Na podlagi ugotovljenih razmer smo se na lokaciji Legarje odločili za izvedbo potresne opazovalnice z namestitvijo seizmometra v do 18 m globoko vrtno.

Goliše (Orlica)

Na lokaciji Goliše smo prav tako ugotovili triplastni sistem. Vrhnja plast humusa in preperine je debela okoli 2 m. Hitrost P-valov je 340 m/s in S-valov 140 m/s. Pod njo je povprečno 7,4 m debela plast preperelega in razpokanega dolomita s P-hitrostjo okoli 1010 m/s in S-hitrostjo 520 m/s. Globina do kompaktnejšega zgornjetriasnega dolomita je tako povprečno 9,5 m. Hitrost P-valov v dolomitni podlagi je okoli 2010 m/s, S-valov pa okoli 890 m/s. Tudi na tej lokaciji večja globina do kompaktne kamninske podlage ne omogoča izvedbe opazovalnice s seizmometrom v jašku, zato smo se morali odločiti za vrtno izvedbo.

Črešnjevce pri Oštrcu (Gorjanci)

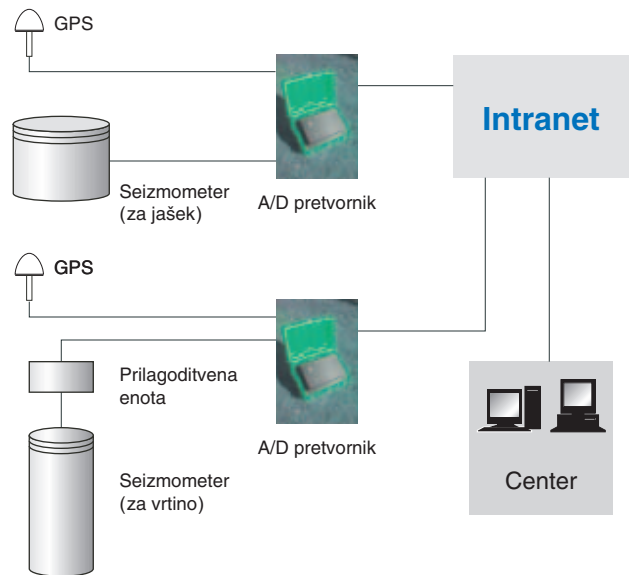
Na lokaciji Črešnjevce smo v enem profilu ugotovili dve, v drugem pa triplastni sistem. Debelina površinske nizko-hitrostne plasti je 2–3 m, hitrost P-valov pa med 310 in 730 m/s. Po triplastni varianti je pod njo plast debeline do 5 m s P-hitrostjo do 1200 m/s, po dvoplastni varianti pa je pod površinsko plastjo preperine že kompaktnejši dolomit srednje- ali zgornjetriasne starosti s hitrostjo P-valov med 2150 in 2300 m/s. Globina do kompaktne podlage je po obeh variantah interpretacije refrakcijskih podatkov med 2 in 8 m. Ocenjujemo, da to omogoča izvedbo opazovalnice s seizmometrom v jašku.

Gornji Cirknik (Gorjanci)

Na lokaciji G. Cirknik smo ugotovili dvoplastni sistem. Debelina površinske plasti humusa in preperine je med 3 in 6 m, hitrost P-valov pa med 480 in 600 m/s. Pod njo je zelo kompakten zgornjetriasni dolomit s hitrostjo P-valov med 3700 in 4000 m/s. Meritve kažejo za ugodne pogoje za izgradnjo potresne opazovalnice z namestitvijo seizmometra v jašek.

Analiza seizmičnega nemira

Občutljivost potresne opazovalnice je pogojena z nivojem seizmičnega šuma v frekvenčnem območju, v katerem pričakujemo seizmični signal. Pri širokopasovnih regionalnih opa-



Slika 2. Tehnična izvedba potresnih opazovalnic in prenosa podatkov

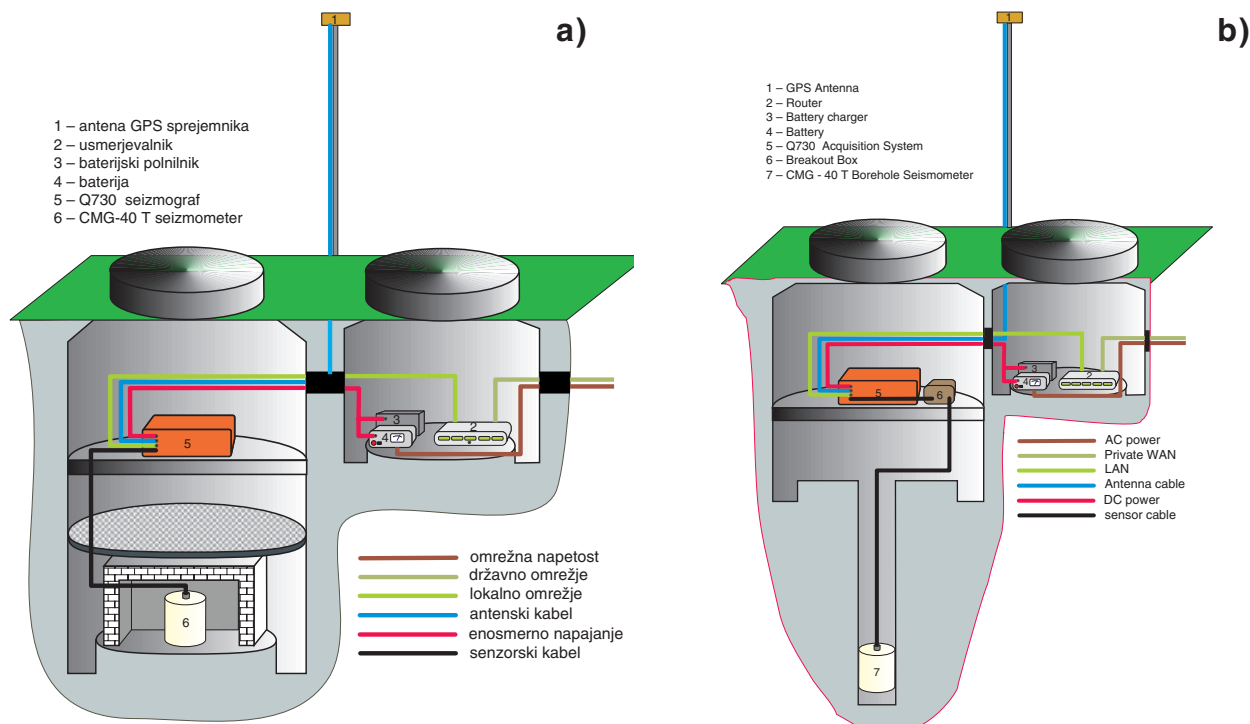
Figure 2. Technical scheme of seismological stations and data transfer.

zovalnicah je to praviloma med 0,01 Hz in 50 Hz, pri posebnih lokalnih raziskavah lahko tudi več kot 200 Hz. Za popoln izkoristek inštrumentov je idealno, če je šum vseh komponent (naravnega okolja, seizmometra in ojačevalca/digitalizatorja) enak.

Nivo seizmičnega šuma ugotavljamo z meritvami. Ker je te možno izvesti le v omejenem času, je zelo verjetno, da z meritvami niso zajeti vsi možni viri. Zaradi tega je nujno upoštevati tudi vse znane vire motenj (posebej dalj časa trajajoče, kot so npr. industrijske žage in bati, črpalke, promet...), ki lahko zmanjšajo občutljivost opazovalnice. Redki kratkotrajni viri motenj (npr. razstreljevanja v kamnolomih, prehod vlaka na manj prometni železnici...) se lahko izločijo z naknadno obdelavo posnetkov in ne vplivajo bistveno na lastnosti opazovalnice. Praviloma je seizmični šum večji, če sta vir šuma in opazovalnica na enaki podlagi (na isti geološki enoti).

Za podrobno ugotavljanje seizmičnega šuma v neki točki bi potrebovali dolgotrajne meritve, ki bi nam dale podatke, potrebne za oceno šuma v različnih obdobjih dneva in leta ter v različnih vremenskih pogojih. Za tako obsežne meritve nismo imeli dovolj časa. Na lokacijah Legarje, Matko, Gornji Cirknik, Ponikve in Črešnjevce pri Oštrcu, ki so prišle v ožji izbor, so bile meritve nemira z analogno in potem še z digitalno opremo prvič narejene že v okviru projekta, izdelanega v letih 1990/1991. Kljub temu smo meritve na vseh lokacijah ponovili, na novoizbranih lokacijah Goliše in Vrhovnice (Orlica) pa smo meritve izvedli prvič.

Vse meritve smo izvedli na delovni dan med 9. in 16. uro, in sicer v devetih zaporednih 80-sekundnih posnetkih in enem posnetku, daljšem od 5 minut. V času meritev smo beležili vse dogodke, ki bi lahko vplivali na meritve (promet,



Slika 3. Shematski prikaz potresne opazovalnice. V merilnem jašku vidimo senzor, ostala oprema za napajanje in komunikacijo pa je v pomožnem jašku. Primer opazovalnice Črešnjevce in Gornji Cirknik (a). Na lokacijah Legarje in Goliše pa je senzor v 18 m globoki vrtini (b).

Figure 3. Schematic presentation of seismological station. A sensor is located in the detection shaft, while other power supply and communications equipment is in the auxiliary shaft. The Črešnjevce and Gornji Cirknik stations (a). At the locations of Legarje and Goliše, the sensor is located in an 18-metre-deep borehole (b).

hoja, močnejši veter, delovanje merilnih naprav ...). Za primerjavo smo z vseh digitalnih potresnih opazovalnic državne mreže shranili 5-minutne zapise, nastale v času meritve. Meritve smo izvedli na zgoraj omenjenih sedmih lokacijah. Primerjava nivoja seizmičnega nemira na teh lokacijah z drugim lokacijami v Sloveniji kaže na razmeroma ugodne pogoje.

Možnost odkupa zemljišča

Za gradnjo potresnih opazovalnic na izbranih lokacijah okoli JE Krško smo opravili razgovore z lastniki zemljišč, predstavniki občin in predstavniki upravnih enot.

Ob predstavitvi potresnih opazovalnic kot infrastrukturnih objektov državnega pomena smo tako na občinah (Škocjan, Krško, Brežice) kot na upravnih enotah (Sevnica, Krško, Brežice) naleteli na razumevanje. Skupno smo pregledali lego izbranih lokacij. Predstavniki občin in upravnih enot so nam zagotovili pomoč pri administrativnih in upravnih postopkih.

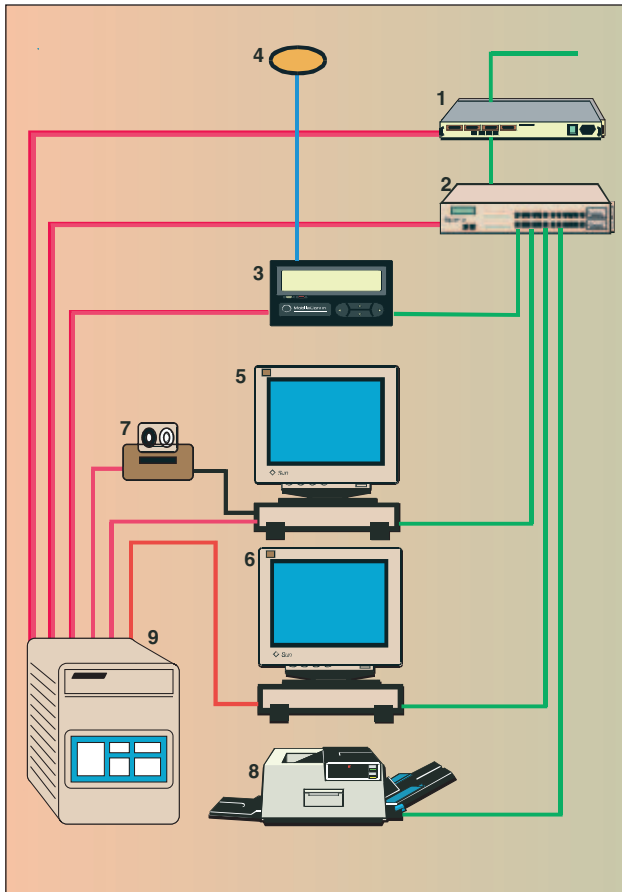
Končno izbrane lokacije so na parcelah, kjer se lastniki strinjajo s prodajo dela zemljišča, potrebnega za potresno opazovalnico. Žal zaradi smrti solastnice zemljišča na

lokaciji Gornji Cirknik ni bilo možno odkupiti zemljišča do zapuščinske razprave. Na ta način je bilo onemogočeno pridobivanje soglasij in dovoljenj, sama izgradnja potresne opazovalnice pa je prestavljena v leto 2002.

Tehnične značilnosti seizmološke opreme in prenos podatkov

Seizmične podatke štirih potresnih opazovalnic v Krški kotlini bo obdeloval Urad za seizmologijo Agencije RS za okolje. Zato da so postopki obdelave seizmičnih zapisov učinkoviti, podatki primerljivi med seboj in vzdrževanje opreme enotno, je oprema, ki je namenjena natančnem opazovanju seizmičnosti Krške kotline, usklajena z opremo državne mreže potresnih opazovalnic.

Potresne opazovalnice državne mreže so s središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani povezane prek državnega računalniškega omrežja (HKOM). Seizmični podatki iz potresnih opazovalnic prihajajo v realnem času neprekinjeno v središče za obdelavo podatkov, kjer jih dve delovni postaji takoj (v realnem času) avtomatsko obdelujeta, shranjujeta seizmične zapise v krožni pomnilnik ter tudi obveščata seizmologe o možnih dogodkih (slika 2).

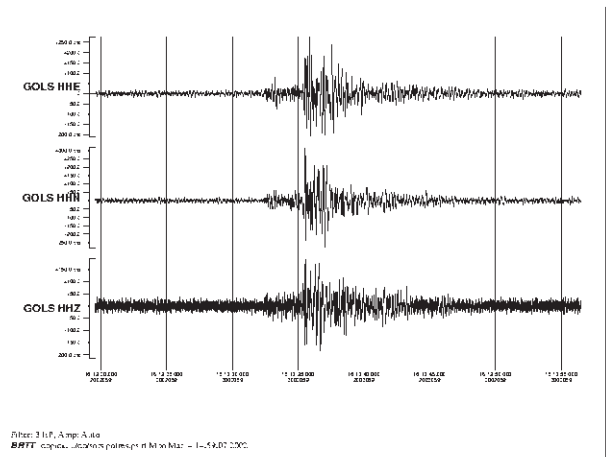


Slika 4. Središče za obdelavo podatkov sestavljajo:

- 1 – usmerjevalnik, ki povezuje središče za obdelavo podatkov z državnim računalniškim omrežjem,
- 2 – koncentrator, ki omogoča zvezdno topologijo lokalnega omrežja,
- 3 – omrežni časovni strežnik NTS-90, ki zagotavlja točno časovno bazo,
- 4 – antena GPS sprejemnika,
- 5 – delovna postaja Sun Blade 100 za zajem in obdelavo podatkov v stvarnem času,
- 6 – delovna postaja Sun Blade 100 za obdelavo podatkov,
- 7 – tračna enota za shranjevanje podatkov s kapaciteto 72 GB,
- 8 – tiskalnik,
- 9 – brezprekinitveno napajanje, ki omogoča enourno delovanje ob izpadu omrežja.

Figure 4. The data processing centre is comprised of:

- 1 – a router linking the data processing centre with the national computer network
- 2 – a concentrator enabling the star topology of the local network
- 3 – NTS-90 network time server ensuring a precise time base
- 4 – antenna of GPS receiver
- 5 – Sun Blade 100 work station for the intake and processing of data in real time
- 6 – Sun Blade 100 work station for data processing
- 7 – data storage track unit with a capacity of 72 GB
- 8 – printer
- 9 – uninterrupted power supply enabling one-hour operation in case of power network failure.



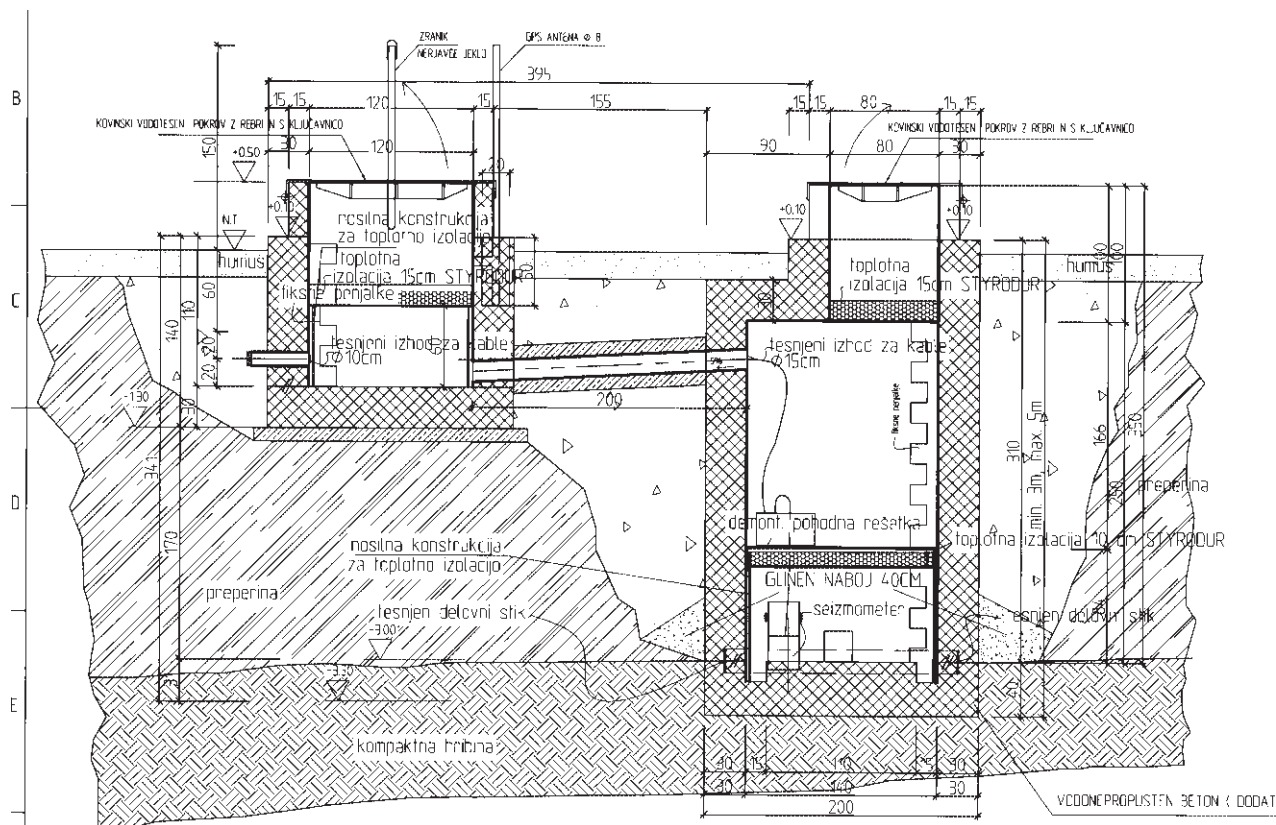
Slika 5. Zapis treh komponent potresa 28. februarja 2002 z žariščem na območju Kostanjevice ($M = 0,8$), zabeležen na novi potresni opazovalnici v Golišah

Figure 5. Three components of the 28 February 2002 earthquake with its epicenter in the Kostanjevica area ($M = 0.8$), recorded at the new seismological station in Goliše.

Vsaka potresna opazovalnica je opremljena s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG 40 s frekvenčnim območjem med 0,033 Hz in 50 Hz. Seizmični signal je pretvorjen v digitalno obliko s 24-bitnim analogno-digitalnim (A/D) pretvornikom v zajemalni enoti Quanterra Q730. Signal vzorčimo s frekvenco 200 vzorcev na sekundo. V Q730 je vgrajen GPS-sprejemnik, da so seizmični podatki opremljeni s točnim časom, za komunikacijo s centralno procesno enoto v središču za obdelavo podatkov v Ljubljani pa je vgrajena omrežna kartica Ethernet. Komunikacija med centralno procesno enoto in potresno opazovalnico poteka prek TCP/IP protokola po državnem računalniškem omrežju. V vsaki opazovalnici je priključek na državno omrežje HKOM z usmerjevalnikom in modemom, prenos podatkov pa teče po najeti liniji. V Q730 je tudi lokalni pomnilnik, kamor se ob izpadu prenosa na zvezah začasno shranjujejo podatki. Potresna opazovalnica je priključena na omrežno napetost 220 V, ob izpadu pa za napajanje zajemalne enote, senzorja in komunikacijske opreme skrbi dodatna baterija z razsmernikom.

Središče za obdelavo podatkov je opremljeno z dvema delovnima postajama Sun Blade 100 z operacijskim sistemom Solaris 8 in programsko opremo Antelope. Sistemska programska oprema Antelope je sodobna programska oprema, namenjena seizmološkim sistemom, ki delujejo v realnem času in komunicirajo na osnovi IP-protokola. Antelope skrbi za sprejem podatkov v realnem času, manipulacijo s podatki in ročno ter avtomatsko analizo.

Ena delovna postaja neprekinjeno sprejema podatke iz potresnih opazovalnic in jih zapisuje v šestdnevni krožni pomnilnik. Naloga druge delovne postaje je, da prispele podatke avtomatsko preliminarno obdeluje in obvešča dežurnega seizmologa. Detektor dogodkov temelji na algoritmu STA/LTA. Kasneje seizmolog po potrebi analizira dobljene rezultate in popravi izračune. Za arhiviranje



Slika 6. Načrt potresne opazovalnice

Figure 6. Layout of seismological station.



Slika 7. Primer izkopa na lokaciji Črešnjevec (stanje 5. 12. 2001). Opravljen je izkop v matično kamnino do globine cca 4,50 m.

Figure 7. Example of excavation works at the Črešnjevec location (on 5 Dec. 2001). An approx. 4.50 metre-deep pit was dug in the base rock.



Slika 8. Naslednja faza je betoniranje podlage jaška, v katerem bodo instrumenti. Prikazano je stanje na lokaciji Goliše 5. 12. 2001.

Figure 8. The next phase is the concreting of the shaft base in which the instruments will be located. The photo shows the progress status of works at the Goliše station on 5 Dec. 2001.

zapisov je dodana DAT-enota s kapaciteto 72 GB. Delovni postaji sta med seboj časovno usklajeni s časovnim strežnikom. Za nemoteno delovanje so vse enote priključene na brezprekinitveno napajanje.

Seizmološko omrežje okoli NEK sestavljajo štiri trikanalne potresne opazovalnice, dve s senzorjem v seizmičnem

jašku in dve s senzorjem v 18 metrov globoki vrtini. Shematski prerezi obeh vrst opazovalnic prikazujeta sliki 3a in 3b. V prvem primeru je trikomponentni širokopasovni senzor direktno povezan z napravo za zajemanje podatkov v seizmičnem jašku, senzor v vrtini pa prek prilagoditvenega vezja. Zajemalni sistem Quanterra Q730 je širokopasovni sistem za zajem podatkov s 24-bitnim



Slika 9. Sledi obbetoniranje postavljenih PHD-jaškov, v katerih bodo nameščeni instrumenti. Prikazano je stanje na lokaciji Legarje 5. 12. 2001.

Figure 9. The concreting of installed PHD shafts in which the instruments will be located. The photo shows the progress status of works at the Legarje location on 5 Dec. 2001

analogno-digitalnim pretvornikom na vhodu, z delta-sigma modulacijo in konstantno frekvenco vzorčenja 20 kHz. Nižje frekvence vzorčenja dobimo s filtriranjem in decimacijo v signalno-procesni enoti. Računalniški sistem z lokalnim RAM-pomnilnikom omogoča paketni prenos podatkov v stvarnem času. Za prenos podatkov je uporabljen TCP/IP-protokol, ki omogoča uporabniku nastavitve prioritetnih prenosov različnih vrst podatkov, na primer dolgoperiodne dogodke ali kontinuirani prenos vseh podatkov po enem samem kanalu. Protokol vključuje prenos opozorilnih sporočil in nastavitve parametrov ter konfiguracijo instrumenta iz centrale. Točen čas zagotavlja vgrajeni GPS-sprejemnik. Za celotno delovanje zajemalnega sistema skrbi programska oprema Ultra-Shear. V pomožnem jašku se nahaja ta komunikacijska oprema, ki jo sestavljata usmerjevalnik in modem, ter baterijsko napajanje s polnilcem baterije in razsmernikom. Napajalna napetost zajemalne enote in senzorja je enosmerna napetost 12 V, razsmernik pa je potreben zaradi napajanja komunikacijske opreme. Baterija omogoča 24-urno delovanje sistema brez omrežne napetosti 230 V.



Slika 10. Stanje del na lokaciji Goliše ob prekinitvi del 14. decembra 2001 (opravljena betonska dela, onemogočeno polaganja elektroenergetskega kabla zaradi nizkih temperatur)

Figure 10. The status of works at the Goliše location upon their interruption on 14 Dec. 2001 (concreting works completed, installation of electric power cable not possible due to low temperatures).



Slika 11. Stanje del na lokaciji Legarje ob prekinitvi del 14. decembra 2001 (opravljena betonska dela, onemogočeno polaganja elektroenergetskega kabla zaradi nizkih temperatur)

Figure 11. The status of works at the Legarje location upon their interruption on 14 December 2001 (concreting works completed, installation of electric power cable not possible due to low temperatures).

Središče za obdelavo podatkov (SOP)

Shemo središča za obdelavo podatkov prikazuje slika 4. Sestavljajo ga:

- usmerjevalnik, ki omogoča vključitev lokalnega računalniškega omrežja središča za obdelavo podatkov v državno računalniško omrežje;
- razdelilnik, ki omogoča zvezdno konfiguracijo lokalnega omrežja;



Slika 12. Stanje del na lokaciji Legarje 30. januarja 2002 (opravljena betonska dela in zasip jame, položena telekomunikacijski in energetski kabel)

Figure 12. The status of works at the Legarje location on 30 January 2002 (concreting works completed, pit refilled, telecommunication and power supply cables installed).



Slika 14. Stanje del na lokaciji Goliše 30. januarja 2002 (opravljena betonska dela, položena elektroenergetski in telekomunikacijski kabel)

Figure 14. The status of works at the Goliše location on 30 January 2002 (concreting works completed, electric power and telecommunication cables installed).



Slika 13. Stanje del na lokaciji Črešnjevce 30. januarja 2002 (opravljena betonska dela, elektroenergetski in telekomunikacijski kabel sta bila položena 4. 2. 2002)

Figure 13. The status of works at the Črešnjevce location on 30 January 2002 (concreting works completed, electric power and telecommunication cables installed on 4 February 2002).



Slika 15. Pogled v jašek z merilnimi instrumenti. Senzor je postavljen v vrtino pod jaškom.

Figure 15. A look into the shaft with measuring instruments. The sensor is located in the borehole below the shaft.

- mrežni časovni strežnik (NTS), ki omogoča, da je ura v SOP točna, z natančnostjo ujemanja znotraj UTC na 1ms;
- prva delovna postaja Sun Blade 100, ki je namenjena zajemanju podatkov v realnem času in arhiviranju, in druga, namenjena analizi podatkov;
- DAT-enota z 6 DDS-3 trakovi, ki omogoča do 72 Gbyte shranjevanja podatkov; enota je preko SCSI-vrat povezana s primarno delovno postajo;
- mrežni tiskalnik, namenjen tiskanju rezultatov analiz, kontrolnih datotek itd.;
- brezprekinitveni napajalnik (UPS), ki je dimenzioniran tako, da omogoča enourno delovanje aparatov središča za obdelavo podatkov ob izpadu omrežne napetosti.

Sklepne misli

Izgradnja potresnih opazovalnic okrog Krške kotline je del izgradnje in posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic. Ozemlje Slovenije sodi po številu in moči potresov med aktivnejša območja. Potresno najbolj nevarna območja so Zgornje Posočje, idrijsko območje, Ljubljanska kotlina in Krška kotlina.

Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev take državne potresne opazovalne mreže, ki bo za potres, ki se zgodi kjerkoli na ozemlju Slovenije, omogočila obveščanje o njegovih osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času.



Slika 16. Okolico obeh jaškov čaka še zatravitev in postavitve ograje

Figure 16. The area surrounding the two shafts still needs to be greened and fenced in.



Slika 17. Dokončana potresna opazovalnica Črešnjevce pri Črneči vasi

Figure 17. Completed seismological station at Črešnjevce near Črneča vas.

Sklep o posodobitvi slovenske seizmološke mreže je sprejela Vlada Republike Slovenije po potresu 12. aprila 1998 v Zgornjem Posočju, posodobitev pa naj bi trajala pet let. Konec leta 2003 naj bi bila posodobitev končana, državno mrežo pa naj bi sestavljalo 25 potresnih opazovalnic s stalnim prenosom podatkov v središče za obdelavo podatkov in samodejnim izračunom osnovnih parametrov potresov ter obveščanjem.

Opomba

Vse fotografije so prispevali avtorji članka.
All photos were contributed by the authors of this paper.

Literatura

1. Jagatič, I., 1990. Krško – geofizička (seizmička) izpitivanja. Zagreb, Geoexpert.
2. <http://www.kinematics.com/q730.html>
3. <http://orfeus.knmi.nl/>
4. <http://www.guralp.com/>
5. Stopar, R., 2001. Seizmične preiskave na lokacijah načrtovanih seizmoloških opazovalnic v okolici NE Krško, lokaciji Legarje in Goliše. Ljubljana, Geoinženiring.
6. Trnkoczy, A. in sod., 1991. Projekt izgradnje lokalne seizmološke mreže NE Krško. Ljubljana, Seizmološki zavod RS.