

OBISK GEOFIZIKALNEGA OBSERVATORIJA ČRNI GOZD

A VISIT TO THE GEOPHYSICAL BLACK FOREST OBSERVATORY

Izidor Tasič

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

Povzetek

Observatorij Črni gozd (nem. Das Geowissenschaftliche Gemeinschafts Observatorium Schiltach; ang. Black Forest Observatory – BFO) je raziskovalna ustanova, ki opravlja zelo natančne geofizikalne meritve, kot so zaznavanje šibkih seizmičnih signalov z Zemeljine oble, merjenje Zemeljine gravitacije in magnetnega polja ter drugo. Najboljši seizmološki merilni sistemi, ki so v opuščenem rudniškem jašku v granitni skali 170 metrov pod površino Zemlje, predstavljajo tudi izredno okolje za preizkušanje novih seizmometrov, kot je bil na primer seizmometer, ki danes meri potrese na Marsu. Oktobra 2019 smo bili na delovnem obisku v observatoriju Črni gozd, v katerem so nam razkazali ustanovo in predstavili dejavnosti s poudarkom na seizmoloških sistemih ter meritvah.

Abstract

The Black Forest Observatory (BFO) is a research institution that takes various very accurate geophysical measurements, such as the detection of weak seismic signals from all over the globe, and the detection of Earth's gravity and magnetic fields. The best seismological measuring systems, located in an abandoned mine in granite rock 170 metres below the surface of the Earth, also represent an exceptional environment for carrying out tests of new seismometers, such as, for example, testing the seismometer that is measuring marsquakes on Mars today. In October 2019, we went on a working visit to the BFO, where they showed us the observatory and presented activities focusing on seismological systems and measurements.

Uvod

Ko so leta 1770 začeli rudariti v Antonovem rudniku v središču nemške pokrajine Schwarzwald (Črni gozd) v bližini kraja Schiltach, kjer so kopali srebrovo in kobaltovo rudo, si verjetno niso predstavljali, da bodo 300 let pozneje zapuščene rove rudnika izbrali za lokacijo v svetovnem merilu zelo pomembnega geofizikalnega observatorija Black Forest Observatory (BFO).

Rudnik, ki je nehal obratovati leta 1860, so leta 1970 zaradi kamnine, in sicer granita, oddaljenosti od večjih industrijskih virov seizmičnega nemira in bližine dveh univerz, Tehnološkega inštituta Karlsruhe (KIT) ter univerze v Stuttgartu, izbrali za lokacijo novega geofizikalnega observatorija. Od leta 1970 do 1972 so potekala pripravljalna dela v vrednosti 750.000 tedanjih nemških mark, kar bi bilo danes 2,5 milijona evrov, obsegala pa so ureditev rudniških jaškov in postavitve montažne zgradbe s pisarnami ter delavnico v neposredni bližini vhoda v rudniški jašek. Obnovljeni rovi segajo 700 metrov v notranjost granitne skale in na koncu ležijo približno 170 metrov pod površjem (slike 1, 2, 3, 4 in 5). Po namembnosti lahko rudniški rov razdelimo na tri območja. Prvi del rova s 300 metri je namenjen dostopu, srednji del rova z 200 metri pa začasnim meritvam in podporni opremi. V tem delu rova so ob straneh komore začasne postavitve merilnih instrumentov in nekatere podporne sisteme. Zadnji del rova je namenjen stalnim in zelo natančnim geofizikalnim meritvam.

Dostop do njega zapira par hermetično zaprtih vrat, s čimer je onemogočen vpliv zunanjega sveta na instrumente, ki so tu stalno postavljeni. Sistem dvojnih vrat minimizira tudi vpliv prehoda. Vstop v ta del rudnika je mogoč le, ko je to res nujno, na primer ob napakah na instrumentih. Na začetku delovanja observatorija so imeli le ena hermetična vrata, vendar se je to pokazalo



Slika 1: Zaradi velike vlažnosti v rovu so komunikacijski in električni priključki v posebnem na zunanji strani prozornem zaščitnem ohišju.
(foto: I. Tasič)

Figure 1: Due to the high humidity in the mine, the communication and electrical connections are in a special transparent protective housing
(Photo: I. Tasič)



Slika 2: Dr. Thomas Forbriger in mag. Marko Mali v sobi s testnimi seizmometri v srednjem delu rova (foto: I. Tasič)

Figure 2: Dr Thomas Forbriger and Marko Mali MSc in the room with the test seismometers in the central part of the mine's shaft (Photo: I. Tasič)

kot nezadostno, saj je stabilizacija meritve po vstopu trajala 48 ur. Tlačna motnja, ki jo človeška čutila sploh ne zaznavajo, se po vstopu v zadnji del rova s sistemom dvojnih vrat umiri po štirih urah.

Na tem območju neprekinjeno merijo zelo kakovostni geofizikalni instrumenti, kot so seizmometri (Streckeisen STS-1 in STS-2), gravimetri (superprevodni gravimeter, gravimeter LaCoste Romberg), tiltmetri in magnetometri. Sočasno potekajo okoljske meritve tako v rudniku kot okolici, in sicer meritve tlaka, vlažnosti, padavin in drugega, s čimer lahko izmerjene vrednosti popravljajo. Povečana raven površinske vode zaradi dežja na primer vpliva na izmerjeno težnost, kar ponazarja, kako natančne so meritve.

Seizmološke meritve

Poudarek našega obiska so bile seizmološke meritve in dejavnosti, ki so povezane s seizmološkimi merilnimi instrumenti. Granit, v katerem je rova, je v seizmičnem smislu najboljša kamnina, saj ima zelo visoko seizmično impedanco, kar pomeni, da z zelo malo dušenja prevaja seizmična valovanja, zato lahko zaznavajo tudi zelo šibke seizmične signale. To je pomembno pri detekciji lastnega nihanja Zemlje ob najmočnejših potresih, saj so to šibki signali z zelo dolgimi periodami in jih je sicer zelo težko zaznati. Observatorij Črni gozd je ena redkih lokacij na svetu, kjer je taka detekcija mogoča.

Granit ima še eno dobro lastnost. V nasprotju z apnenecem in marmorjem, ki se v vodi topita, je vododržan. To pomeni, da voda, ki pronica s površja med kamnitimi skladi skupaj z hermetičnimi vrati sodeluje pri tesnjenju merilnega območja. Tega ni mogoče doseči v kraških jamah in rudnikih, ki so skopani v apnenčaste sklade.

Meritve potekajo v neprodušno zaprtem prostoru, zato je okolje stabilno in neodvisno od vremenskih razmer na površju. Letno nihanje temperature tako znaša manj kot 0,1 °C. V Sloveniji je letno nihanje temperature na potresnih opazovalnicah v neposredni bližini seizmometra pod dodatno izolacijsko posodo med pet in sedem °C. Prav tako v rudniškem rovu ni seizmičnega signala zaradi vetra in posledičnega nihanja dreves, saj se te motnje z globino hitro zadušijo. Podobno velja za antropogen seizmični nemir, toda tudi na tej globini seizmometri še vedno zaznajo visokofrekvenčni signal mlinov iz nekaj kilometrov oddaljene tovarne.

Ko so med rudarjenjem kopali rova, je prihajalo do spremembe v napetosti v kamenini v okolici rova, zato bi lahko relaksacijski procesi v kameninah povzročali seizmične motnje. Teh motenj danes ne zaznavajo več, kar pomeni, da so zadnje rudarske aktivnosti potekale pred dovolj časa in so se relaksacijski procesi že končali oziroma je rova popolnoma stabilen.

K temu, da je observatorij Črni gozd tudi glede seizmoloških merilnih instrumentov edinstven v svetovnem merilu in zato posredno kot lokacija tudi zanimiv za preizkušanje novih seizmometrov, je pomembno prispeval fizik Erhard Wielandt, ki je med letoma 1972 in 1988 deloval na Inštitutu za geofiziko na univerzi ETH v Zürichu v Švici. Leta 1975 je pod njegovim vodstvom Gunar Streckeisen začel razvijati seizmometer, ki je bil podlaga za pozneje zelo znan in še danes edinstven seizmometer STS-1 (Wielandt in Streckeisen, 1982). Leta 1979 je Streckeisen ustanovil podjetje, ki je seizmometer STS-1 komercialno izdelovalo. Sodelovanje z Wielandtom se je nadaljevalo tudi pri razvoju seizmometra STS-2, ko je bil ta leta 1988 že imenovan za profesorja in direktorja na



Slika 3: Seizmometri na testnem poligonu na betonskem podstavku v srednjem delu rova so zaščiteni z dodatno termično izolacijsko prevleko. (foto: I. Tasič)

Figure 3: Seismometers on the test site (on a concrete base) in the central part of the BFO shaft. They are protected by additional thermal insulation (Photo: I. Tasič)

Obisk observatorija

Bil je deževen in turoben dan. Do observatorija Črni gozd zadnjih nekaj deset metrov vodi skoraj skrita cesta, saj na observatorij niti na podeželski cesti niti odcepu ne opozarja nobena tabla. Sprašujem se, ali sva s sodelavcem na pravi poti. Enako vprašanje se mi pojavi, ko zagledam objekt, ki se mu vidi, da ni bil obnovljen že 40 let, ali pa sem dobil tak občutek zaradi meglic in pršenja dežja, saj je pred objektom tabla, ki nama pove, da sva prišla prav. Rahlo sva nervozna tudi zato, ker je dr. Rudolf Widmer-Schnidrig, s katerim smo se pogovarjali o delovnem obisku, zjutraj sporočil, da ga zaradi bolezni ne bo, zato naju bo sprejel dr. Thomas Forbriger. Ko sva pozvonila na zvonec pri vratih in čez nekaj trenutkov še enkrat, me slab občutek še vedno ni zapustil. Ni preprosto popolnoma spremeniti delovnega načrta, saj nikoli ne veš, kako bo to sprejeto. Odpre nama visokorasli moški. Tudi on je malo nervozen. Predstavimo se, povabi naju na kavo in vzdušje se hitro otopli. Med drugim mu razloživa, da Slovenija ni Slovaška. Potem ugotoviva, koliko izkušenj in znanja imajo ljudje, ki se vsak dan ukvarjajo z geofiziko ter seizmološkimi meritvami na vrhunski ravni (slika 6). Kdo bi se vznemirjal zaradi dežja, ko si v rudniškem rovu? Deset ur je minilo zelo hitro.



Slika 4: Soba s podporno opremo (foto: I. Tasič)
Figure 4: Room with support equipment (Photo: I. Tasič)

Inštitutu za geofiziko v Stuttgartu. Prav zaradi povezav Wielandta z univerzo v Stuttgartu je observatorij Črni gozd dobil najprej vrhunski STS-1 (slika 6) in pozneje še seizmometer STS-2. Wielandt je sodeloval tudi z Američanom Joem Steimom, s katerim sta v začetku osemdesetih let prejšnjega stoletja določila podlage današnjih sodobnih seizmografov (Wielandt in Steim, 1986).

Čeprav STS-1 od leta 1991 ne izdelujejo več, še vedno velja za najboljši merilnik za opazovanje seizmičnosti od pet Hz do nekaj tisoč sekund (Tasič, 2004, 2018, 2019). Spodnja raven seizmičnega šuma pri periodah več kot 500 sekund, kot so ga leta 1993 predstavili Peterson

(1993) in leta 2004 Berger s sodelavci (2004) (Tasič, 2015), je spodnja raven instrumentalnega šuma seizmometra STS-1. Ti seizmometri so bili narejeni v obrtniškem in ne industrijskem načinu. Zaradi dobre kakovosti izdelave večina seizmometrov deluje še danes. Vsak del seizmometra je ročno preveril Streckeisen, nato pa je bil med vgradnjo natančno umerjen. To je sicer zahtevalo več proizvodnega časa za posamezni kos in je tudi podražilo proizvodnjo, vendar je bil rezultat zelo kakovosten. Cena bi zato danes dosegla približno 85.000 evrov.



Slika 5: Pogled na izhod iz rudniškega predora (foto: I. Tasič)
Figure 5: View of the exit from the mine tunnel (Photo: I. Tasič)



Slika 6: Predstavitev notranjosti vertikalne komponente seizmometra STS-1 (foto: I. Tasič)
Figure 6: Interior of the vertical component of the STS-1 seismometer (Photo: I. Tasič)

Kakovostna merilna seizmološka oprema v observatoriju Črni gozd je torej dodaten razlog, zakaj svetovni proizvajalci opravljajo svoje preizkuse tam. Kako pomembna je ta lokacija, pove tudi podatek, da so leta 2018 v observatoriju Črni gozd preizkusili tudi seizmometer, ki danes beleži potrese na Marsu (Born in drugi, 2019). Med našim obiskom so v observatoriju Črni gozd preizkušali svoje seizmometre vsi med seboj konkurenčni proizvajalci seizmometrov hkrati. Njihov cilj je namreč izdelati seizmometer, ki bo lahko nadomestil STS-1, kar do danes še ni uspelo nobenemu proizvajalcu.

Primerjava observatorija Črni gozd z observatorijem Conrad v Avstriji

Observatorij Conrad v Trafelbergu v Spodnji Avstriji smo obiskali leta 2007 in tam pozneje tudi preizkušali nekatere svoje seizmometre (Tasič, 2008). Tudi observatorij Conrad je namenjen geofizikalnim meritvam in v njem je zelo veliko instrumentov. Njegovi merilni hodniki so pod zemljo, vendar je bil zgrajen namensko in z drugačno tehnologijo. Predora niso zvrtili v hrib, temveč so odkopali hribino, zgradili predor in ga nato zakopali, zato je zemljine nad merilnim predorom manj kot pri observatoriju Črni gozd, ta lokacija pa je bolj oddaljena od industrijskih objektov, zato je manj visokofrekvenčnega šuma. V nasprotju z observatorijem Črni gozd ima tudi tri do 100 metrov globoke vrtine za preizkušanje vrtinskih seizmometrov. Za preizkušanje

vrtinskega seizmometra v observatoriju Črni gozd so v delu rova izvrtali le meter globoko vrtino, da so lahko namestili tak tip seizmometra. Tudi observatorij Conrad ima v seizmološkem merilnem tunelu, v katerem nenehno potekajo meritve s seizmometrom STS-2, sistem dveh nepredušno zaprtih vrat. Observatorij Črni gozd ima dve prednosti pred observatorijem Conrad. Prva je seizmometer STS-1, ki ga observatorij Conrad nima. Po avtorjevem mnenju je to za razvijalce seizmometrov zelo pomembna razlika, saj lahko svoje rezultate neposredno primerjajo z najboljšim seizmometrom na svetu. Druga prednost je kamnina. Observatorij Conrad je zgrajen v apnencu, ki je sicer še vedno dober prevodnik seizmičnega valovanja, vendar je vseeno nekoliko slabši kot granit, zato nekaterih izredno šibkih in zelo dolgo periodnih signalov, ki jih zaznajo v observatoriju Črni gozd, tam ni mogoče zaznati.

Sklepne misli

V središču nemške dežele Schwarzwald so v nekdanjem rudniku srebra in kobalta vrhunski znanstveni instrumenti, ki 170 metrov globoko pod površjem nenehno merijo geofizikalne parametre. Observatorij Črni gozd spada tudi med najboljše svetovne lokacije za natančno zaznavanje šibkih dolgoperiodnih seizmičnih signalov. Nameščene imajo najboljše seizmometre na svetu, meritve pa potekajo v granitni kamenini, ki zelo dobro prevaja seizmična valovanja, zato observatorij Črni gozd uporabljajo tudi razvijalci seizmometrov za preizkušanje novih izdelkov.

Viri in literatura

1. Berger, J., Davis, P., Ekström, G., 2004. Ambient Earth noise: A survey of the Global Seismographic Network. *J. Geophys. Res.*, 109, 2156–2202.
2. Brown, D., Johnson, A., Good, A., 2019. NASA's InSight Detects First Likely 'Quake' on Mars. *NASA*, 23. 4. 2019. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7383>, 14. 4. 2020.
3. Peterson, J., 1993. Observations and modeling of background seismic noise. Open-file report 93–322, U. S. Geological Survey.
4. Scherbaum, F., 2001. *Of Poles and Zeros: Fundamentals of Digital Seismology*. Springer.
5. Tasič I., 2004. Kako merimo potrese. *Ujma* 17–18, 251–256.
6. Tasič I., 2008. Preskušanje seizmometrov na Conradovem observatoriju. *Ujma* 22, 179–185.
7. Tasič I., 2015. Spodnja raven seizmičnega šuma v Sloveniji. *Ujma* 29, 343–349.
8. Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. *Ujma* 32, 210–217.
9. Tasič I., 2019. Triosni širokopasovni seizmometri s postavitvijo senzorjev XYZ in UVW. *Ujma* 33, 185–191.
10. 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.
11. Vidrih, R., 2015. Potres 12. julija 2004 v Zgornjem Posočju. *Ujma* 19, 60–73.
12. Wielandt, E., Streckeisen G., 1982. The leaf spring seismometer: design and performance, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 2349–2368.
13. Wielandt, E., Steim, J. M., 1986. A digital very-broad-band seismograph. *Annales Geophysicae* 4, 227–232.