

# Miniranje u laboratorijima Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mario Dobrilović<sup>1</sup>, Vječislav Bohanek<sup>2</sup>, Vinko Škrlec<sup>2</sup>

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

**Sažetak:** Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari i Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okolinu prisutni su u znanstveno istraživačkom, nastavnom i stručnom segmentu djelovanja Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Oba laboratorija su jedinstvena na prostoru Republike Hrvatske, a njihova djelatnost u komercijalnom smislu usmjerena je na potrebe domaćih i inozemnih korisnika. Specifičnost djelatnosti, poglavito Laboratorija za ispitivanje eksplozivnih tvari, omogućuje izvođenje ispitivanja u području istraživanja eksplozivnih procesa i njihovih djelovanja čime se osigurava validacija znanstvenih spoznaja u istraživanju idealnih i neidealnih eksploziva te pirotehničkih smjesa i propelanata. Unutar aktivnosti Laboratorija za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okolinu jesu i mjerenja seizmičkih utjecaja miniranja kojima su ustanovljene posebne metode monitoringa minerskih radova kod iskopa u građevinarstvu.

**Ključne riječi:** Laboratorij, eksplozivne tvari, umjeravanje, utjecaj miniranja

## 1. Uvod

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari formalno je započeo s radom prilikom proslave Dana rudara 1999. godine, koji se tradicionalno održavaju na blagdan Sv. Barbare. Tom prilikom je na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu, pri Zavodu za rudarstvo i geotehniku otvoren je Laboratorij za ispitivanje gospodarskih eksploziva, detonatora, električnih detonatora i pirotehničkih sredstava.

Laboratorij je ovlašten od Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske i Državnog zavoda normizaciju i mjeriteljstvo, a ustrojem u skladu s normom HRN EN 45001: 1996., Opći kriteriji za rad ispitnih laboratorija. Idejni začetnik, osnivač i voditelj laboratorija bio je prof.dr.sc. Zvonimir Ester.

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari (za gospodarsku uporabu) rezultat je sastavnog rada članova Zavoda za rudarstvo i geotehniku posljednjih 50 godina. Do uspostavljanje samostalne Republike Hrvatske težište bavljenja s eksplozivnim tvarima i njihovom primjenom bilo je usmjereno na istraživanje miniranja u rudnicima, površinskim kopovima i kamenolomima budući da domaća, hrvatska proizvodnja eksplozivnih i inicijalnih gospodarskih sredstava nije postojala.

Tako se od 1976 godine kolegij Miniranje samostalno podučava na RGN fakultetu, što se može smatrati početkom djelovanja neformalne Katedre za miniranje, jedine te vrste u bivšoj državi. Katedra je bila uključena u sve projekte vezane uz aplikaciju eksplozivnih tvari u pridobivanju mineralnih sirovina i pri specijalnim miniranjima u rudarstvu i građevinarstvu. Na osnovi terenskih ispitivanja razvijena je originalna metoda za ispitivanje svojstava eksploziva izravno u stijeni. Prof. dr. Josip Krsnik, tvorac metode linearnog povećanja izbojnice, prilagodio je metodu površinskim kopovima i kamenolomima. Na osnovi rezultata pokusnih miniranja ispitivana su svojstva eksploziva u stijenskim uvjetima i određeni su optimalni parametri miniranja na mnogim površinskim kopovima, što je imalo za posljedicu unaprijeđenije radova na bušenju i miniranju i značajno smanjenje troškova eksploatacije. U to vrijeme metoda je verificirana i u inozemstvu, na vrlo zahtjevnom radilištu na sanaciji visoke Asuanske brane (Egipat).

Katedra je nabavila instrumente za mjerenje seizmičkih efekata miniranja proizvođača Sprengnether Instruments, kojima su obavljana mjerenja i ustanovljeni originalni postupci te su postignuti zapaženi rezultati u smanjivanju brzina oscilacija prilikom miniranja na površinskim kopovima i naročito pri specijalnim miniranjima u rudarstvu i građevinarstvu.

U toku domovinskog rata Zavod se aktivno uključio u proizvodnju eksploziva za gospodarske potrebe, jer je Hrvatska raspadom Jugoslavije ostala bez mogućnosti nabave eksplozivnih sredstava. Izvršena su poligonska i "in situ" ispitivanje svojstava ANFO eksploziva i pri tim radovima pokazala se potreba za nabavom posebnih instrumenata kojim bi se laboratorijski određivala svojstva eksploziva. Godine 1993. započeto je opremanje Laboratorija za ispitivanje eksplozivnih tvari izradom prototipnih instrumenata i nabavom opreme u inozemstvu. Istovremeno je započelo uređenje prostora za smještaj laboratorija. U vrlo složenim financijskim uvjetima Zavod za rudarstvo i geotehniku uspio je vlastitim sredstvima opremiti prostor, prema strogim zahtjevima po pitanju sigurnosti, i nabaviti svu potrebnu opremu za ispitivanje eksplozivnih tvari.

Znanstveno nastavnom i stručnom djelatnošću u području miniranja na Zavodu za rudarstvo i geotehniku, tijekom danas već više od pet desetljeća, formalizirane su djelatnosti vezane za miniranje i izučavanje eksplozivnih procesa te svojstava eksplozivnih

tvori. Tijekom toga perioda u nastavnom smislu miniranje se obrađuje kroz temeljne predmete: miniranje I i II, metoda izrade podzemnih prostorija te rušenje objekata, kao kroz preddiplomsku i diplomsku razinu, tako i na poslijediplomskoj razini.

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari i Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš u stručnom i znanstvenom smislu predstavljali su daljnji iskorak čime se postigla i veća vidljivost i čime se osigurala i financijska i logistička potpora kako stručnim projektnim poslovima tako i znanstveno istraživačkim projektima.

Laboratoriji su uključeni u izvođenje znanstvenih projekta: *An improved model of non-ideal detonation of commercial explosives* (IP-2019-04), HRZZ i *Influence of Confinement on Detonation Parameters of ANFO explosives*, Scientific & Technological Cooperation Austrija , Croatia.

Laboratoriji su značajni dio i nastavnog procesa te se nastava izvodi u prostorijama na RGN fakultetu na vanjskim ispitivalištima, odnosno poligonima

## **2. Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari**

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari, od svojeg prvog formalnog osnivanja i početka rada 1999. godine obavio je ispitivanja preko 2000 različitih eksplozivnih tvari s primijenjenih preko 8000 pojedinačnih ispitivanja, odnosno metoda.

Uloga laboratorija u prometu eksplozivnih tvari za civilnu, gospodarsku upotrebu od samih početaka značajno se mijenjala. U prvom periodu, u kojem je laboratorij bio ovlašten u skladu s ustrojem prema normi HRN EN 45001: 1996. Opći kriteriji za rad ispitnih laboratorija, njegova je uloga bila definirana Zakonom o eksplozivnim tvarima, a ispitivanja su obavljana u skladu s tadašnjim ispitnim metodama za ispitivanje eksplozivnih tvari niza HRN H.D8.

Približavanjem Republike Hrvatske Europskoj uniji zakonski okvir se mijenjao, u području normizacije eksplozivnih tvari prihvaćene su europske norme, a procedure ocjene sukladnosti implementirane su u zakonsku regulativu. U tom prelaznom periodu osoblje laboratorija aktivno je sudjelovalo u prihvaćanju normativnih dokumenata i normi u Hrvatskom zavodu za norme.

Laboratorij je slijedom potreba toga procesa, akreditiran prema normi HRN EN ISO/IEC 17025: 2007., akreditiran 2009. godine za 33 ispitna postupaka prema prihvaćenim europskim normama ispitivanja iz niza: HRN EN 13631, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Jaki eksplozivi; HRN EN 13630, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Detonira-

jući i sporogoreći štapini; HRN EN 13763, Eksplozivi za civilnu upotrebu- Detonatori i usporivači i HRN EN 13763, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Baruti i čvrsta raketna goriva. Na slici 1. prikazana su ispitivanja eksploziva na poligonu.



**Slika 1:** Ispitivanja eksploziva na poligonu

Područje akreditacije prošireno je nekoliko faza na metode za ispitivanje pirotehničkih proizvoda prema nizu normi HRN EN 15947, Pirotehnički proizvodi-Vatrometi razreda 1, 2 i 3; HRN EN 16261, Pirotehnički proizvodi-Vatrometi razreda 4; HRN EN 16256, Pirotehnički proizvodi za pozornice razreda 1,2 te prema IMO res. MSC.81 (70):1988., Pirotehnički proizvodi za tehničku namjenu (spašavanje na moru). Na slici 2. prikazana su ispitivanja pirotehničkih proizvoda za vatromete



**Slika 2:** Ispitivanja pirotehničkih proizvoda za vatromete na poligonu

Laboratorij je za poslove certifikacije eksplozivnih tvari ostvario suradnju s Ex-agencijom, agencijom za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom, čime je postao dio

procesa certifikacije eksplozivnih tvari prema direktivama europske komisije direktiva 93/15 EEC i 2007/23 EC, odnosno danas direktivama 2014/28/EU i 2013/29/EU europskog parlamenta i vijeća, te sudionik rada NB foruma za eksplozive i foruma za pirotehničke proizvode pri europskoj komisiji. U tom periodu, područje akreditiranih metoda ispitivanja prošireno je na pirotehnička sredstva svih kategorija, odnosno razeđa. Na slici 3. prikazana su ispitivanja protugradnih raketa.



**Slika 3:** Ispitivanje protugradnih raketa

Potpunom implementacijom europske prakse certifikacije eksplozivnih tvari u RH, odnosno priznavanje europskih certifikata izdanih u drugim državama članica EU, te otežanom poslovanju na tržištu EU i trećih zemalja, poglavito zbog strogih propisa kolanja eksplozivnih tvari preko državnih granica, odnosno dostave uzoraka za ispitivanje, komercijalne mogućnosti laboratorija značajno su se smanjile. Slijedom navedenog, akreditacija u skladu s normom HRN EN ISO/IEC 17025: 2007, obzirom na navedene tržišne uvjete, nije produljivana od 2019. godine.

U Laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari ispitivani su: gospodarski i vojni eksplozivi, detonirajući i sporogoreći štapini, detonatori i inicijalna sredstva, pirotehnički proizvodi za tehničku i zabavnu namjenu, pirotehnička sredstva za spašavanje na moru, protugradne rakete, eksplozivni proizvodi kod dobivanja nafte i plina, kumulativni perforatori i rezači, baruti, propelanti i raketna goriva, s vrlo različitim namjenama.

Znanje te oprema sakupljena tijekom formalnog tržišnog rada laboratorija, kako kod kontrole kvalitete eksplozivnih tvari te ispitivanja u procesu certifikacije, omogućila je relevantnost i kompetitivnost u aktualnom znanstvenom okruženju. Danas u laboratoriju djeluje šestoro doktora znanosti u zvanjima od suradnika do redovitih profesora te jedan laborant-tehničar.

Spoznaje o svojstva eksplozivnih tvari koja su istraživana u laboratorijskom mjerilu, primjenjivane su u stručno istraživačkim projektima sa svrhom optimalizacije djelovanja eksploziva pri miniranju na površinskim kopovima i miniranjem u tunelogradnji. Izvođenjem opsežnijih istraživanja u realnim uvjetima miniranja, moguće je povezivanjem svojstava gospodarskih eksploziva, svojstvima stijene u smislu radne sredine, te poznavanjem njihovog međudjelovanja izvesti optimalne parametre uz najmanje djelovanje na okolinu. Istraživanja na površinskom kopu prikazana su na slici 4.



**Slika 4:** Istraživanja na površinskom kopu

Ispitivanja u Laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari poslužila su kao osnova za izvođenje miniranja prilikom skidanja sjevernog tornja Zagrebačke katedrale. Katedrala je značajno oštećena u potresu 22. ožujka 2020. godine. Potres koji je pogodio Zagreb bio je magnitude 5,5 ML, a prema modificiranoj Mercallijevoj ljestvici karakteriziran je VII stupnjem te je bio najjači od potresa 1880. godine. Obzirom na oštećenja koja je pretrpio sjeverni toranj odlučeno je da se on kontrolirano spusti dizalicom. Za taj postupak bilo je potrebno miniranjem odvojiti kamene blokove dijela tornja koji se skida te presjeći čelično uže utega stabilizacije tornja. Navedena odvajanja potrebno je bilo izvesti istovremeno i unutar nekoliko milisekundi.

Primijenjena tehnika je uključivala otpucavanje malih, precizno pozicioniranih punjenja za odvajanje metalnih klinova tornja koji ga povezuju s njegovim oštećenim nosivim vijencem. Nadalje, koncentriranim punjenjem bilo je potrebno presjeći čelično uže kuglastog utega tornja. Zahvat je izveden između 73. i 74. reda gradivih kamenih elemenata na visini od 92 m. U bliskoj suradnji s pripadnicima Inženjerijske pukovnije, koji su i izveli miniranje, projektna rješenja su potvrđena probnim miniranjima i uspješno izvedena neposredno prije podizanja tornja dizalicom. Budući da litotamniji vapnenac iz Bizeka, kojim je građena Katedrala, nije materijal koji se inače minira zbog njegove poroznosti i male gustoće, bilo je potrebno ustanoviti učinkovitost djelovanja eksploziva. Ispitivanja minirljivosti kamena te određivanje parametara za rezanje čeličnog užeta provedene su u laboratoriju i na modelskim ispitivanjima u realnijim uvjetima opterećenja. Čelično uže i metalni klin u kamenom bloku prikazani su na slici 5. Ispitivanje djelovanja miniranja za oslobađanje klina u laboratoriju prikazana su na slici 6.



**Slika 5:** Čelično užje i metalni klin u kamenom bloku



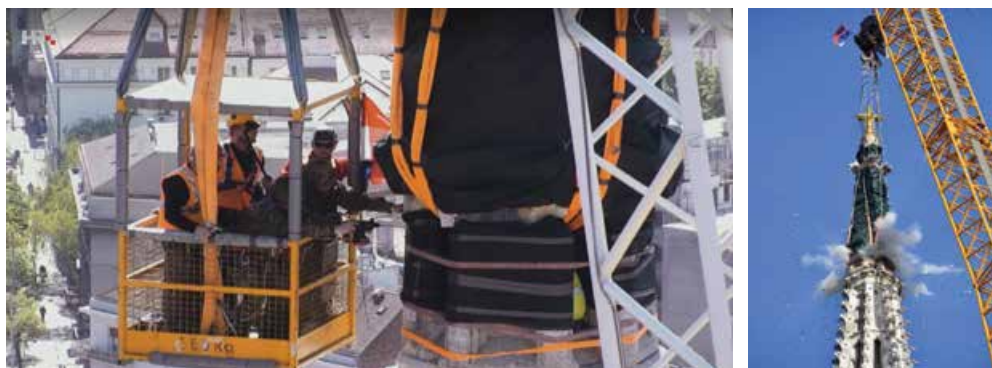
**Slika 6:** Probna miniranja u laboratorijskim uvjetima

Prilikom izvođenja probnih miniranja potrebno je bilo u mogućoj mjeri simulirati opterećenja blokova za miniranja zbog djelovanja nadležnećeg tornja te simulirati djelovanje naboja na plašt tornja prilikom rezanja užeta. Izvođenje probnih miniranja sa simulacijom stvarnih uvjeta prikazana su na slici 7.



**Slika 7:** Probna miniranja sa simulacijom stvarnih uvjeta

U stvarnim uvjetima bilo je potrebno postići jednovremeno odvajanje klinova i rezanje čeličnog užeta uz minimalno razbacivanje dijelova miniranih blokova te uz potpunu zaštitu užeta za podizanje blokova. Na bazi laboratorijskih i modelskih ispitivanja izvedeno je i miniranje tijekom skidanja tornja. Pripreme i opremanje minskih bušotina i trenutak miniranja prikazani su na slici 8.



Slika 8: Pripreme za miniranje foto MORH/F. Klen

Miniranje je izvedeno uspješno i u potpunosti prema projektu i u skladu sa spoznajama dobivenim laboratorijskim i modelskim ispitivanja [1].

### 3. Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš

Miniranje je tehnologija koja koristi energiju eksploziva oslobođenu izuzetno br-zom egzotermnom reakcijom. Zagrijani, visoko stlačeni plinovi u ekspanziji djeluju mehanički na okolinu u kojoj se eksplozija događa. Oslobođena energija detonacije eksplozivnoga punjenja minske bušotine prvenstveno i u većem dijelu djeluje mehaničkim radom na stijenu. Djelovanje eksplozivnoga naboja na stijenu opisuje niz teorija i autora s različitim pristupima. One se razlikuju u udjelu djelovanja pojedinih vrsta energija te utjecaju diskontinuiteta unutar stijenske mase. U osnovi, uslijed djelovanja energije udarnih valova i energije ekspanzije plinovitih produkata detonacije stijena se frakturira, drobi i izbacuje te na taj način nastaje slobodni volumen [2].

Minsko polje, odnosno eksplozivni naboj minske bušotine, može se smatrati epicentrom umjetno izazvanoga potresa. Izvan zone drobljenja veličine naprezanja prelaze u elastično područje čvrstoće stijene. U elastičnom području ne dolazi do drobljenja, već do osciliranja čestica stijene. Oscilacije se prenose elastičnim valovima, od epicentra radijalno kroz stijensku masu u svim smjerovima. Prijenosom kroz stijensku masu energija se troši, a amplitude oscilacija (pomak, brzina i akceleracija) prigušuju



se eksponencijalnom zakonitošću udaljavanjem od eksplozivnoga naboja, odnosno minskoga polja. Dio oslobođene energije eksplozivnoga punjenja koji nije utrošen na drobljenje stijene pretvara se u kinetičku energiju različitih tipova elastičnih valova, koji se međusobno razlikuju u brzini širenja, intenzitetu i obliku deformacije [3].

Potreba za mjerenjem utjecaja minerskih radova proizlazi i iz zakonske regulative, dobre prakse obavljanja radova, normativne podloge i podastiranja dokaza u sudskim procesima za naknadu šteta za koje se smatra da su nastale utjecajem miniranja.

Prihvaćanjem normi HRN ISO 4866:1999 i HRN DIN 4150, 1-3: 2011. definirani su metodologija mjerenja i karakteristike mjernih uređaja te dozvoljene granične brzine oscilacija s pripadajućim frekvencijama u ovisnosti o izvedbi i vrsti građevine izloženih miniranju, ali i vibracijama nastalim mehaničkim izvorima.

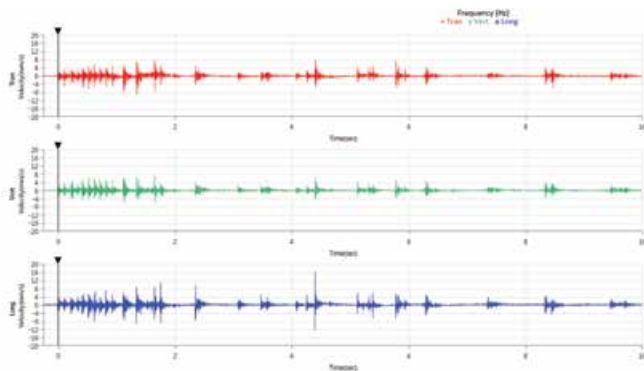
Proizvođač seizmografa Instantel Inc. iz Ottawe, Kanada, ovlastio je Rudarsko-geološko-naftni fakultet za umjeravanje (kalibriranje) i servis seizmografa za praćenje utjecaja miniranja na okoliš.

Instantel, koji je sada dio korporacije Stanley-Black and Decker, vodeći je svjetski proizvođač namjenskih seizmografa za mjerenje potresnog utjecaja kvantificiranoga putem brzina oscilacija, razine buke te tlaka udarnoga vala u zraku ili vodi, koji se javljaju kao neželjeni a moguće i štetni utjecaji miniranja.

Zavod za rudarstvo i geotehniku RGN fakulteta prepoznao je važnost ustrojavanja umjernoga laboratorija za tu opremu na prostoru Hrvatske. U suradnji s Instantelom pokrenut je umjerni laboratorij za mjerne instrumente njihove proizvodnje krajem 2010. godine.

Širenjem izgrađenih područja postojeći rudarski objekti dolaze u naseljene zone, a izgradnja cjevovoda, cesta, građevinskih jama, podmorski iskopi i ostali slični zahvati odvijaju se često u gusto izgrađenim područjima. Miniranje, koje je i dalje najekonomičnija tehnologija iskopa u čvrstim sredinama, odnosno stijenama, često se obavlja u neposrednoj blizini izgrađenih objekata, odnosno građevina. Prilikom detonacije eksplozivnih punjenja minskih bušotina dio energije koji nije utrošen za korisni rad drobljenja stijene djeluje na okolinu u obliku seizmičkog utjecaja, odnosno potresnoga djelovanja, zračnoga udarnoga vala i odbacivanja odminiranoga materijala. Pravilnim projektiranjem i izvođenjem minerskih radova, primjenom odgovarajućih mjera zaštite te mjerenjem i praćenjem veličine neželjenih utjecaja moguće ih je svesti na za okolinu neopasnu i tehnički prihvatljivu razinu. S druge strane, mehanički načini iskopa hidrauličnim čekićima ili geotehnički radovi bušenja, sidrenja, zabijanja talpi, injektiranja te prometnim sredstvima uzrokovane pobude djeluju na okolinu u obliku kontinuiranih ili impulsnih vibracija duljega trajanja u odnosu na same minerske ra-

dove. Djelovanje mehanički uzrokovanih vibracija koje, iako su manjeg intenziteta, duljim djelovanjem mogu uzrokovati nastanak oštećenja na objektima i uznemiriti stanovništvo. Karakteristična snimka trajektorija brzina oscilacija prilikom miniranja prikazana je slikom 9.



**Slika 9:** Karakteristična snimka trajektorija brzina oscilacija

Za potrebe mjerenja brzina oscilacija, akceleracija i pomaka nastalih utjecajem miniranja na svjetskom tržištu nekoliko proizvođača nudi mjerne uređaje, odnosno namjenske seizmografe. Najznačajniji je kanadski proizvođač Instantel, čiji mjerni uređaji prevladavaju na području Hrvatske i susjednih zemalja. Instantel proizvodi seizmografe skoro trideset godina i do sada su proizveli više od 16 000 jedinica. U proizvodnom se programu nalazi niz varijanti uređaja prilagođenih potrebama korisnika. Mjerni se uređaj, odnosno sustav, u osnovi sastoji od registratora (instrumenta), trokomponentnoga geofona te mikrofona. Očitavanja mjerenja moguće je vidjeti u skraćenom obliku na zaslonu uređaja, a namjenski računalni program BlastWare omogućuje detaljan pregled, analizu i obradu rezultata mjerenja. Na raspolaganju su, za posebne potrebe zahtjevnih projekata, dodatni akcelerometri, posebni geofoni, hidrofoni, mikrofoni za visoki tlak te ostali pribor.

Seizmografi Instantel BlastMate i Instantel MiniMate prikazani su na slici 10.



**Slika 10:** Seizmografi Instantel ([www.instantel.com](http://www.instantel.com))

Katedra za miniranje Zavoda za rudarstvo i geotehniku Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta prva je u bivšoj državi raspolagala seizmografima te se u posljednja četiri desetljeća kontinuirano bavi problematikom utjecaja miniranja na okolinu i mjerenja efekata miniranja. Suradnja s Instantelom u vidu umjernoga laboratorija i servisa uređaja logičan je nastavak razvoja temeljenoga na iskustvu upotrebe Instantelovih seizmografa i dodatnih osjetila u posljednjih 30 godina.

Laboratorij za umjeravanje seizmografa Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta jedan je od petnaest laboratorija u svijetu ovlaštenih za umjeravanje i servis Instantelove mjerne opreme. Slikom 11 prikazane su lokacije Instantelovih umjernih laboratorija u svijetu.



Slika 11: Umjerni laboratoriji InstanTEL ([www.instanTEL.com](http://www.instanTEL.com))

Umjerna oprema RGN-fakulteta odgovara razini opreme centralnoga umjernoga laboratorija InstanTEla u Ottawi, Kanada, a stroge umjerne procedure i djelatnici školovani u InstanTElu osiguravaju jednaku kvalitetu umjeravanja u značajno kraćim rokovima (nekoliko dana) bez troškova transporta i carinjenja za domaće korisnike usluga.



Slika 12: Umjerna oprema

Seizmografi za praćenje utjecaja miniranja su instrumenti koji se koriste na terenu, često u nepovoljnim uvjetima s prisutnošću prašine, vlage, vode, te pri visokim ili niskim temperaturama. Pri djelovanju tih utjecaja i izloženosti udarcima ili padovima u radu elektroničkih i mehaničkih komponenata uređaja može doći do promjene obilježja uređaja. Posljedica toga su netočna očitavanja, odnosno rezultati mjerenja. Da bi se spriječile nepravilnosti u radu uređaja i povećala točnost, potrebno ih je umjeravati u propisanom razdoblju. Preporuke za razdoblje umjeravanja daju proizvođači uređaja, a u slučaju minerskih seizmografa godišnje umjeravanje propisano je smjernicama „ISEE Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs“, 2009. izdanim od ISEE Standards Committee, International Society of Explosive Engineers.

Umjernice, kojima se dokazuje ispravnost instrumenata i točnost provedenih mjerenja, u svijetu su relevantan dokaz u sudskim sporovima vezanim uz štete s miniranjem kao mogućim uzrokom te će se takva praksa postupno uobičajiti i kod nas. Dokaz o umjeravanju s datumom i podacima umjernoga laboratorija, u elektroničkom obliku, pohranjuje se u memoriju uređaja, te je na svakom mjernom zapisu vidljivo kada je instrument umjeren. Osim toga naručitelju se izdaje i umjernica u papirnatom obliku.

Umjeravanje ili kalibracija uključuje usporedbu i podešavanje očitavanja uređaja s etalonskom, sljedivom veličinom. Podešavanje je moguće obaviti jedino u ovlaštenim Instantelovim laboratorijima. Prilikom zaprimanja uređaja utvrđuje se cjelokupno stanje seizmografa i eventualna potreba zamjene dijelova. Primjenom umjerne procedure bilježi se postojeće stanje očitavanja instrumenta za primijenjene referente veličine te se provjere propisane funkcije registratora. Na taj je način moguće pratiti ponašanje instrumenta između umjeravanja, izolirati nepravilnosti i eventualno procijeniti potrebu zamjene kritičnih sklopova. Zatim se, temeljem usporedbe veličine očitavanja s etalonskom veličinom podešavanje seizmografa. Pri tome se umjerava instrument zajedno s osjetilima (geofon i mikrofon) kao cjelina, te se time postiže bolja točnost umjeravanja. Očitavanja se svih triju prostornih komponenata geofona provjeravaju na vibracijskom stolom s podešenim signalom referentnoga akcelerometra, a odziv mikrofona (s referentnim mikrofonom) u zvučnoj komori.

Prema tome seizmografu s geofonom i mikrofonom su po provedenom umjeravanju provjerene sve ključne funkcije koje osiguravaju ispravnost rada te su podešena očitavanja u skladu s proizvođačevim deklariranim vrijednostima. Periodičnim, propisanim i preporučenim umjeravanjem, koje se osigurava putem provjere, podešavanja i servisiranja, osigurava se pouzdani rad seizmografa te ispravni rezultati mjerenja. Pouzdani rezultati dobiveni umjerenim seizmografima pretpostavka su zaštite objekata potencijalno ugroženih miniranjem i mehaničkim vibracijama nastalih kao posljedica geotehničkih radova [4].

## 4. Zaključak

Miniranje kao tehnologija, kao područje znanstvenog istraživanja te nastavno područje na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu prisutno je značajan period. Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari i Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš razvijani su usporedo sa razvojem domaće primjene eksplozivnih tvari za različite vrste miniranja u rudarstvu i građevinarstvu te miniranja u ostale tehnološke svrhe. Laboratoriji su uključeni u sve oblike djelovanja fakulteta a kontinuiranim razvojem u skladu s novim dostignućima u području eksplozivnih tvari, postali su nezaobilazna baza za provedbu znanstvenih istraživanja. Raznolikost djelovanja laboratorija u području miniranja te izvođenje zahtjevnih projekata omogućenih njihovim resursima osiguravaju referentnost, kompetentnost i prepoznatljivost Rudarsko-geološko-naftnog fakultete Sveučilišta u Zagrebu.

### Literatura

- [1] Bohanek, V.; Dobrilović, M.: Blasting tehnology for removing a part from the northern tower of Zagreb Cathedral, EFEE NEWSLETTER, 1 (2020), 3; 16-27
- [2] Dobrilović, M., Bohanek, V.: Utjecaj miniranja u cestogradnji na okolne građevine, U Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, (2013) str. 313-346
- [3] Dobrilović, M., Bohanek, V.: Utjecaj miniranja u cestogradnji na okolne građevine, U Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, (2013) str. 313-346,
- [4] Dobrilović, M., Kuhinek, D., Bohanek, V. (2012): Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš - Umjerni laboratorij i servis seizmografa Instanatel, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta., Mineral, stručni časopis za područje rudarstva i graditeljstva, (2012), str. 22-24.