

## PODZEMNO PRIDOBIVANJE NARAVNEGA KAMNA V PODJETJU MARMOR, SEŽANA D.D.

<sup>1</sup> ANDREJ KOS, <sup>1</sup> JASMINA RIJAVEC

<sup>1</sup> MARMOR, Sežana d.d.; Partizanska cesta 73a, 6210 Sežana; [kos@marmorsezana.com](mailto:kos@marmorsezana.com),  
[rijavec@marmorsezana.com](mailto:rijavec@marmorsezana.com)

**Izvleček:** Družba Marmor, Sežana d.d. je bila ustanovljena leta 1947, kot Industrija kraškega marmorja Sežana, s sedežem v Vrhovljah. Skozi zgodovino se je veliko združevala z ostalimi lokalnimi podjetji in tako večkrat zamenjala ime podjetja. Od leta 1996 deluje pod imenom Marmor, Sežana d.d. Družba upravlja s štirimi aktivnimi kamnolomi (Lipica I, Lipica II, Doline in Kopriva), kjer pridobiva mineralno surovino za obdelavo v svojih proizvodnih enotah. Naravni kamen (Lipica enotni, Lipica rožasti, Repen in Kopriva) vgrajujemo v objekte pri nas in v svetu. Poleg same proizvodnje in obdelave ima družba tudi izredno kvalitetno ročno obdelavo za restavratorska dela.

Podzemno pridobivanje blokov naravnega kamna v kamnolomih podjetja Marmor, Sežana d.d. poteka po nahajališču prilagojeni komorno – stebni odkopni metodi. Za podpiranje in zagotavljanje stabilnosti podzemnih prostorov se uporablja samonosilna kamnina v obliki visokih varnostnih stebrov. Visoke varnostne stebre sekajo številne diskontinuitete, ki lahko predstavljajo različna tveganja pri zagotavljanju stabilnosti podzemnih prostorov in izvajanju del na podzemnih deloviščih. Za zagotavljanje varnosti se izvaja monitoring napetostnih in deformacijskih parametrov visokih varnostnih stebrov z uporabo (WV) napetostnih merilnih celic, vgrajenih v notranjosti in EL paličnimi merilci deformacij, vgrajenimi na površini varnostnih stebrov.

**Ključne besede:** Podzemno pridobivanje blokov naravnega kamna, Marmor, Sežana d.d., geološke raziskave



**Slika 1.:** Kamnolom Lipica II

## UVOD

Naravni ali okrasno arhitektonski kamen predstavljajo kamnine, ki izstopajo po svoji barvi, pisanosti ali lastnostih in se jih vgrajuje v številne gradbene elemente predvsem kot okras.

Posebnosti in odlike naravnega kamna so trdnost, obstojnost, možnost oblikovanja in barva.

Na metodo pridobivanja, poleg fizikalno - mehanskih lastnosti kamna, vplivajo tudi montan - geološki pogoji in tehnični pogoji pridobivanja. Glede na izkušnje, povzročajo največ težav pri pridobivanju naravnega kamna posledice tektonike, predvsem razpokanost in zdrobljenost, ki skupaj s plastovitostjo in zakraselostjo običajno zelo znižajo izkoristek ali celo onemogočijo nadaljnje pridobivanje blokov naravnega kamna.

Podzemno pridobivanje blokov naravnega kamna poteka v kamnolomu Lipica 2 že 13 let. Ena od velikih prednosti podzemnega pridobivanja je, da površina nad podzemnim delom ostane nespremenjena oz. na površini ni opaziti nobenih deformacij. Za potrebe varnega in stabilnega pridobivanja naravnega kamna je potrebno dobro poznati geomehanske lastnosti hribine, primarno napetostno stanje v krovlini in tektoniko nahajališča. Veliko vlogo tukaj odigra monitoring dogajanja v varnostnih stebrih.

V okviru in-situ kontrolnih meritev komorno – stebrne odkopne metode se uporabljajo meritve napetostnega stanja (2D merilec napetostnega stanja) in deformacij (El palični merilec več točkovni ekstenziometer, merilec pomika odprtih razpok) tako v varnostnih stebrih, kot v stropu velikih odprtih podzemnih prostorov.

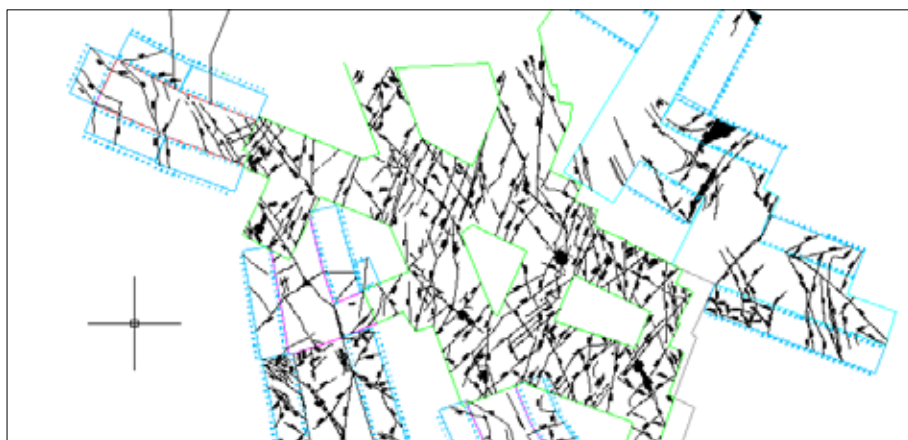
Poleg vseh omenjenih faktorjev na pridobivalne procese v kamnolomu najbolj vpliva ekonomika pridobivanja. Na ta faktor imamo največji vpliv, saj lahko z ustrezno izbiro rezalnega orodja in sistema rezanja izboljšamo izkoristek, zmanjšamo stroške pridobivanja in povečamo proizvodnjo. Eden od pomembnih faktorjev pridobivanja je tudi ekološki parameter, saj s pridobivanjem naravnega kamna nastaja veliko odpadnega materiala, ki ga je treba skladiščiti.

## GEOLOŠKE RAZISKAVE

Zelo pomembno vlogo pri pridobivanju naravnega kamna igrajo geološke raziskave. Namen raziskav je pridobiti podatke o naravnih danosti nahajališča. Pridobivanje naravnega kamna temelji na pridobivanju čim večjih blokov, monolitnih paralelopipedne oblike, zato je potrebno obseg in vrsto raziskav zasnovati tako, da je lega in velikost blokov definirana že v nahajališču.

Pri geoloških raziskovalnih delih nahajališča se uporabljajo naslednje metode:

- sledilne raziskave (geološko prospekcijsko, vzorčenje s preiskavo vzorcev, geofiziko, itd.),
- detajlno geološko kartiranje terena, s poudarkom na litostratigrafskih značilnostih, opazovanju in merjenju strukturnih elementov, zlasti še merjenju prekinitvenih ploskev na posameznih etažah,
- raziskovalno vrtnanje z geološko obdelavo usmerjenega jedra,
- poizkusni usek,
- vzorčevanje na površini kamnoloma ter na jedrih vrtin,
- laboratorijske preiskave vzorcev za različne namene uporabnosti,
- vrednotenje vseh terenskih in laboratorijskih podatkov z ustrezno interpretacijo za izdelavo poročil oziroma elaboratov.



**Slika 2.:** Izvleček iz karte prekinitvenih ploskev v kamnolomu Lipica II.

Ko se enkrat osnovne geološke raziskave izdelane in je pridobivalni prostor določen, je ena najpomembnejših geoloških raziskav, ki se jih vrši v času pridobivanja, raziskovalno vrtnanje na jedro. Z njim pridobimo natančne podatke o geološki zgradbi nahajališča, izgledu, kvaliteti, zalogah in kompaktnosti mineralne surovine. Vrtnanje poteka na orientirano jedro, saj na podlagi orientacije jedra lahko ugotovimo vsako posamezno prekinitveno ploskev in ji določimo orientacijo v prostoru. Prevladujoči sistemi prekinitvenih ploskev (prelomi, razpoke, rušne cone, kaverne, itd.) so poleg geološke zgradbe, zalog in kvalitete, pomemben podatek za usmerjanje odpiralnih del, etaž in osnovnih podzemnih prostorov (galerij, prečnikov in niš).

v času odpiralnih del pri podzemnem pridobivanju naravnega kamna je pomembno tudi sprotno spremljanje diskontinuitet in detajlno geološko kartiranje sten, tal in stropa. S kartiranjem pridobljene podatke se vnese na karto prekinitvenih ploskev nahajališča, na podlagi katere se določi nestabilnosti in ostale posebnosti, ki bi lahko ogrozile ali kako drugače onemogočile nadaljnje pridobivanje (slika 2). Podatke uporabljamo za nadaljnje načrtovanje prostorov, varnost (sidranje nevarnih klinov) in izračun izplena.



**Slika 3.:** Naš naravni kamen Lipica Fiorito, Kopriva, Repen in Lipica Unito

## PRIDOBIVANJE NARAVNEGA KAMNA

Povpraševanje po naravnem kamnu se je v zadnjih nekaj desetletjih močno povečalo. Zato smo v letu 2002 pričeli s podzemnim pridobivanjem naravnega kamna, najprej v Lipici II, v letu 2009 pa še v Lipici I in Dolinah.



**Slika 4.:** Kamnolom Lipica I

Prednosti podzemnega pridobivanja naravnega kamna so predvsem manjša rana v okolje, selektivno pridobivanje, možnost dela v skoraj vseh vremenskih pogojih (temperature pod lediščem) in manj prahu in hrupa v okolici.

Slabosti podzemnega pridobivanja so predvsem ekonomske narave. Potrebna je posebna tehnologija rezanja, nekaj materiala ostane v stebrih, potrebna je stalna razsvetljava in sistem prezračevanja ter dodatni merilni instrumenti za spremljavo napetosti v varnostnih stebrih.

V letu 2009 smo podzemno pridobivanje prenesli še na lokacije Lipica 1 in Doline. V letu 2015 imamo v vseh treh lokacijah izdelani 11,200 m<sup>2</sup> podzemnih prostorov, ki so povprečne višine 15 m in širine 10 m. Varnostni stebri so nepravilnih oblik in jih zaradi prevelike razpokanosti izdelujemo 11 x 11 m.

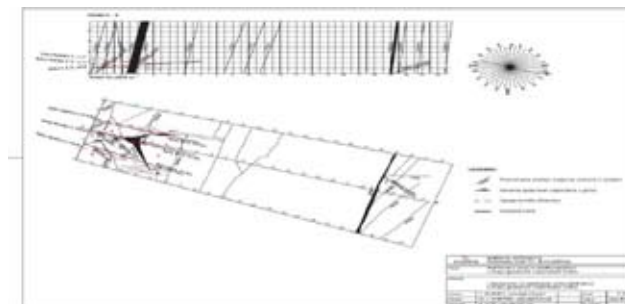
## TEHNOLOGIJA PODZEMNEGA PRIDOBIVANJA

Oprema ki se danes uporablja pri podzemnem pridobivanju je sestavljena iz diamantne žične žage, različnih modelov verižnih žag, vrtnice garniture različnih premerov, vodnih črpalk in vodnih blazin, sider, instrumentarija za meritve pritiskov in deformacij ter prezračevalnih naprav.

Za varno podzemno pridobivanje blokov naravnega kamna je poleg posebne tehnologije razreza in izkušnosti zaposlenih pomembno tudi naslednje: sprotni popis razpok in izdelava karte razpok, s katero se določi nestabilnosti in ukrepe sanacije le-teh, izdelava in popis raziskovalnih vrtin, s katerimi se določa nadaljnji potek podzemnih prostorov, čiščenje brežin v spomladanskem času, uvedba monitoringa napetosti in pomikov, s katerim spremljamo stabilnosti v varnostnih stebrih, sidranje lokalnih kamnitih klinov, meritve kvalitete jamskega zraka in separatno prezračevanje ter dnevni pregledi delovnega okolja.

Posebno pozornost je pri podzemnem pridobivanju naravnega kamna potrebno nameniti popisu diskontinuitet. Veliko nevarnost pri podzemnem pridobivanju predstavljajo kamniti klini, ki se lahko formirajo v stropu ali bokih podzemnih prostorov. Zaradi tega je zelo pomembno, da se pri začetnih odpiralnih delih veliko pozornost nameni pregledu stropa in bokov galerij ter takoj stabilizira ugotovljene nestabilnosti. Pomembno je, da se izdelajo geološko karto diskontinuitet, na podlagi katere se skupaj z geologom oceni možnost nastanka kamnitih klinov.

V kamnolomu Doline smo na tak način stropu galerije G2, s pomočjo izmerjenih parametrov diskontinuitet in izdelanih profilov, lahko določili velikost in obliko klinov ter zagotovili ustrezne varnostne ukrepe. Kamniti klini so bili ocenjeni na težo od 15 do 105 ton. Po izdelani analizi stabilnosti smo določili podporne ukrepe. Za stabilizacijo smo uporabili pasivna SDA sidra R51N in injekcijske cementne mase. Sidra so bila dolžine 7 m (slika 4). Strop smo zavarovali z zaščitno mrežo.



**Slika 5.:** Opis razpok in sidranje

## **NEVARNOSTI PRI PODZEMNEM PRIDOBIVANJU BLOKOV NARAVNEGA KAMNA**

Nevarnosti pri podzemnem pridobivanju naravnega kamna so izpad kamnitih klinov iz stropa in bokov, stebni udar, požar, zalitje z vodo, vdor tal, izpad električne energije.

Kako ukrepati ob pojavu teh nevarnosti je podano v Načrtu obrambe in reševanja v kamnolomih, ki smo ga uporabili tudi pri reševalni vaji v kamnolomu Lipica II (37. SRRES 2012 – Lipica). Delovišče je poleg tega opremljeno tudi s samoreševalnimi aparati in nosili.

## **OPREMA ZA SPREMLJANJE NAPETOSTI V VARNOSTNIH STEBRIH**

Nahajališče naravnega kamna v Lipici je tektonsko močno porušeno, saj se na lokaciji nahaja kar sedem glavnih smeri diskontinuitet, ki predstavljajo nevarnosti pri podzemnem pridobivanju. Razpoke se med seboj povezujejo in tvorijo v stropu in bokih podzemnih prostorov nevarne kamnite kline.

Zaradi zagotavljanja stabilnosti podzemnih prostorov in varnih pogojev za izvajanje rudarskih del, smo v podzemne prostore vpeljali in-situ meritve deformacij stropa in varnostnih stebrov. V varnostnih stebrih smo poleg 2D merilcev napetostnega stanja uporabili tudi tri-točkovne (3T) merilce pomikov odprtih razpok. S 3T merilci smo meritve pomikov drsnih ploskev izvajali periodično na višjih nivojih kamnolomu Lipica II, in sicer v notranjem varnostnem stebri VS2 oz. desnem boku prečnika P2 (merilno mesto 1), v varnostnem stebri VS3 oz. v desnem boku galerije G2 (merilno mesto 2) in v desnem boku galerije G1 (merilno mesto 3). Rezultati meritev pomikov razpok so prikazani v tabeli 1.

Pri podzemnem pridobivanju naravnega kamna za spremljavo varnostnih parametrov uporabljamo steklene ploambe na glavnih razpokah, meritve razdalj med vijaki v trikotniku, merilce napetostnega stanja v stebrih in merilce pomikov (el-beam senzorji) na varnostnih stebrih.

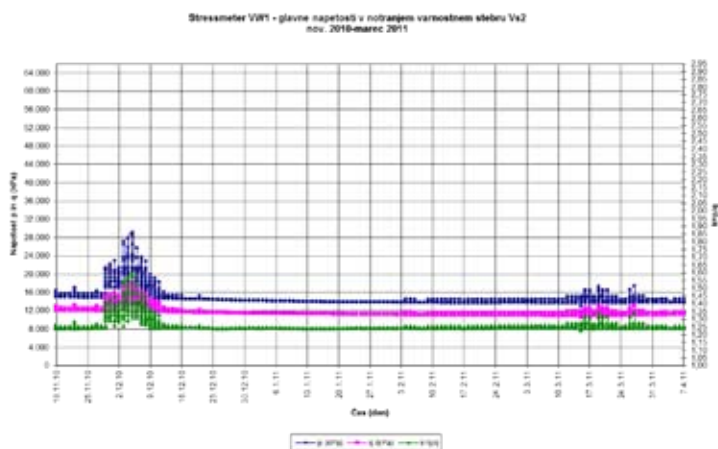
## **MERILEC NAPETOSTNEGA STANJA (VIBRATING WIRE- VW)**

Namen vgradnje merilca napetostnega stanja je pridobiti podatke o napetostnem stanju in kontrola napetosti v stebrih v času podzemnega pridobivanja naravnega kamna.

Uporabljeni merilec napetostnega stanja VW (vibrating wire biaxial stressmeter) služi za merjenje glavnih napetosti v eni vertikalni ravnini pravokotni glede na os vrtilne. Meritve glavnih napetosti omogočajo trije VW senzorji, ki so v sondi orientirani s kotnim zamikom 60°. Oblika merilca je valjasta, zunanji premer je 57,1 mm, izdelan je iz posebnega jekla.

Tehnične lastnosti merilca napetostnega stanja (model 4350 BX):

- Območje meritve 70 MPa
- Občutljivost 14 do 70 KPa
- Natančnost ± 0,1 F.S.
- Temperaturno območje delovanja -20°C do +80°C
- Zahtevan premer vrtilne BX (60 mm)



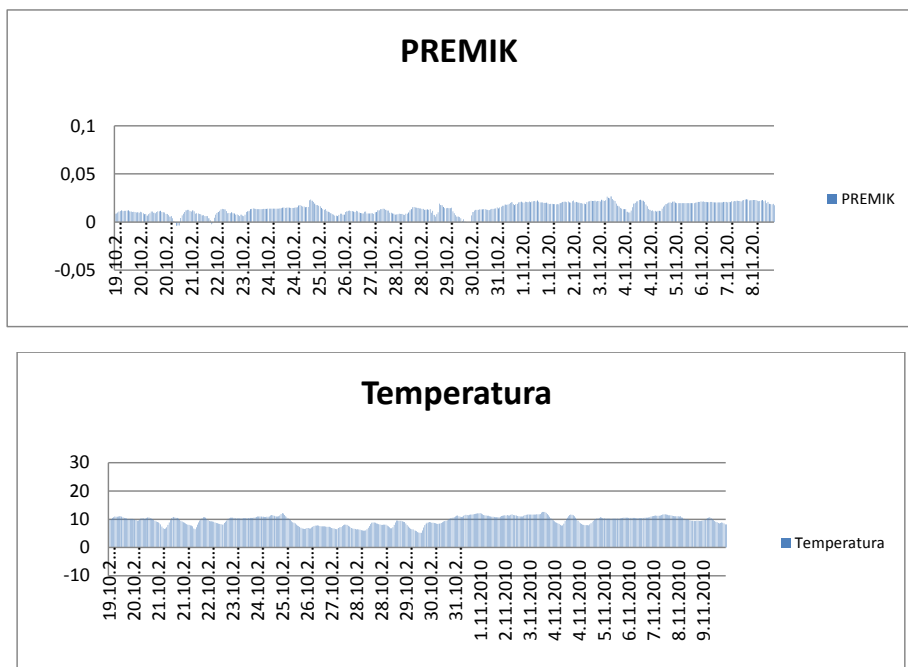
Graf 1.: Analiza podatkov stressmetra v kamnolomu Lipica II

### PALIČNI MERILEC PREMIKOV

Merilec EL BEAM pomikov služi za merjenje pomikov v eni vertikalni ravnini. Kovinska palica je pritrjena s sidri, tako da je položaj palice na eni in drugi strani glavne razpoke.



Slika 6.: Merilec pomikov EL BEAM z 2 m kovinsko palico in merilec pomikov EL TILT SENZOR



Slika 7. : Diagram premikov in temperature na EL paličnem merilcem

Za odzem podatkov z merilca napetostnega stanja služi pomnilniška enota za zajem podatkov in programska oprema. Zajem podatkov se vrši avtomatsko, glede na nastavljeno časovno enoto (vsako minuto, vsako uro in vsake štiri ure).

## ZAKLJUČEK

Na podlagi rezultatov raziskav lahko izberemo optimalno tehnologijo in tehnološke procese pridobivanja, ki nam bodo dali zadovoljive ekonomske – tehnološke rezultate.

Čeprav se tehnologija razvija naprej, je potrebno pri pridobivanju naravnega kamna še vedno upoštevati naravne danosti nahajališča in lastnosti kamna, kot so to počeli včasih.

Nov način pridobivanja naravnega kamna zahteva tehnološko, organizacijsko in, iz vidika varnosti pri delu, strokoven pristop. Seveda pri delu ne smemo pozabiti na rudarsko zakonodajo in prostorske načrte. Poleg nove tehnologije, ki se uporablja pri pridobivanju, moramo velik pomen dati varstvu pri delu, kot npr. spremljavi napetostnih parametrov v varnostnih stebrih, dnevno opazovanje varnostnih plomb na razpokah in pravočasno sidranje nevarnih delov.

S strokovnim pristopom in stalnim izobraževanjem ter izpopolnjevanjem, lahko naredimo podzemno pridobivanje naravnega kamna uspešno in varno.

## VIRI

- Arhiv podjetja Marmor, Sežana d.d.