

Ivan Tomašić  
Ana Kršinić  
Stipe Radić  
Marko Vlahović  
Zagreb

## ISTRAŽNO BUŠENJE U SVRHU VREDNOVANJA LEŽIŠTA PRIRODNOG KAMENA

UDK: 691.21

*Rukopis primljen za tisak 18. 01. 2009.*

*Izvorni znanstveni članak*

*Original scientific paper*

Rezultati istražnog bušenja imaju veliku vrijednost pri ocjeni i vrednovanju ležišta. Pokazalo se da kvalitetna jezgra i ispravna interpretacija rezultata bušenja u mnogome doprinose rezultatima istražnih radova, te razradi i eksploataciji ležišta.

### UVOD

Istražno bušenje neizbježna je i vrlo važna faza pri istraživanju i vrednovanju ležišta prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena. Rezultati istražnog bušenja imaju veliku vrijednost pri ocjeni i vrednovanju ležišta. Pokazalo se da kvalitetna jezgra i ispravna interpretacija rezultata bušenja u mnogome doprinose rezultatima istražnih radova, te razradi i eksploataciji ležišta. Rezultatima istražnog bušenja potrebno je posvetiti mnogo više pozornosti i vremena s obzirom da predstavljaju jedan od najskupljih oblika istraživanja. Olakšavaju ocjenjivanje ležišta prema dekorativnom, tehničkom i geološkom kriteriju. Posebno su važni elementi koji mogu poslužiti za ocjenu blokovitosti i cjelovitosti stijenske mase.

U materijalnom pogledu prirodni kamen predstavlja jednu od najvažnijih krutih mineralnih sirovina Republike Hrvatske. U ukupnoj ocjeni vrijednosti mineralnih

sirovina, prema podacima Atlasa rudarstva Republike Hrvatske, ukupna vrijednost arhitektonsko-građevnog ili prirodnog kamena izraženog u novcu za razdoblje od 1998. do 2004. godine iznosi 22% od ukupne vrijednosti proizvodnje svih mineralnih sirovina izraženih u novcu za isto spomenuto razdoblje. Treba spomenuti da u istom razdoblju tehničko-građevni kamen u vrijednosnom udjelu sudjeluje 56%.

Ovi podaci rezultat su prikupljanja podataka u sklopu izrade Strategije mineralnih sirovina Republike Hrvatske. Još su impresivniji ukoliko usporedimo sadašnju godišnju proizvodnju arhitektonsko-građevnog kamena u odnosu sa sadašnjom godišnjom proizvodnjom tehničko-građevnog kamena. Prema gruboj procjeni, godišnja proizvodnja arhitektonsko-građevnog kamena u Hrvatskoj kreće se u granicama od 80.000,00 do 90.000,00 m<sup>3</sup> kamena pretežito u blokovima. Godišnja proizvodnja tehničko-građevnog kamena prema gruboj procjeni iznosi preko 10.000.000,00 m<sup>3</sup>. Važnost i vrijednost arhitektonsko-građevnog kamena još je značajnija ukoliko se njegov vrijednosni udio usporedi s vrijednosnim udjelima ostalih mineralnih sirovina u nas.

Spomenuti podaci, iako nisu potpuno usporedivi, nedvojbeno ukazuju na važnost, vrijednost i potencijal naših zaliha prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena. Ukazuju na potrebu pridavanja veće pozornosti istraživanju, razradi i eksploataciji ležišta, a također i sanaciji i rekultivaciji prostora u kojem se eksploatacija odvijala. Posebice se to odnosi na istražne bušotine kao jedan od najskupljih oblika istraživanja. Omogućuju bolje planiranje i znatno jeftiniji rad prilikom pridobivanja kamenih blokova.

## VAŽNOST ISTRAŽIVANJA

Posebna se pozornost stoga mora posvetiti istraživanju ležišta arhitektonsko-građevnog kamena. Istraživanje omogućuje utvrđivanje geološke građe i sastava ležišta. Ponajviše se to odnosi na određivanje strukturno-petrografskih značajki ležišta i tehničko-tehnoloških značajki kamena. Istraživanjem se prije svega trebaju zadovoljiti potrebe za određivanjem dekorativnosti kamena, posebice ako se radi o novom varijetetu



*Sl. 1. Primjer ležišta prirodnog kamena s oznakama položaja bušotina*

kamena. Slijedi određivanje fizičko-mehaničkih i kemijskih svojstava kamena u laboratoriju. Najteže je procijeniti moguću veličinu i udio pojedinih kategorija blokova u stijenskoj masi. Dakako, ukoliko se radi o novom varijetetu kamena, važno je utvrditi i mogućnost rezanja i obrade kamena odnosno odrediti njegova tehnološka svojstva.

Sve je to, dakako, potrebno utvrditi u istražnom prostoru odnosno u eksploatacijskom polju nekog ležišta (sl. 1). Točnost i vjerodostojnost rezultata istraživanja utječu na isplativost eksploatacije i kakvoću blokova, proizvodnju finalnih proizvoda i plasman na tržištu. Da bismo bili sigurni da smo poduzeli sve kako bi definirali jedno ležište prirodnog kamena, moramo poći od definicije ležišta. Pod pojmom ležište podrazumijevamo svaku ekonomski korisnu mineralnu sirovinu koja je u kvalitativnom, kvantitativnom i prostornom pogledu utvrđena istraživanjem s maksimalno mogućom vjerojatnošću u skladu s pojedinim kategorijama rezervi (sl. 1). Istražnim bušotinama treba uvijek posvetiti maksimalnu pozornost, iako ne svakom ležištu i podjednaku, s obzirom da postoje jednostavnija i složenija ležišta.

## ISTRAŽNE BUŠOTINE

O samom istraživanju mineralnih sirovina već je mnogo rečeno u svjetskoj i domaćoj literaturi. Postoji čitav niz koraka koji se primjenjuju prilikom istraživanja. Njihov obim i redoslijed koriste se prema specifičnim značajkama pojedinih mineralnih sirovina. Istraživanje prirodnog kamena vrlo je kompleksan posao. Bez obzira na broj koraka i metoda koje se primjenjuju, svim je istraživanjima zajednička potreba izrada istraživačkih bušotina. Izbor i obim istraživačkih metoda primijenjenih prije bušenja razlikuje se međusobno po udjelu u ukupnim troškovima. Ovisno o stupnju poznavanja nekog područja, uvijek se počinje s jeftinijim metodama i koracima istraživanja. Jedan od zadnjih i najskupljih koraka je izrada istražnih bušotina. Kvalitetnom obradom istražne bušotine utvrdile bi se temeljne značajke kojima se definira neko ležište. Podaci dobiveni na temelju istraživanja bušenjem trebali bi biti temelj za interpolaciju i ekstrapolaciju raznih atribucija u ležištu (sl. 2).

Istražno bušenje i obrada kamene jezgre najskuplja su faza istraživanja. Omogućuju uvid u dekorativnost, cjelovitost i kakvoću stijenske mase u ležištu. Omogućuju definiranje ležišta u kvalitativnom, kvantitativnom i prostornom pogledu. Podaci o jezgri temelj su za izradu upotrebljivog geološkog elaborata o rezervama. Imaju veliki utjecaj na razradu i dinamiku eksploatacije ležišta arhitektonsko-građevnog kamena od njenog početka pa sve do prestanka rada i sanacije devastiranog prostora.

Na osnovi dugogodišnjeg iskustva može se sa sigurnošću tvrditi da se kvalitetom istražnog bušenja i interpretacijom dobivenih rezultata može učiniti znatan napredak



Sl. 2. Kamena jezgra izbrušena u osnovici zbog nepravilnog bušenja (porozni vinicit)

prilikom definiranja ležišta na duže razdoblje. Stoga prikazivanju i analizi rezultata iz istraženih bušotina treba posvetiti veću pozornost.

Naprotiv, nedovoljno, nepotpuno i nepravilno korištenje rezultata i podataka dobivenih istražnim bušenjem vodi najčešće prekomjernom trošenju novca. Bez pravih podataka s vremenom se iz sjećanja gubi stvarna slika o vrijednosti kamenog materijala iz bušotine. S vremenom se uništi i jezgra te slabi predodžba o njenom izgledu i detaljima. To često vodi ka pogrešnom usmjeravanju i neracionalnoj eksploataciji. Nepotrebni ulaskom u tektonske zone usporava se proizvodnja blokova te rastu troškovi eksploatacije. Fotografije mogu znatno pomoći, ali ne i u potpunosti nadomjestiti potrebu za detaljnim opisom jezgre.

### KOLIČINA I KAKVOĆA KAMENE JEZGRE

Kakvoća bušenja i jezgre omogućuju dobru procjenu svih potrebnih čimbenika važnih za ležište. Važan je bušači pribor koji ne uzrokuje lom kamene jezgre na mjestima gdje je ona prirodno zdrava i cjelovita.



*Sl. 3. Primjer neuspjelog bušenja na ležištu prirodnog kamena*

Dobrom regulacijom pritiska na mjestu gdje kruna dodiruje kamen i korištenjem odgovarajućeg broja okretaja u minuti može se znatno utjecati na cjelovitost jezgre. Potrebno je davati prednost bušenju dijamantnim krunama pred krunama sa zupcima od tvrdih metala, posebice ako se buši u krupno zrnastim i nehomogenim varijetetima kamena. Pojava prevelikih naprezanja na kontaktu krune i kamena uzrokuje lom jezgre (sl. 3). Jezgreni cijev, ukoliko se koristi, ne smije se prekomjerno puniti. Prekomjerno punjenje jezgrene cijevi uzrokuje habanje krajeva komada jezgri i težu procjenu cjelovitosti stijenske mase u ležištu. U tom je slučaju teže ocijeniti je li kamen puknuo uslijed nepredviđenih naprezanja („naživo“) ili se radi o prirodnom diskontinuitetu.





*Sl. 4. Strije na kamenoj jezgri*

Slika 4. prikazuje strije na kamenoj jezgri (jezgra je na lijevom prekidu oštećena habanjem te nije moguće ocijeniti je li se lom dogodio uzduž zdravog dijela ili pukotine). Strije ukazuju na smjer i intenzitet tektonskih gibanja u ležištu.

U prikazu presjeka bušotine svaki se prekid jezgre mora označiti na način iz kojega je vidljivo je li prekid uzduž prirodnog diskontinuiteta ili je nastao kao rezultat nepravilnog rada.



*Sl. 5. Kavernozna zona*

Procjena cjelovitosti stijenske mase zahtijeva ukupnu dužinu kamene jezgre dobivenu istražnim bušenjem u iznosu od 100%. To se posebno odnosi na one dijelove ležišta u kojima će se na temelju procjene dobivati zdravi i veliki blokovi. Na slici 5. vidljive su samo neke od značajki koje treba utvrditi istraživanjem a koje se prije “otvaranja” stijenske mase ne vide s površine terena.

## DEKORATIVNOST

Prirodni kamen je kamen koji se koristi za oplemenjivanje prostora u kojem živimo. Njegova dekorativnost je jedan od važnih čimbenika pri izboru kamena. Strukturne i teksturne značajke kamena i njegova boja važni su elementi u sklopu dekorativnog kriterija. Dekorativnost se utvrđuje na način da se cijela jezgra polira po potrebi, posebice ako se radi o novom ležištu (sl. 6). Moguće je i poliranje prethodno izrezane jezgre u tanke izdužene pločice što također omogućuje dobar uvid u strukturne i teksturne značajke kamena i njegovu dekorativnost. Mogućnost poliranja do visokog sjaja ukazuje na gust i kompaktan kamen bez pora.



Sl. 6. Polirani uzorak jezgre iz bušotine (s prijelomom „naživo“)

## CJELOVITOST STIJENSKE MASE

Istražna bušotina do određene mjere omogućuje procjenu linearnog koeficijenta cjelovitosti. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti diskontinuitetima koji os jezgre sijeku pod nekim kutom koji je bitno različit od 0° ili 90°. Samo orijentirana jezgra omogućuje mjerenje položaja diskontinuiteta u ležištu. To se prije svega odnosi na položaj slojevitosti koja je usporediva s onom izmjerenom na površini terena ili u dijelovima starih radilišta. Linearni koeficijent cjelovitosti izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$K_{l_{cj}} = \frac{\Sigma(l_1 + l_2 + \dots + l_n)}{L} \cdot 100(\%)$$

Gdje su:

$l_1, l_2, \dots, l_n$  - cjeloviti dijelovi jezgre određene dužine,

$L$  - ukupna dužina jezgre.

$K_{l_{cj}}$  - koeficijent linearne cjelovitosti kamene jezgre

Monolitnost (sl. 7), odnosno kompaktnost stijenske mase u ležištu u prostornom pogledu može se najtočnije odrediti pomoću tri bušotine. Pritom se analiziraju cjeloviti intervali jezgri iz bušotina koje su prethodno orijentirane okomito na pojedine pukotinske sustave u ležištu.

Za svaku se bušotinu posebno određuje koeficijent linearne cjelovitosti. Cjeloviti dijelovi jezgri  $l_1, l_2, \dots, l_n$  analiziraju se posebno za pojedine intervale dužina npr.  $>50, >100, >150, >200$  cm itd., već prema tome kakvi se blokovi očekuju u stijenskoj masi. Nakon toga linearni se koeficijenti  $K_{lcj1}, K_{lcj2}$  i  $K_{lcj3}$  izračunavaju za svaki smjer bušenja posebno, prema već prethodno spomenutim ograničenjima i dobivenim intervalima jezgri.



Sl. 7. Sloj pomaknut rasjedom (pukotine ograničavaju veličinu blokova)

Naposlijetku se izračunava stvarna ili volumna iskoristivost stijenske mase u ležištu prema formuli:

$$K_{vcj} = K_{lcj1} \cdot K_{lcj2} \cdot K_{lcj3} \cdot 100 (\%)$$



Sl. 8. Pukotina ispunjena crljenicom

Utvrđivanje cjelovitosti stijenske mase mora se provesti vrlo pomno. Izmjereni položaji diskontinuiteta u bušotinama (sl. 8), na površini terena i na otkopnim frontama starih radilišta mogu se analizirati na način da im se odredi optimalnost međusobnog prostornog odnosa mjerenjem i analizom kuta  $\varphi$  između diskontinuiteta. Prema tome, ako smo u ležištu izmjerili  $n$  različitih diskontinuiteta, broj njihovih

ukupnih međusobnih presjeka pod nekim kutom  $\varphi$  bit će  $K=n(n-1)/2$ . Pri tome je kut  $\varphi$  – kut između i-tog i j-tog diskontinuiteta. Taj kut iznosi od  $0^\circ$ - $90^\circ$ . Pokazuje da je najpovoljniji prostorni odnos diskontinuiteta u području prema  $0^\circ$  ili prema  $90^\circ$ , što naravno znači da je povoljno odnosno optimalno ako su u ležištu diskontinuiteti međusobno paralelni ili okomiti. Treći uvjet optimalnosti odnosi se na stvarne razmake između diskontinuiteta  $d_1, d_2, \dots, d_n$  unutar određenog sustava pukotina. Ukoliko su veći, utoliko se iz stijenske mase mogu dobivati veći blokovi. Rezultati se prikazuju pomoću histograma ili krivulje distribucije kutova dobivenih polinomnom regresijom za određenu poziciju u ležištu. Potrebno je još utvrditi dominiraju li u ležištu tri ili više sustava diskontinuiteta.

## DEFEKTI

Za detaljno određivanje cjelovitosti važno je registrirati bilo kakve defekte koji bi mogli prouzročiti pucanje jezgre, kamenog bloka ili ploče u tijeku piljenja, brušenja i poliranja ili pak nakon ugradnje kamenih elemenata i ploča. Mikro i makro defekti, različito koncentrirane pore, stiloliti, pukotine i kaverne nastale tektonizacijom (sl. 9), te desikacijske pukotine (nastale isušivanjem) moraju se na presjecima bušotina detaljno zabilježiti. Posebno je opasna jasno i slabo vidljiva mikroslojevitost koja može voditi štetnom listanju kamena.



Sl. 9. Tektonski kontakt i mikropukotine u nejednoliko dolomitiziranom vapnencu

Otvorenost odnosno zijev stilolita kod nekih varijeteta kamena je vrlo opasna. Može prouzročiti pucanje ploča tijekom brušenja i poliranja, a na mjestu ugradnje ubrzava procese oštećenja kamena.

Kod analize konglomerata i breča potrebno je obratiti pozornost na kakvoću kontakata između veziva i pojedinih valutica. Sporadično oslabljene veze u tijeku piljenja i ugradnje uzrokuju pucanje kamenih ploča.

## STRUKTURNO-PETROGRAFSKE ZNAČAJKE

Posebna se pozornost mora posvetiti važnosti utvrđivanja stupnja homogenosti i nehomogenosti vidljivih strukturnih, teksturnih, ali i petrografskih značajki koje bi mogle imati utjecaj na kakvoću, trajnost i postojanost prirodnog kamena. Radi se o brojnim značajkama vezanim za promjenu nijansi boje zbog promjene koncentracije raznih pigmenta, ali i zbog poroznosti posebice prilikom kapilarnog upijanja. Učestalost tih pojava je potrebno zabilježiti jer one ukazuju na neujednačenost te na moguće posljedice nakon ugradnje kamena (sl. 10).





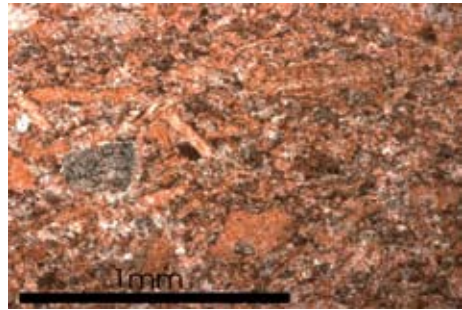
Sl. 10. Otopanje ljušturica fosilnog kršja



Sl. 11. Promjena boje na kontaktu vapnenca i dolomitiziranog vapnenca

Potrebno je utvrditi bilo kakvu pojavu koja može ukazivati na laminaciju, listanje te zonalnu i koncentričnu građu. Takve pojave nehomogenosti mogu prouzročiti listnato, koritasto i pločasto raspadanje kamena. Promjene boje mogu ukazivati na promjene nastale u vrijeme singenetskih, dijagenetskih i postdijagenetskih procesa (sl. 11).

Kao primjer mogu se navesti posljedice dolomitizacije te rjeđe dedolomitizacije koje se mogu uočiti na kamenoj jezgri u tijeku istraživanja ali još više nakon ugradnje kamena u pojedine konstrukcije. Ovi procesi utječu na poroznost, boju (sl. 11) i mogućnost poliranja kamena. Brojne pore nastale uslijed dolomitizacije veoma utječu na dekorativnost i postojanost takvog kamena. O njima ovisi kako će kamen na mjestu ugradnje odolijevati raznim opterećenjima te posebice djelovanju različitih soli i onečišćenja. Kod karbonata je važno utvrditi litotipove specifičnih strukturnih, teksturnih, i petrografskih značajki (sl. 12). Složenost petrografskih svojstava i odnosa ovisi i o poliminerálnosti ili monomineralnosti kamena.



Sl. 12. Bioklasti u mikritnom matriksu

## AKUSTIČNE ZNAČAJKE KAMENA

Poznato je da se kamen može testirati prema zvučnim efektima pri udaranju čekićem. Trebalo bi zabilježiti kakav zvuk dobivamo prilikom udaranja o jezgru. Tako se “zvonoliko” (sound rock) prostiranje zvučnih valova pripisuje gustom, zdravom i jedrom mikritnom vapnencu, a “tupo” poroznom, zasićenom vodom, petrografski trošnom i raspucanom kamenu s brojnim i različitim defektima. Između ta dva krajnja slučaja moguće je razlikovati čitav niz prijelaznih varijeteta kamena. Kakvoću unutarnje strukturne građe moguće je registrirati nedestruktivnom metodom kao što je mjerenje brzine prostiranja ultrazvučnih valova.

## ZAKLJUČAK

Rezultati istražnog bušenja imaju veliku vrijednost pri ocjeni i vrednovanju ležišta. Pokazalo se da kvalitetna jezgra i ispravna interpretacija rezultata bušenja u mnogome doprinose rezultatima istražnih radova, te razradi i eksploataciji ležišta. Rezultatima istražnog bušenja potrebno je posvetiti mnogo više pozornosti i vremena s obzirom da predstavljaju jedan od najskupljih oblika istraživanja. Olakšavaju ocjenjivanje ležišta prema dekorativnom, tehničkom i geološkom kriteriju. Posebno su važni elementi koji mogu poslužiti za ocjenu blokovitosti i cjelovitosti stijenske mase. Za detaljno određivanje cjelovitosti važno je registrirati bilo kakve defekte koji bi mogli prouzročiti pucanje jezgre, kamenog bloka ili ploče u tijeku piljenja, brušenja i poliranja ili pak nakon ugradnje kamenih elemenata i ploča.

Naprotiv, nedovoljno, nepotpuno i nepravilno korištenje rezultata i podataka dobivenih istražnim bušenjem vodi najčešće prekomjernom trošenju novca. Otežava se usmjeravanje eksploatacije. Bez pravih podataka s vremenom se iz sjećanja gubi stvarna slika kamenog materijala iz bušotine. S vremenom se uništi i jezgra te slabi predodžba o izgledu i detaljima jezgre. To često vodi ka pogrešnom usmjeravanju i neracionalnoj eksploataciji. Nepotrebnim ulaskom u tektonske zone usporava se proizvodnja blokova te rastu troškovi eksploatacije.

## LITERATURA:

- Radić, S. (2007.): Geološke značajke važne za istraživanje i vrednovanje arhitektonsko-građevnog kamena u ležištu „Kupinovo“ na otoku Braču. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Diplomski rad, 33. str., Zagreb.
- Tomašić, I. (1994.): Istraživanje i vrednovanje ležišta arhitektonsko građevnog kamena, Simpozij: *Prirodni arhitektonski kamen od ležišta do ugradnje (Kamen u hrvatskom naslijeđu)*. Str. 17-20, Zagreb.
- Tomašić, I. (1987.): Prostorna analiza tektonskog sklopa primjenom računala. *Geološki vjesnik*, Vol. 40, str. 379-405, Zagreb.
- Tomašić, I. (1994.): The influence of discontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 6, 101-105, Zagreb.
- Vesel, J. i Lovrenčić, J. (1987.): Specifičnost geoloških reziskav arhitektonsko-građbenega kamna. *Geološki zbornik* 8, 115-126, Ljubljana.
- Vlahović, M. (2009.): Istraživanje i vrednovanje arhitektonsko-građevnog kamena na primjerima nekih ležišta (u izradi).
- Atlas rudarstva Republike Hrvatske* (2006.): Izdavač: Springer Business Media Croatia d.o.o., 199. str.

## RESEARCH DRILLING FOR EVALUATING THE QUALITY OF THE NATURAL STONE DEPOSITS

### *S u m m a r y*

The results of research drilling are extremely important while stone deposits are being graded and evaluated. It has been shown that good quality core and proper interpretation of drilling results contribute a lot to the results of research works as well as to working with and making full use of stone deposit. Results of research drilling need much more time and attention considering that they are one of the most expensive types of research. They ease the evaluation of stone deposits according to decorative, technological and geological criteria. The elements that can determine the integrity and consistency of the stone mass are especially important. For a detailed assessment of the consistency, it is important to register any kind of defects that might cause breaking of the core, stone block or tablet during sawing, grinding and polishing, or which might cause it after stone elements and tablets had been installed.

On the contrary, insufficient, incomplete and incorrect usage of results and information gained by research drilling, most often leads to excessive money spending and proper directing of exploitation gets much harder. Without proper data, over time, the real image of the stone material from the drill site is fading from memory. That often leads towards wrong directing and irrational exploitation. With unnecessary drilling into tectonic zones the production of blocks is slowed down and the expenses of exploitation gets higher.