



ID 04

## GEOLOŠKE RAZISKAVE KOT OSNOVA ZA OPREDELITEV NAJPRIMERNEJŠEGA NAČINA PRIDOBIVANJA BLOKOV NARAVNEGA KAMNA

Jože VESEL, Andreja SENEGAČNIK

*Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, LJUBLJANA*

[joze.vesel@geo-zs.si](mailto:joze.vesel@geo-zs.si)

[andreja.senegacnik@geo-zs.si](mailto:andreja.senegacnik@geo-zs.si)

### POVZETEK

Nahajališča naravnega kamna v Sloveniji se razlikujejo po vrsti kamnine, geološki zgradbi in zalogah, kakor tudi po ekonomski vrednosti, geografski legi ter stopnji raziskanosti. Pomembna specifičnost te mineralne surovine je zahteva po kompaktnosti. Vsled navedenega moramo za odločitev o pridobivanju najprej z geološkimi raziskavami ugotoviti naravne dejavnike, to sta predvsem kamnina kot naravni material in nahajališče. Dodatno pa se od geologov pričakuje (zahteva) tudi podatke, koristne za izbiro načina pridobivanja ter posledično tudi za ekonomičnost, varnost in ekološko sprejemljivost. Dobre rezultate lahko dosežemo s timskim delom znotraj geološke vede (stratigrafija, tektonika, geomehanika, analitika itd.), kakor tudi v povezavi s sorodnimi vedami (rudarstvo, tehnologija, ekologija, regulativa, ekonomika itd.). V predloženem prispevku želiva podati najin pogled na pomembnost izbire in izvedbe geoloških raziskav, katerih rezultati bodo osnova za odločitev o začetku pridobivanja in nadalje o načinu pridobivanja (klasično, s sprotno sanacijo, podzemno) v nahajališčih naravnega kamna.

**Ključne besede:** geološke raziskave, mineralne surovine, naravni kamen, kamnolomi, pridobivanje blokov

### UVOD

Naravni kamen imenujemo različne kamnine naravnega izvora, ki so po svojem videzu in lastnostih primerne za pridobivanje, obdelavo in vgradnjo, so zadostno obstojne in so vgrajene v svoji naravni, nepredelani, z obdelavo le poudarjeni obliki. V Sloveniji imamo veliko nahajališč naravnega kamna, razlikujejo se tako po vrsti kamnine kakor tudi po geoloških značilnostih. Zastopana so v skoraj vseh delih Slovenije in izvirajo skoraj iz vseh geoloških dob.

Pridobivanje naravnega kamna poteka že od prazgodovine, v antiki in srednjem veku se je intenziviralo (večji razmah) ter doseglo pravi razcvet v industrijski in postindustrijski dobi v 19. in 20. stoletju. Na GeoZS imamo v Sloveniji evidentiranih okrog 450 opuščenih kamnolomov in večjih odkopov naravnega kamna, če upoštevamo tudi odkope monolitov

manjših dimenzij, ne le standardnih blokov. V skladu z geološko zgradbo našega ozemlja je večji del nahajališč v sedimentnih karbonatnih kamninah, precej jih je v magmatskih, dokaj pa so zastopane tudi razne metamorfne kamnine.

Zaradi umeščenosti slovenskega ozemlja v tektonsko zelo razgibano območje na stičišču Dinaridov, Alpidov in Panonskega bazena so poleg specifične pri samem nastanku pomembne tudi posledice tektonskega delovanja – s tem mislimo predvsem na gubanja in prelamljanja, ki so nahajališča samosvoje oblikovala. Pri naravnem kamnu je namreč poleg lastnosti in kvalitete same kamnine ravno bistvenega pomena kompaktnost (neporušenost) blokov. Naloga geologa je, da čim bolj razišče naravne danosti nahajališča, jih definira, in s tem omogoči izdelavo ustreznega rudarskega projekta odkopavanja in posledično čim bolj ekonomičnega pridobivanja.

## NAČINI PRIDOBIVANJA NARAVNEGA KAMNA

Od sedaj delujočih kamnolomov so v magmatskih kamninah (v granodioritu) Cezlak I in Josipdol na Pohorju; v biokemičnih sedimentnih (v apnencu) Hotavlje v Poljanski dolini, Lesno Brdo pri Vrhniku ter na Krasu Lipica I in II, Debela Griža, Bezovščina ter Lesično in Doline v pripravi; v lehnjaku Kokra na Jezerskem; v klastičnih sedimentnih (v flišnem peščenjaku) Elerji pri Škofijah in Premančan na Obali; ter v metamorfni kamninah (v skrilavem gnajsu) več manjših na Pohorju. Potekajo tudi raziskave sedimentnih kamnin za strešni skril v zahodni Sloveniji. Vsako nahajališče ima svoje posebnosti.

V splošnem naravni kamen v Sloveniji pridobivamo na tri osnovne načine:

- klasično na visokih etažah,
- s sprotno sanacijo,
- podzemno.

Zaradi ekološke sprejemljivosti, boljšega izkoristka produktivne plasti in uvajanja novih tehnologij postajata zadnja dva načina tudi pri nas vedno bolj perspektivna. Geološke raziskave so zastavljene tako, da rezultati najprej podajo odgovor, kateri način pridobivanja je za obravnavano nahajališče najbolj ustrezen, v nadaljevanju pa je potrebno ugotoviti (določiti) glavne naravne parametre, saj so zahteve za vsakega od teh načinov nekoliko specifične. Za klasični način z visokimi etažami je pomembna predvsem geološka zgradba (lega in debelina) produktivne plasti glede na odkrivko. Tej skupini pripada največ kamnolomov, npr. Cezlak, Lesno Brdo, Lipica I in Lipica II (slika 1); pri slednjih dveh pridobivanje že prehaja v podzemno, kot tudi v kamnolomu Hotavlje.

Za smotrnost pridobivanja s sprotno sanacijo je pomembna skladna lega produktivne plasti s konfiguracijo terena in primerno razmerje ostanka odkopanega materiala napram odvzetemu delu, kar omogoča sprotno vzpostavljanje stanja, primerljivega prvotnemu. Ta način je zelo primeren za pridobivanje flišnega peščenjaka. Izveden je bil v kamnolomih Poljane-Pučče (slika 2) in Boršt, ki sta že zaprta in večji del sanirana.



**Slika 1.:** Klasično pridobivanje blokov naravnega kamna z visokimi etažami, ki že prehaja v podzemnega; kamnolom Lipica II, stanje 2006



**Slika 2.:** Pridobivanje s sprotno sanacijo. V ospredju poteka pridobivanje blokov, v ozadju je že sanirana in rekultivirana površina; kamnolom Poljane-Puče, stanje 1995

Za podzemno pridobivanje se odloča zlasti, če ima nahajališče veliko količino odkrivke ali pa, če je površina namenjena drugim dejavnostim. Pomembna je predvsem strukturna zgradba produktivne plasti, saj je od te posebnosti nahajališča v veliki meri odvisna tudi stabilnost in posledično varnost. Ta način se je najprej (v letu 1993) uvedel v kamnolomu Hotavlje (slika 3), nekaj let kasneje pa tudi v kamnolomih Lipica I in predvsem v Lipici II.



**Slika 3.:** Podzemno pridobivanje. Uvodni del galerije, prereza 5,2 x 4,3 m, z značilnim zruškom iz stropa zaradi neugodne lege prekinitvenih ploskev; kamnolom Hotavlje, stanje 2007

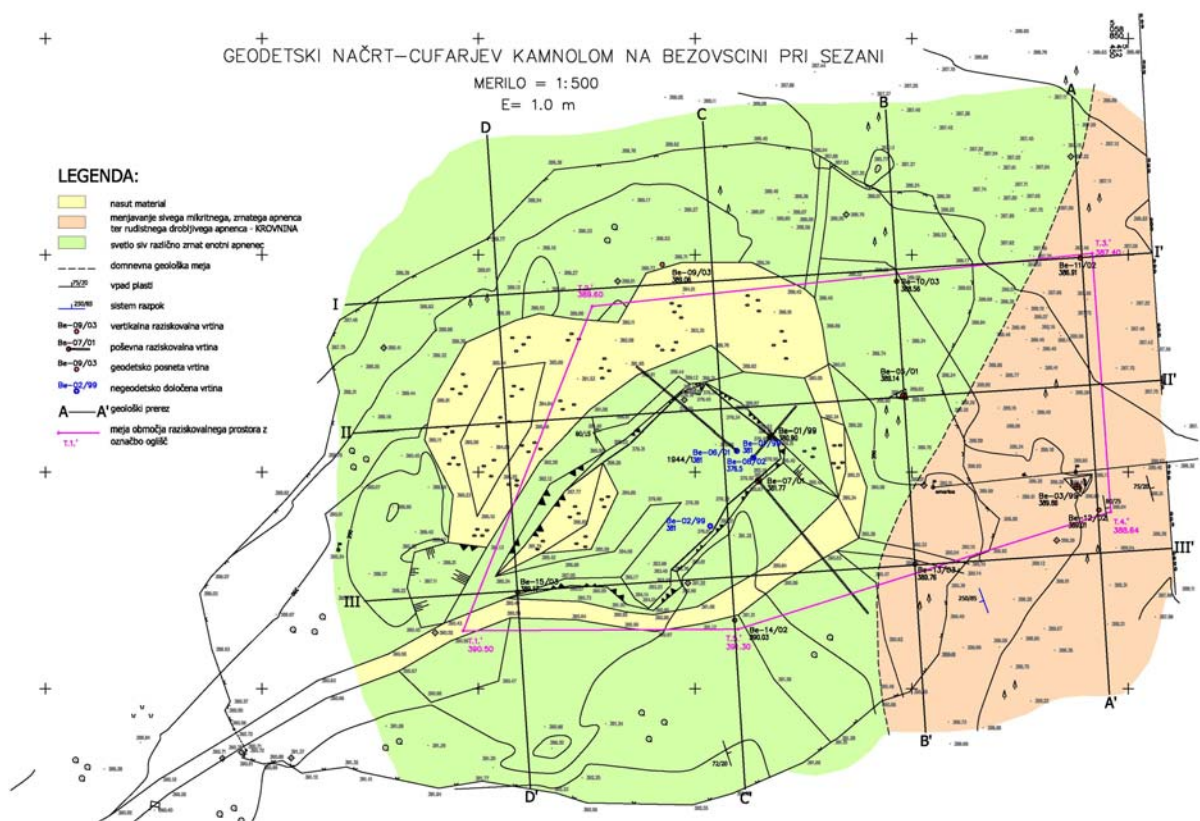
## **METODE RAZISKAV**

Za razliko od ostalih vrst mineralnih surovin so bile geološke in druge raziskave naravnega kamna v Sloveniji sistematično zastavljene šele koncem 70-ih let prejšnjega stoletja, čeprav je število aktivnih kamnolomov naravnega kamna takrat že upadalo. Raziskovalna dela z vrtanjem, vzorčenjem in oceno perspektivnosti so bila izvršena že na okrog 120 nahajališčih. Za vsa ta in tudi druga so bila izdelana poročila, za mnoga tudi večkrat. Tako smo na Geološkem zavodu Slovenije za nahajališča naravnega kamna od leta 1953 do danes izdelali okoli 210 geoloških poročil. Za bolj perspektivne lokacije in nahajališča v eksploataciji smo izdelali 35 elaboratov o zalogah, od tega je prišlo pri devetih kamnolomih do potrditve.

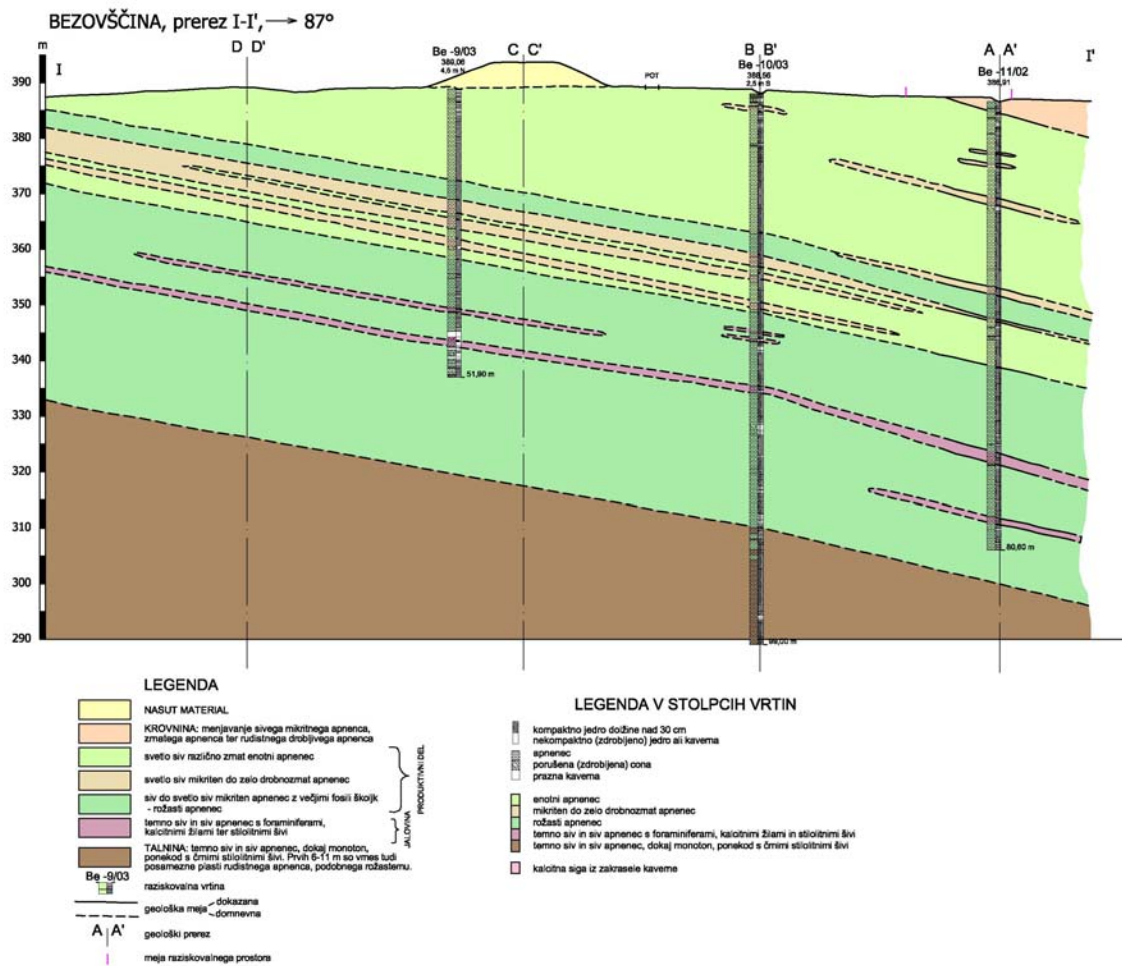
Namen raziskav je dobiti pomembne celostne podatke o naravnih danostih, ki jih še ne poznamo, oziroma ne dovolj za izvajanje pridobivalnih del.

Ker je naravni kamen specifična vrsta mineralne surovine, ki se edina pridobiva v čim večjih blokih, monolitnih paralelopipedne oblike, morajo biti tudi obseg in vrsta raziskav zasnovana tako, da je lega in velikost blokov definirana že v nahajališču, medtem ko je pri drugih mineralnih surovinah pomembna samo lega in vsebnost rude, agregata ipd. V nahajališču naravnega kamna imamo lahko v litološkem smislu visokovredno kamnino, ki pa zaradi slabe kompaktnosti kot naravni kamen nima pomena.

Osnovne raziskave zajemajo t.i. sledilne metode (geološko prospekcijo, vzročenje s preiskavo vzorcev, geofiziko itd.). Sledijo detajlne raziskave, to je predvsem detajlno geološko kartiranje v kombinaciji z raziskovalnim vrtanjem. Na podlagi rezultatov se definira produktivno plast, izdelajo se geološka karta in geološki prerezi (sliki 4 in 5).



Slika 4.: Primer detajlne geološke karte ožjega območja kamnoloma



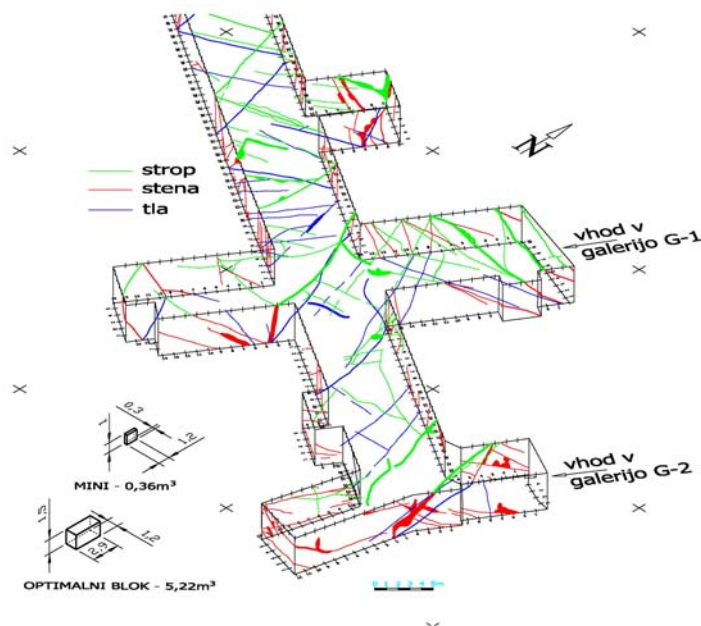
Slika 5.: Primer detajlnega geološkega prereza z vrisanimi raziskovalnimi vrtinami

Raziskovalno vrtanje ima pri raziskavah naravnega kamna poseben pomen, saj na ta način poleg dokaza o geološki zgradbi, izgledu, kvaliteti in zalogah dobimo tudi podatek o kompaktnosti. Zaradi slednjega smo na GeoZS že pred 25 leti uvedli prirejen način vrtanja na usmerjeno jedro, ki nam na dobljenem orientiranem jedru omogoči ugotoviti vsako zanimivo diskontinuiteto (prekinitveno ploskev) na dejanskem kraju in njeno pravo lego v prostoru (slika 6). Ti podatki so osnova za statistično obdelavo vrste, lege in gostote vseh izmerjenih diskontinuitet v vrtini. Na podlagi rezultatov teh analiz izdelamo konturne diagrame (na podlagi Šmidtove mreže), kjer je večinska lega prikazana kot zgoščina (maximum) (slika 7). 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. Zaradi prostorske predstavitve je za naravni kamen zaželeno vrtanje po treh ortogonalnih oseh z vsaj približno enakovredno gostoto vrtin po vsaki smeri. Manjkajoče vrtine lahko nadomestimo z meritvami na površini, stenah kamnoloma ali v naravnih podzemnih prostorih, vendar morajo biti meritve zanesljive in enakovredne, dobljenim iz vrtin.



Do sedaj naštetá raziskovalna dela (v primeru korektné izvedbe in interpretacije) so osnova za opredelitev najprimernejšega začetka in načina pridobivanja. Pri podzemnem načinu pa so še zlasti pomembna za projektiranje uvedne galerije, to je njenih koordinat začetka in konca ter smeri in najožje še operativne širine in višine.

Po izdelavi uvedne galerije v njej izvedemo meritve diskontinuitet in detajlno geološko kartiranje po stenah, tleh in stropih. Želena je tudi sprotno spremljanje in meritve prekinitvenih ploskev na posameznih rezih, ker v kombinaciji z evidenco pridobljenih blokov lahko sledimo spreminjanje izplena. Ko dobimo vse dostopne podatke o strukturi v galeriji, izdelamo konturne diagrame; najprej za posamezne dele, nato pa v kombinaciji s podatki iz osne vrtine izdelamo skupni diagram obdelanega dela nahajališča. Za ponazoritev dejanskega stanja je sedaj že dovolj podatkov, da naredimo prostorski model prekinitvenih ploskev (slika 8). Iz opisanega vidimo, da uvedna galerija predstavlja pravzaprav kombinacijo raziskovalno-odpiralnega dela, ter da je pridobivanje oziroma izplen blokov drugotnega pomena. Šele v tej fazi raziskav je možno narediti sintezo vseh podatkov in rezultatov za operativni rudarski projekt odkopavanja. Geolog, rudar in tehnolog lahko sedaj načrtujejo smeri in dimenzije pridobivalnih prostorov (prečnikov, komor, niš), morebitno širitev uvedne galerije, oziroma dodatne raziskave, vključno z vrtanjem in uporabo georadarja.



**Slika 8.:** Prostorski prikaz prekinitvenih ploskev v podzemnih pridobivalnih prostorih kamnoloma Hotavlje

## UPORABA REZULTATOV RAZISKAV

Za opredelitev, ali sploh pričeti s pridobivanjem, in nato določitev nadaljevanja pridobivanja sta odločilni dve skupini dejavnikov:



- geološki dejavniki v povezavi z geografskimi (kakovost in uporabnost mineralne surovine, geološka zgradba, zaloge, lega nahajališča),
- regulativni dejavniki (predvsem skladnost s prostorskimi plani).

Geološki dejavniki so naravni, nespremenljivi; so prvi in osnovni pogoji, ki dajejo možnost odpiranja kamnoloma. Kot uporabno vrsto naravnega kamna smatramo tako kamnino, ki je po svojem videzu, fizikalno-mehanskih lastnostih, obdelovalni sposobnosti in obstojnosti primerna za vsaj eno vrsto uporabe po kriteriju veljavnih standardov in sprejemljivosti trga. H geološki zgradbi prištevamo lego in debelino produktivne plasti, vrsto, lego in debelino odkrivke, litološke, fizikalne in strukturne posebnosti za odkop predvidenega dela produktivne plasti. Zaloge so eden odločilnih dejavnikov, tako v smislu zagotovitve večletne kontinuirane proizvodnje, predvsem pa na daljši čas predvidljivega in nad ekonomsko (rentabilno) mejo visokega izplena blokov. Lega nahajališča je pomembna v smislu organiziranja pridobivanja, komunikacij, lastništva, ekološke sprejemljivosti in morda še kaj.

Med regulativne dejavnike uvrščamo zakonodajo in vso potrebno dokumentacijo (soglasja, projekti), ki upošteva pozidana in vodovarstvena območja, parke različnih velikosti in razredov, območja Nature 2000 itd. Za vse navedeno je za odločanje o pridobivanju pomemben vrstni red obdelave, saj je smotrno najprej v največji meri korektno obdelati naravne, to je na krajši čas nespremenljive dejavnike.

Ko je odločitev o pridobivanju (vrsta, obseg, tehnologija, ekonomika) že privzeta, delo geologa še ni končano. Pomembna je stalna spremljava montan-geoloških pogojev, ki se zaradi naravnih nepredvidljivosti z napredovanjem del stalno spreminjajo. Predvsem pri podzemnem delu je dilema vedno kje, kaj in koliko odkopati ali pustiti v varnostnih stebrih, saj, kar je uporabno za bloke, je najbolj ugodno tudi za varnostne stebre. Da bi rezultate geoloških in drugih raziskav čim bolje uporabili, bi bilo potrebno po končanih raziskavah oziroma odločitvi o pridobivanju izdelati dolgoročni globalni načrt (projekt) pridobivanja in sanacije, kjer bi bili zajeti naravni (geološki), tehnološki in regulativni parametri.

Poleg izplena blokov je varnost pridobivanja najbolj soodvisna od naravnih danosti nahajališča. Geologija ni eksaktna veda, da bi mogli predpostavljati ali celo do podrobnosti ugotoviti strukturno zgradbo in druge parametre v vseh, za odkopavanje predvidenih delih nahajališča. Vseeno pa smatramo, da je z upoštevanjem vseh možnih izsledkov o geološkem statusu nahajališča možno precej zmanjšati stroške za uporabo zahtevnejše tehnologije, merilnih in signalno varnostnih sistemov (ekstenziometer, stresmeter idr.) ter varovalnih in sanacijskih postopkov (sidranje, mreže). Pomembno je, da z natančnimi meritvami in obdelavo geoloških podatkov čim bolj predvidimo postopke za naprej, medtem ko prej navedeni sistemi ugotavljajo stanje v že odkopanih delih.

V stroškovnem smislu je glede na uporabne rezultate smiselno vložiti čim več truda in znanja v ugotavljanje vseh naravnih parametrov za odločanje o pridobivanju, vendar pa jih je potrebno tudi razvrstiti po pomenu in vrednosti (ceni).

## ZAKLJUČKI

Odločitev o pridobivanju blokov naravnega kamna, oziroma o odpiranju kamnoloma je seveda poslovna odločitev, za katero pa je potrebna dokumentacija z zanesljivo čim bolj natančnimi ugotovitvami in čim boljšimi rešitvami. Za razliko od drugih strok in postopkov geologija nima neke »predhodne stroke«, ampak samo naravne danosti, ki jih je treba ugotoviti in se jim v nadaljevanju prilagoditi. Celotni proces raziskav, izdelava dokumentacije in izvajanje del pri raziskovanju in pridobivanju ne more biti domena samo ene stroke. Ko geološke raziskave še trajajo, je še kako smiselno vključevanje rudarstva, potem pa se pridružijo še regulativa, tehnologija, ekonomika, naravovarstvo in drugo.

Pomembno je timsko delo vseh, ki lahko vplivajo na ugoden izid. Za nekatere globalne rešitve je nujna timska sodelava že v prvih fazah raziskav. Npr. nima smisla izvajati dragih detajlnih raziskav, če lokacijo ni možno umestiti v prostorski plan, ali pa bi bilo pridobivanje preveč tvegano oziroma drago.

Preteklost pridobivanja naravnega kamna v Sloveniji in drugod nam kaže, da je bilo zaradi svoje zahtevnosti oziroma specifičnosti pridobivanje blokov v večini kamnolomov, kljub visoki ceni te mineralne surovine, na robu gospodarnosti. Zaradi tega imamo tudi tako veliko število opuščenih, še ne izkoriščenih kamnolomov in odkopov napram aktivnim. Z uvajanjem novih metod in tehnologij raziskovanja in pridobivanja se je marsikje stanje že izboljšalo, ni pa še zadovoljivo, često ravno zaradi prenizke stopnje raziskanosti.

Sedanje potencialne možnosti za kvalitetne geološke in druge raziskave v sodelavi s sorodnimi vedami, predvsem rudarstvom, bi bile lahko solidna osnova, oziroma način, da naša številna nahajališča naravnega kamna postanejo dejansko materialna osnova za še hitrejši razvoj kamnarstva. Pestrost, lepota in uporabnost slovenskih vrst naravnega kamna si gotovo zaslužijo v bodoče še večjo pozornost za njih smotno izrabo.

## VIRI IN LITERATURA

1. Arhiv strokovne dokumentacije Geološkega zavoda Slovenije.
2. Bajželj, U. & Kortnik, J. *Prednosti podzemnega pridobivanja naravnega kamna*. 2. strokovno izobraževalni seminar »Lastnina, vrednotenje, varstvo pri delu«, Društvo tehničnih vodij-površinsko odkopavanje, str. 89-92, Hotavlje (1998).
3. Bajželj, U., Kortnik, J., Petkovšek, B., Fifer, K. & Beguš, T. *Okolju prijazno podzemno pridobivanje naravnega kamna*. RMZ 46/2, str. 203-214 (1999).
4. Vesel, J. & Senegačnik, A. *Novi pristopi k okolju prijaznemu pridobivanju blokov naravnega kamna*. Zbornik posvetovanja »Okolju prijaznejše pridobivanje in predelava nekovinskih mineralnih surovin«, Cetera, str. 59-66, Ljubljana (1995).
5. Vesel, J. & Senegačnik, A. *Vpliv geoloških dejavnikov na izbiro lokacije, izvedbena dela in rezultate*. 2. strokovno izobraževalni seminar »Lastnina, vrednotenje, varstvo pri delu«, Društvo tehničnih vodij-površinsko odkopavanje, str. 93-101, Hotavlje (1998).