

## GOSPODARSKO ZNAČENJE ANDEZITA FUŽINSKOG BENKOVCA (GORSKI KOTAR, HRVATSKA)

Dragomir JOVIČIĆ

INA-GEOLOŠKI KONZALTING, Savska c. 88a, 41000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** Andezit, Tehničko građevni kamen, Geološka građa, Kvaliteta, Eksploatacija kamena, Gospodarsko značenje ležišta.

**Key-words:** Andesite, Building crushed stone, Geology, Quality, Quarrying, Economic importance of deposit

Agregat andezita se, zahvaljujući povoljnim fizičko-mehaničkim svojstvima, afirmirao na tržištu, prvenstveno za izradu asfaltnih mješavina za habajuće slojeve na cestama bez obzira na intenzitet prometa i opterećenja. Gospodarsko značenje andezita Fužinskog Benkovca (Gorski kotar) izloženo je na temelju geoloških, genetskih, tehničko-eksploatacijskih, tehnoloških, regionalnih, tržišnih i društveno gospodarskih faktora. Posebno su obrađeni petografski sastav i tektonski sklop ležišta. Na temelju tih radova, zatim kvalitete, hidrogeoloških značajki te naturalnih i vrijednosnih pokazatelja ležište je gospodarski ocijenjeno kao perspektivno.

Andesite aggregate, due to its suitable physical-mechanical properties, is known on market primarily of asphalt mixtures production for wear covers of roads, regardless to traffic intensity and impedance. The economic importance of the andesite Fužinski Benkovac (Gorski kotar) is presented on the basis of the geological, genetic, technical-exploitable, technological, regional, marketing, and social-economic factors. Petrographic structure and tectonic fabric of the deposit have been separately elaborated. On the basis of these researches, quality, hydrogeological characteristics, natural and factors of evaluation, the deposit is economically evaluated as prosperous.

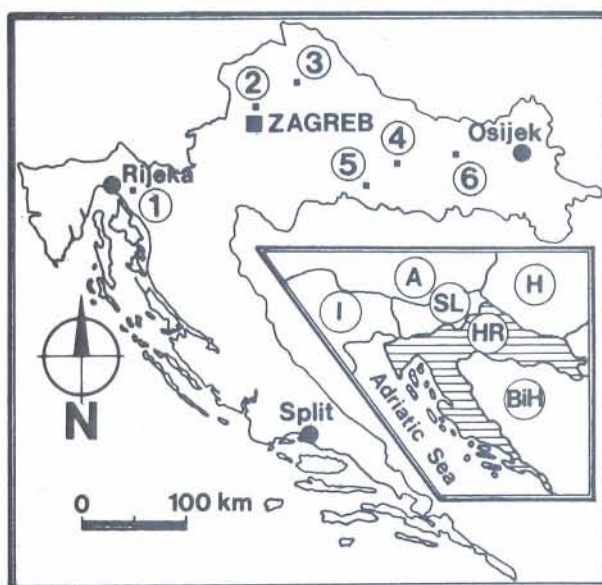
### Uvod

Eksploatacija andezita u ležištu Fužinski Benkovac kraj Fužina novijeg je datuma. Kamenolom se nalazi nedaleko od sela Benkovac pokraj Fužina (Gorski kotar) istočno od ceste Fužine—Zlobin (Crikvenica). Postojeći radni plato kamenoloma je na koti +802 m. Udaljenost od kamenoloma do većih potrošača regionalnim magistralnim ili auto-cestama iznosi: do Zagreba 154 km, do Karlovca 109 km, do Rijeke 41 km, do Trsta 110 km, do Buja (preko Buzeta) 134 km i do Ljubljane 162 km. Nova trasa poluauto-cesta Rijeka—Karlovac od kamenoloma je udaljena približno 2 km. Neposredna blizina željezničke pruge Zagreb—Rijeka također omogućava prijevoz frakcija kamenih agregata željeznicom. Do željezničke stanice Fužine moguće je izgraditi 600-tinjak metara industrijskog kolosjeka. Blizina luke za rasuti teret u Bakru omogućava brodski prijevoz frakcija kamenih agregata za gradnju autoceste na jugu Hrvatske i izvoz u Italiju. Tijekom 1991/92. godine 20.000 tona frakcija kamenog agregata prevezeno je na talijansko tržište u istovarnu luku Porto Nogaro. Pri tomu su se istaknule tehničke mogućnosti lučkog bazena Bakar i ekonomska cijena usluga i prijevoza tereta brodom.

Značenje kamenoloma Fužinski Benkovac sadržano je u »Strategiji razvoja Hrvatske« u dijelu koji se odnosi na izgradnju cestovne infrastrukture i u održavanju postojeće cestovne mreže.

U odnosu na planiranu izgradnju auto-cesta: Karlovac—Rijeka, Karlovac—Plitvice, Rijeka—Trst, Rijeka—Novi Vinodolski, Pula—Buje, Plitvice—Zadar, Plitvice—Split, Zadar—Šibenik—Split, kamenolom ima s obzirom na položaj i raznovrsnost korištenja transporta nesumnjivu prednost u odnosu na ostale poznate kamenolome

stijena silikatnog sastava u Hrvatskoj (sl. 1). Valja napomenuti da drugih ležišta eruptiva u Istri, Primorju, Lici i Dalmaciji nema. Izgradnjom novih postrojenja, tržno valoriziranom prednosti lokacije i kvalitetom sirovine uz ekonomičnost transporta do nabrojanih cesta koje će se graditi, kamenolom će dobiti zaslužno mjesto u našem gospodarstvu.



Sl. 1. Zemljopisni položaj kamenoloma

Fig. 1. Geographical site of the quarries

1. Fužinski Benkovac
2. Jelenje vode (Kraljev Vrh—Medvednica)
3. Hruškovec (Ljubešćica)
4. Vetovo (Požega)
5. Rašaška (Okučani)
6. Žervanjska (Orahovica)

S obzirom na značenje andezita kao nemetalne mineralne sirovine i njegove upotrebe istraživanju ležišta posvećivalo se premalo pažnje. Detaljnijim geološkim istraživanjima koja su obuhvatila izradu elaborata o sirovinskoj bazi, studiju seizmičkih efekata miniranja, izradu glavnog rudarskog projekta eksploatacije i studiju utjecaja kamenoloma na okoliš prišlo se 1990/91. godine kada je kamenolom preuzelo »Rijekacesta« d.d. iz Rijeke. (Jovičić i dr., 1992; Božić i dr., 1992; Mišić i dr., 1992; Golubić i Matić-Petrović, 1992; Vujašković, 1992).

Za gospodarsko značenje ležišta uz geološke, genetske, tehničko-eksploatacijske, tehnološke, regionalne, tržišne i društveno gospodarske faktore bitni čimbenici su hidrogeološke i inženjersko-geološke značajke koje s naturalnim i vrijednosnim pokazateljima daju kompletniju gospodarsko vrijednosnu ocjenu ležišta.

### Geološka građa

Kamenolom »Fužinski Benkovac« nalazi se u eruptivnoj stijeni određenoj kao izmijenjeni hornblenda andezit (Vragović i Golub, 1969). Andezit oblika »dajka« okružen je klastičnim i karbonatnim sedimentima paleozojske i trijaskke starosti. Eruptivno se tijelo generalno pruža SZ—JI. Direktni kontakt andezita s okolnim stijenama rijetko se uočava osim na jugozapadnom dijelu kamenoloma (sl. 2). Tu je andezit u kontaktu s klastičnim naslagama paleozoika (Šušnjar, et al. 1973).

Danas je andezit poput »dajka« ukliješten između paleozojskih klastita i trijaskih dolomita. Taj današnji njegov položaj uvjetovan je naknadnom tektonikom. Shvatimo li regionalno da je srodni eruptiv kod Senja ladiničke starosti (Lugović i Majer, 1983), tada je ovaj andezit stariji od trijaskih dolomita. Znači da na temelju današnjeg položaja: paleozoik (klastiti) — andezit — trijas (dolomiti) ne možemo pisati o obliku geološkog pojavljivanja andezita, jer taj je oblik rezultat tektonike. Možda je izvorno, u ladniku, to bila prava efuzija, a ne samo subvulkansko utiskivanje.

U istraživanom području nalaze se klastični sedimenti paleozoika, karbonatni sedimenti jure i trijasa, klastični sedimenti kvartara i andezit.

#### *Klastični sedimenti paleozoika*

Klastični sedimenti paleozoika zastupljeni su konglomeratima, pješčenjacima, siltitima i šejlovima. Okružuju andezit osim u južnom dijelu ležišta.

Konglomerate rjeđe nalazimo kao primarne izdanke, većinom su to odvaljeni veliki pločasti blokovi. Boje su sivosmeđaste i sivkaste, nepravilnog loma, a plohe preloma su im neravne. Dominantni sastojak je kvarc, a od čestica stijena sadrže kvarcit, eruptive i škriljavce. Manje su zastupljeni feldspati, muskovit, limonit i minerali glina. Struktura im je klastična psefitska. Vezivo tipa matriksa sastoji se od sitnozrnog kvarca, lističavog sericita, nešto minerala glina i opâkih mine-

rala. Određeni su kao sitnozrni polimiktni kvarc-litični konglomerati.

Pješčenjaci u paleozojskim naslagama dominiraju. Izgrađuju cjelokupno područje sjeveroistočno od potoka Benkovac. Odlikuju se dobrom sortiranošću zrna. Često su laminirane tekture. Boja im varira od tamnosmeđaste do zagasito smeđe. Lome se pločasto a plohe preloma su nepravilne. Najobilniji sastojci su: kvarc, plagioklasi i čestice stijena. Manje su zastupljeni kalijski feldspati, tinjci, kalcit, opâki mineral, limonit i minerali glina. Kvarca ima približno 40%. Strukture su klastične psamitske. Zrna su uglavnom do poluzaobljena. Određeni su kao sitnozrnate subbrauvake nastale u turbiditnoj sredini s jakim utjecajem kopna.

Siltiti i šejlovi nalaze se zajedno s pješčenjacima ali su slabije zastupljeni. Boja im je tamnosiva do crna. Lome se u tanke pločice debljina od 1 mm do nekoliko centimetara. Struktura im je klastična siltitska do pelitska.

#### *Karbonatni sedimenti gornjeg trijasa*

Gornjo trijaskke naslage ( $T_3$ ) rasprostiru se duž jugozapadnog dijela andezita, a dijelom su u neposrednom kontaktu s klastičnim stijenama paleozoika. Zastupljene su dolomitima i kalcitičnim dolomitima. Odlikuju se slabo izraženom slojevitošću. Boja im je siva do žućkastosiva. Poligonalnog su loma, a plohe preloma su sitno neravne. Često su ispresjecani žilicama ispunjenim kalcitom. Ispresjecani su brojnim prslinama. Dominantni sastojak je dolomit, a kalcita ima malo. Sadrže po koje opâko zrno. Struktura im je kristalasta. Određene su kao sitnokristalasti i krupnokristalasti dolomit, te dolomitični intraspariti.

#### *Karbonatni sedimenti jure*

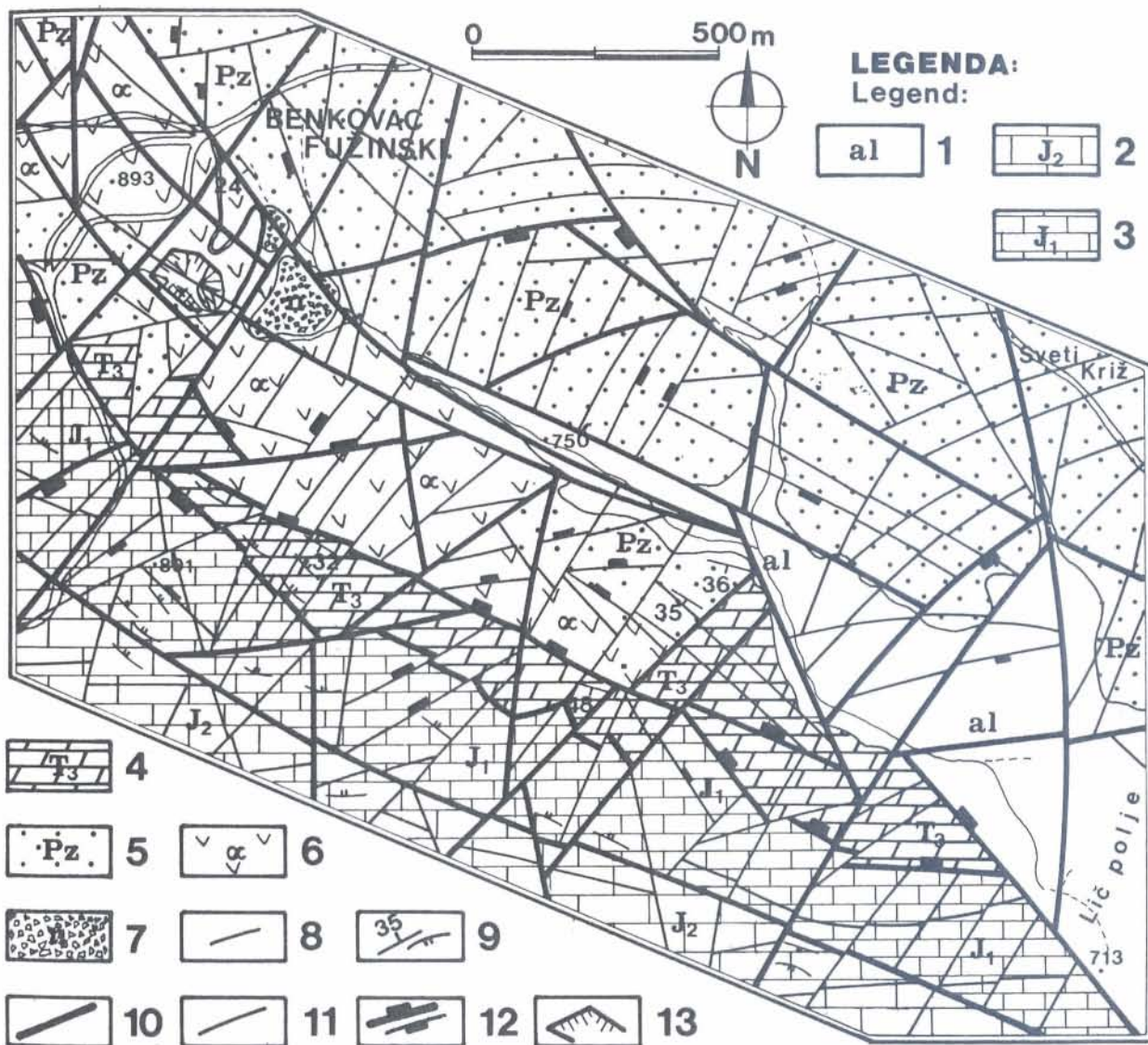
Sedimenti jure zastupljeni su naslagama lijasa ( $J_1$ ) i dogera ( $J_2$ ).

Naslage lijaskke starosti nalaze se jugozapadno od potoka Benkovac. U njima prevladavaju vapnenci s lećama dolomita. Vapnenci su sivi, tamnosivi ili crni. Sadrže 94—98%  $CaCO_3$ . Kriptokristalaste, mikrokristalaste, pseudoolitične i klastične su mikrostrukture. Pripadnost srednjem ljasu utvrđena je brojnim nalazima školjke *Lithiotis problematica*. Uslojene su i izmjenjuju se s tanje uslojenim vapnencima školjkastog loma, u kojima sadržaj  $CaCO_3$  opada do 88%.

Dogerske naslage nalazimo u jugozapadnom i južnom dijelu istraživanog prostora. Zastupljene su pretežno dobro i debelo uslojenim smeđastosivim vapnencima. U donjim dijelovima vapnenci su pseudoolitične i kriptokristalaste strukture sa 99%  $CaCO_3$ . Slijede tamnosivi vapnenci s ulošcima krupnokristalastog dolomita. U gornjem dijelu su tamnosivi brečasti, bankoviti vapnenci i vapnenačke breče.

#### *Kvartar*

Potočne doline ispunjene su polimiktnim šljunkom većeg ili manjeg stupnja zaobljenosti, pijeskom i glinom. Debljina i rasprostranjenost ovih naslaga je neznatna.

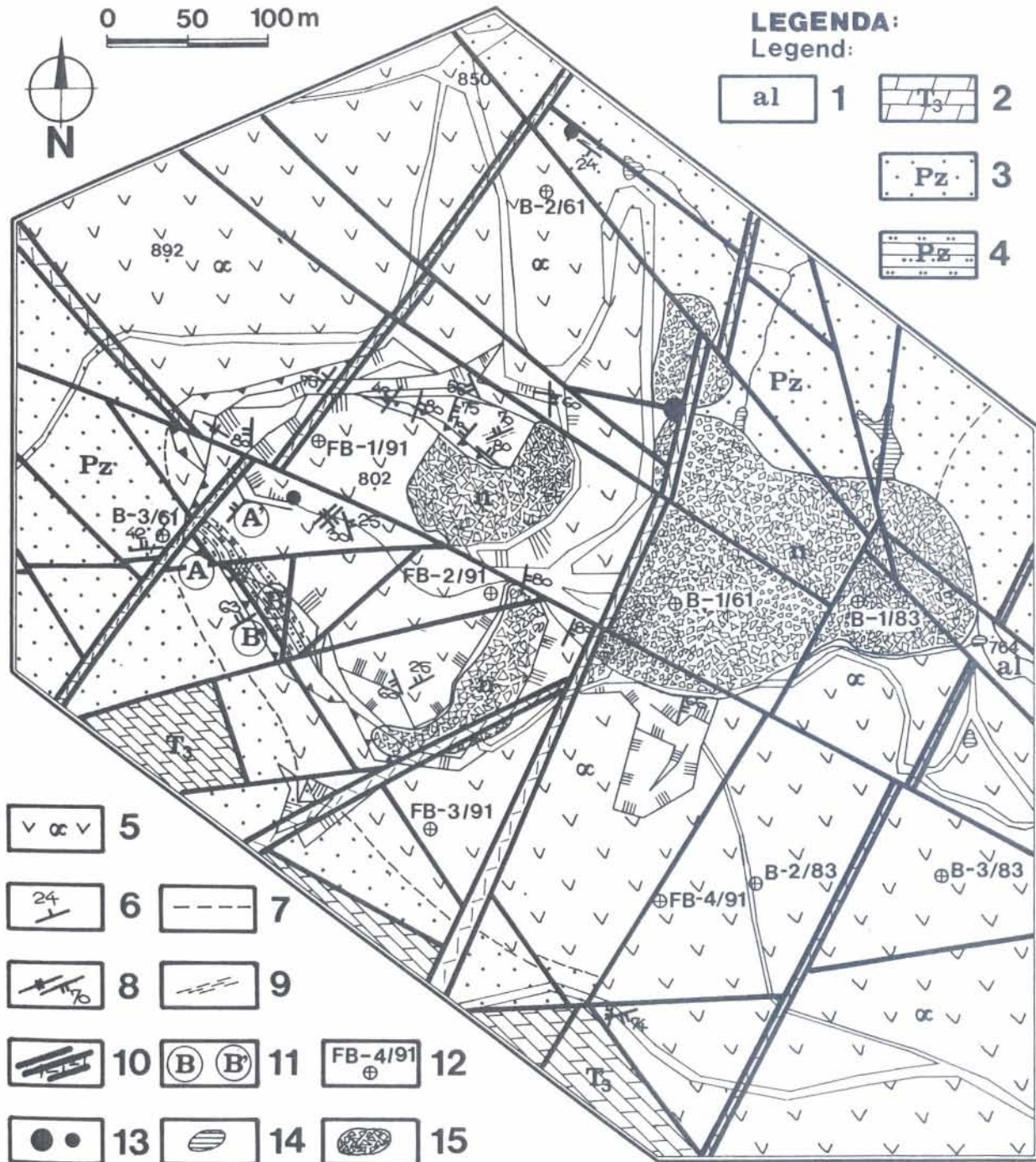


Sl. 2. Geološka karta šireg područja ležišta Fužinski Benkovac

1. kvartar
2. karbonatni sedimenti srednje jure-doger
3. karbonatni sedimenti donje jure-lijas
4. karbonatni sedimenti gornjeg trijasa
5. klastični sedimenti paleozoika
6. andezit
7. deponij jalovine
8. litološka i geološka granica
9. slojevitost i fotogeološki utvrđena trasa slojevitosti
10. rasjedi koji odvajaju veće blokove
11. rasjedi koji su poremetili odnose u blokovima
12. rasjedi s oznakom relativno spuštenog bloka
13. kamenolom

Fig. 2. Geological map of the wider area of the Fužinski Benkovac deposit.

1. Quaternary
2. carbonate sediments of the Middle Jurassic—Dogger
3. carbonate sediments of the Lower Jurassic-Liassic
4. carbonate sediments of the Upper Triassic
5. clastite sediments of the Paleozoic
6. andesite
7. waste pile
8. lithological and geological boundary
9. bedding and photogeologically defined bedding trace
10. faults which separate the blocks of greater size
11. faults which disturbed the relations in the blocks
12. faults with the subsided block mark
13. quarry



Sl. 3. Geološka karta ležišta

1. kvartar
2. gornji trijas
3. paleozoik (konglomerat, pješčenjak)
4. paleozoik (silititi, šejlovi)
5. andezit
6. slojevitost
7. pokrivena litološka granica
8. pukotina većih dimenzija s oznakom nagiba
9. sistemi paralelnih pukotina
10. rasjedne zone
11. detaljni profili (sl. 4)
12. strukturne bušotine
13. izvori
14. voda stajačica
15. deponij jalovine

Fig. 3. Geological map of the deposit

1. Quaternary
2. Upper Triassic
3. Paleozoic (conglomerate, sandstone)
4. Paleozoic (siltstones, shales)
5. andesite
6. bedding
7. covered lithological boundary
8. fractures of larger dimensions with inclination mark
9. systems of parallel fractures
10. fault zones
11. detailed profiles (Fig. 4)
12. structural boreholes
13. springs
14. stagnant water
15. waste pile

Deluvijalne naslage nastale su prikupljanjem atmosferilijama pretaloženih produkata površinskog trošenja stijena. Sastoje se od nesortiranih oštrobridnih ili slabo zaobljenih čestica stijena pomiješanih s ilovačom.

#### Andezit

Eruptivno tijelo u kojem se nalazi kamenolom proteže se SZ—JI (sl. 3).

Prvi petografski opis eruptiva Gornjeg Benkovca potječe od Rozloznika koji je stijenu analizirao na molbu Kormosa i Vogla (1912). Rozloznik je stijenu odredio kao dioritporfirit, s andezinom ili andezin-oligoklasom i amfibolom u osnovi koja se sastoji od produkata izmjena, prvenstveno klorita. U geološkoj karti »Sušak—Delnice« Koch (1933) je eruptiv označio kao dijabazni porfirit, naglasivši da je kamen vrlo rastrošen. Dijabazni porfirit spominje i Jovanović (1957), a Poljak (1951) stijenu naziva albitski andezit.

Eruptiv su detaljno obradili Vragović i Golub (1969) i nazvali ga hornblenda andezit (porfirit). Pod takvim nazivom nalazimo ga označenog i na Osnovnoj geološkoj karti — list Crikvenica (Šušnjar et al., 1973).

Prema Vragoviću i Golubu (1969) struktura stijene je tipična andezitska s fenokristalima plagioklasa i amfibola u mikroholokristalnoj osnovi albita i klorita. Fenokristali plagioklasa pripadaju andezinu do labradoru. Produkti njihove izmjene jesu albit, klorit, sericit, epidot, coisit te ponekad kalcit i aktinolit. Hornblenda je izrazito pleokroitska, često zonalne građe. Nejednoliko intenzivno je resorbirana, opacitizirana i izmijenjena u agregat klorita, kalcita, titanita, epidota i coisita. Akcesorni su piroksen iz reda diopsid-augita, kvarc, apatit, cirkon, ilmenit i pirit te kalijski feldspat nastao kao produkt metasomatoze.

Glavni sastojak osnove je albit koji redovito uklapa listiće klorita i sericita te zrnca coisita. Zbog maloga udjela rendgenografskom metodom nije se mogao jednoznačno utvrditi mineral glina, pa autori ističu da je to najvjerojatnije mineral iz grupe kaolinita.

Autori opisuju i nekoliko tipova anklava škrljave teksture koje odgovaraju amfibolitu, metamorfoziranom kalcijem bogatijem škrljavcu.

Zanimljivi su navodi autora u Zaključku od kojih posebno izdvajamo:

— efuzija je bila subvulkanska, a magma je sadržavala povećanu količinu vode,

— temeljni hidrotermalni procesi jesu albitizacija i kloritizacija, a prisutnost albita ukazuje na više temperaturni facijes propilitizacije.

— eruptiv bi se mogao nazvati *propilitizirani hornblenda andezit* (porfirit).

Istraživanjima eruptiva za utvrđivanje njegove povoljnosti kao tehničkog kamena silikatnog sastava u nekoliko je navrata posvećivana posebna pažnja. Tako je prilikom istraživačkog bušenja Crnković (1983, usmeno priopćenje) analizirao nabušene jezgre triju bušotina (ukupno 12 uzoraka). Od analiziranih, osam uzoraka determinirano je kao alterirani andezit, dva kao slabo alterirani, a dva kao zdrobljeni i alterirani andezit. Uz pret-

hodno nabrojane sastojke andezita autor još spominje sfen i prehnit.

Spomenimo još, da je u Nalazu o kvaliteti kamena iz deponije jalovine (Građevinski institut, Zagreb, Kam 52/91) kamen determiniran kao *propilitizirani andezit*.

Našim istraživanjima analizirano je 55 uzoraka uzetih na površini i 43 uzoraka iz istraživačkih bušotina. Od površinskih uzoraka:

— 25 uzoraka determinirano je kao alterirani andezit,

— 25 uzoraka pripada klastičnim stijenama od silita do konglomerata,

— 2 uzorka determinirana su kao dolomit,

— 3 uzorka uzeta su iz zone tektonske breče.

Od uzoraka iz istraživačkih bušotina:

— 41 uzorak determiniran je kao alterirani andezit,

— 2 uzorka pripadaju klastičnim sedimentima.

Svi analizirani uzorci andezita su značajki koje su detaljno opisali Vragović i Golub (1969). Ovdje ćemo posebno opisati samo one zapažene pojave koje su dosada slabije naglašene, ili nisu objavljene.

Intenzivna alteracija osim izmjene fenokristala i osnove rjeđe je ispoljena i prožimanjem andezita žilicama. Sastav žilica je ovaj:

— kvarc + epidot

— kvarc + epidot + kalcit

— kvarc + klorit

Mjestimice su zapažena jača obogaćenja uprskanim piritom.

U pet analiziranih uzoraka alteriranog andezita nađene su anklave. Osim anklava različitih varijeteta amfibolita koje su opisali Vragović i Golub (1969) mikroskopski su utvrđene i anklave:

— **amfibolit** izrazite nematoblastične strukture sa sublineacijom hornblende i sastavom: hornblenda, kvarc, plagioklas, coisit, epidot, klorit i opaki minerali;

— **granat**, zrna redovito raspucana;

— **kvarc**, zrno raspucano i pukotine ispunjene alteriranim vulkanskim staklom;

— **kvarcit**, izrazite granoblastične strukture;

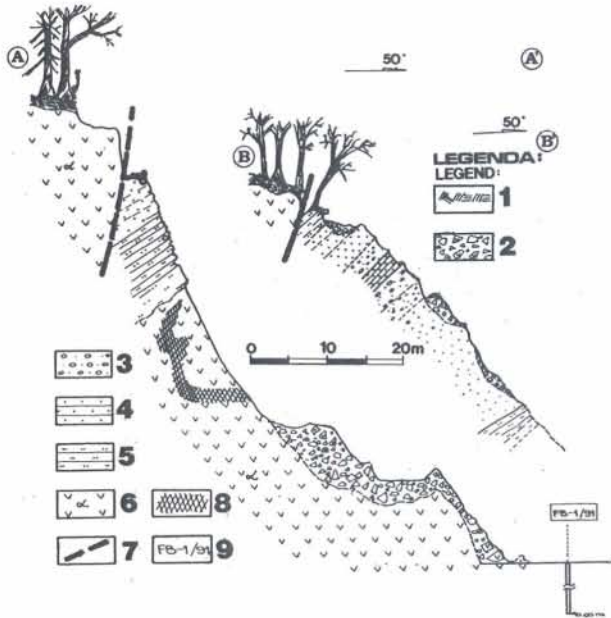
— **metasubgrauvaka**, matriks u cjelosti niskometamorfoziran, sadrži (po količinskom udjelu): prehnit, klorit, epidot, plagioklas, kvarc i kalcit;

— **filit**, izrazite škrljave teksture i lepidoblastične strukture.

U tri uzorka analizirani su kontakti andezita s okolnim klastičnim stijenama psamitske strukture (sl. 4). Duž kontakta u subgrauvakama nisko metamorfoziran je jedino matriks, tako da je pješčenjak duž kontakta izmijenjen u metapješčenjak. Od niskometamorfnih minerala redovito nalazimo prehnit, klorit i epidot. Mjestimice su jače izražene silicifikacija i karbonatizacija. U okolnim klastičnim sedimentima od silita do pšefita paleozojske starosti nisu nađene čestice andezita. Međutim, te bi sedimente trebalo posebno istražiti i utvrditi porijeklo u njima zapaženih sastojaka kojih je dio sadržan kao anklave u andezitu kao što su: granat, kvarcit i filit, ali i čestice koje su pori-

jeklom iz granitoidnih stijena kao što su: sitnozrnasti granit (kvarc + feldspati) i mikroklin te metamorfiti kao primjerice tinčasti škriljavac.

Prema Vragoviću i Golubu (1965) struktura andezita ukazuje da je efuzija bila subvulkanska. Magma je sadržavala povećanu količinu vode. Nakon konsolidacije magme andezit je zahvaćen djelovanjem hidrotermi. Duž pukotina kroz koje su hidroterme prodirale andezit je jače izmijenjen uz tvorbu sekundarnih minerala albita, klorita, kalcita, epidota, coisita i dr.



Sl. 4. Detaljni profili  
1. humus  
2. sipar  
3. sitnozrni konglomerat  
4. pješčenjak  
5. siltiti i šejlovi  
6. andezit  
7. rasjedi  
8. zdrobljena zona  
9. strukturalna bušotina

Fig. 4. Detailed profiles  
1. humus  
2. talus  
3. fine-grained conglomerate  
4. sandstone  
5. siltstones and shales  
6. andesite  
7. faults  
8. crushed zones  
9. structural boreholes

Glavni hidrotermalni procesi su **albitizacija** i **kloritizacija** primarnih minerala i prekrystalizacija osnove. Albit nalazimo u fenokristalima plagioklasa. Kalij za tvorbu kalijskog feldspata i sericita dijelom je donasan hidrotermama. Epidot, coisit i kalcit nastali su hidrotermalnim izmjenama primarnih minerala. Procesima trošenja nastali su limonit i minerali glina.

Asocijacija minerala nastalih hidrotermalnom izmjenom karakteristična je za facijes zelenih škriljavaca, pa se ta izmjena može poistovjetiti s procesom propitilizacije. Takvi uvjeti su vjerovatno pridonijeli da se u stijeni sačuva hornblenda, dok

su pirokseni, naročito oni u osnovi, pretežno izmijenjeni u klorit.

Danas je *andezit poput »dajka« uklješten* između paleozojskih klastita i trijaskih dolomita. Taj današnji njegov *položaj uvjetovan* je naknadnom *tektonikom*.

Prema literaturnim podacima starost andezita nije jednoznačno određena.

Koch (1933) u tumaču geološke karte »Sušak—Delnice« piše, da je »Dijabazna magma izbila na površinu na pukotini, koja ide smjerom od sjeverozapada k jugoistoku između Karbona i dolomita Gornjeg Trijasa. Verfenske naslage su tu na malenom prostoru otkrivene, su prilikom erupcije metamorfozom silicizirane, dok je dolomit nepromijenjen, pa se je prema tome (kao i u Velebitu) erupcija dijabaza dogodila krajem srednjeg Trijasa«.

Vragović i Golub (1969) svojim istraživanjem nisu našli nikakve nove pojave koje bi unijele više svjetla u rješavanju pitanja starosti erupcije tj. starosti eruptiva, pa vrijeme erupcije ipak ostaje problematično. Međutim, ne slažu se s mišljenjem Kocha (1933), »da se je erupcija magme izvršila uz postojeći rasjed između dolomita i paleozojskih naslaga«.

U tumaču OGK — list Crikvenica autori (Šušnjar i dr. 1973) su suglasni s mišljenjem Kocha (1933), »iako sami odlučno ne daju odgovor na pitanje« koje je starosti eruptiv.

Pamić (1982) u radu »Trijaski magnetizam Dinarida« spominje andezite i keratofire kod Fužina u Gorskom kotaru kao trijasko. Općenito za andezite Dinarida navodi da oni ne pokazuju neke veće razlike u mineralnom sastavu i strukturalno-tektonskim karakteristikama. Keratofiri se pojavljuju s andezitima, a makroskopski su si dosta slični. Kemijski sastav keratofira Vratnika (Senj) i andezita (Fužine) dosta je sličan.

O eruptivima Senjske drage (Vratnika) kod Senja pišu mnogi autori. Tako Mamužić i dr. (1969) daju odnos magmatskog tijela prema okolnim stijenama iz čega određuju predgornjotrijasku starost vulkanske aktivnosti. Prema Lugoviću i Majeru (1983) eruptiv Senjske drage je predgornjotrijasko, točnije ladiničko starosti. Eruptiv ima alohton položaj, ali tokom izdizanja u sadašnji položaj nije pretrpio veći prostorni pomak. Uspoređujući odlike andezita iz Fužina (Gorski kotar) s andezitima Senjske drage uočavaju njihovu podudarnost te zaključuju da postoji očita genetska povezanost i porijeklo.

#### Tektonika

Razmatrano područje pripada tektonskoj jedinici Gorski kotar (Šušnjar i dr. 1973). Ta tektonska jedinica u reversnom je odnosu prema strukturama na jugozapadu Viševci—Krivi Put i Bakar—Novi Vinodolski i prema njima je izdignuta. Najizraženiji rasjedni kontakt je između paleozojskih i trijaskih stijena kod Fužinskog Benkovca. Pružanje rasjeda je dinarsko (sjeverozapad—jugoistok). Višestruka tektonska aktivnost uzrokovala je urušavanje centralnog dijela antiforme u kojem su se potom taložile mezozojske karbonatne stijene.

ne. Na taj način u rubnim dijelovima zaostaju blokovi s karakteristikama antiklinale Lokvarsko jezero i Brloško.

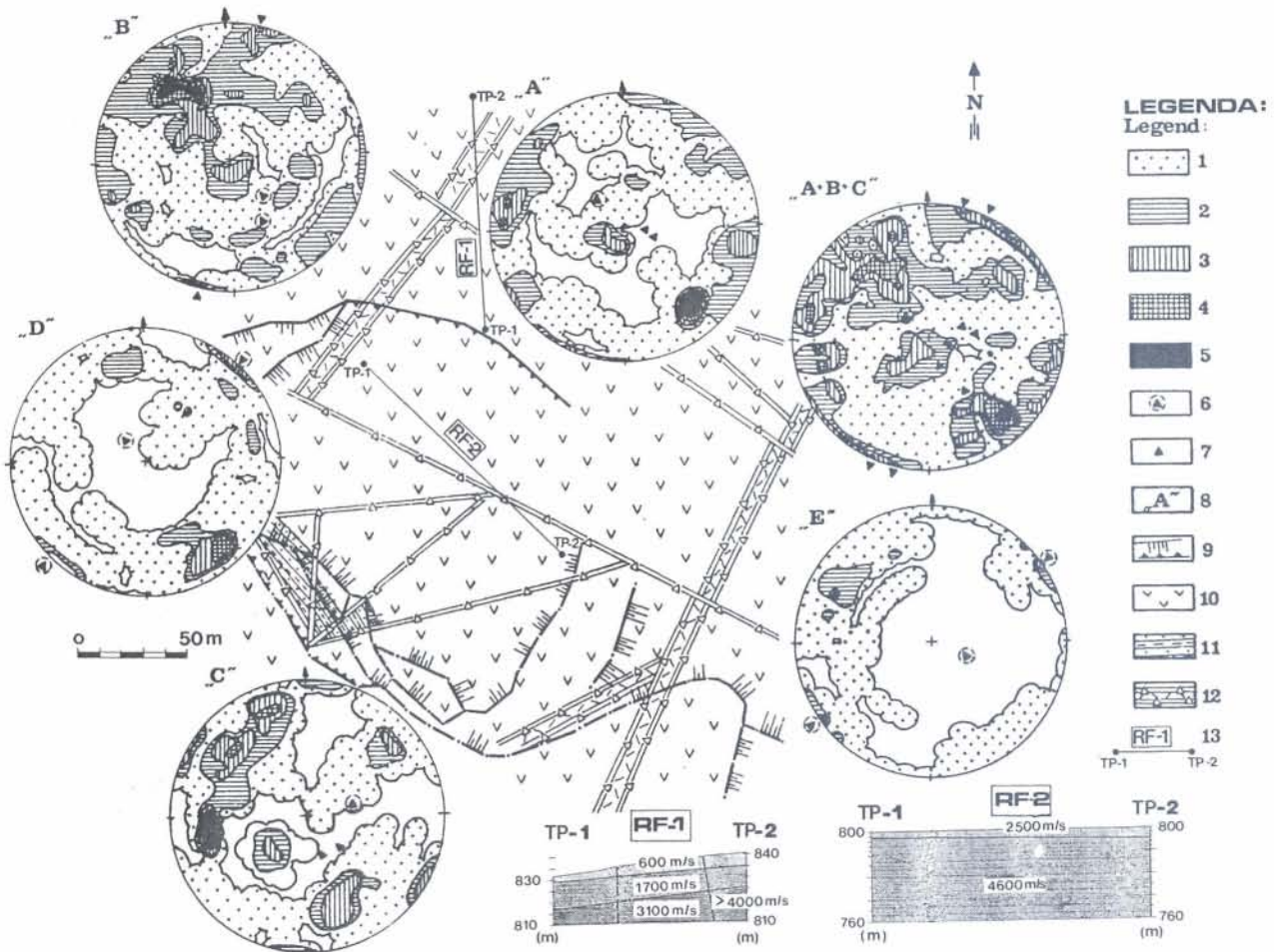
Tektonska aktivnost ogleda se u intenzivnoj razlomljenosti, postojanju brojnih tektonsko zdrobljenih zona, zatim većim ili manjim pukotinama različitog nastanka, protezanja, širine i vrste ispune.

Na geološkoj karti (sl. 5) i na blok-dijagramu ležišta (sl. 6) tektonske i rasjedne zone posebno su izdvojene. Različitog su intenziteta i pružanja, a uz eruptiv sadržavaju zdrobljene klastične sedimente. Duž tih zona s jakim tektonskim oštećenjima površinsko kemijsko trošenje eruptiva napredovalo je do znatne dubine. Time je povećana debljina krovinske jalovine u ležištu.

Rasjedi i rasjedne zone markirani su zdrobljenim, kataklaziranim i milonitiziranim andezitom te harnišima sa strijama. Strije na harništima su horizontalne, kose i vertikalne. To ukazuje na različita pomicanja blokova unutar stijenske mase.

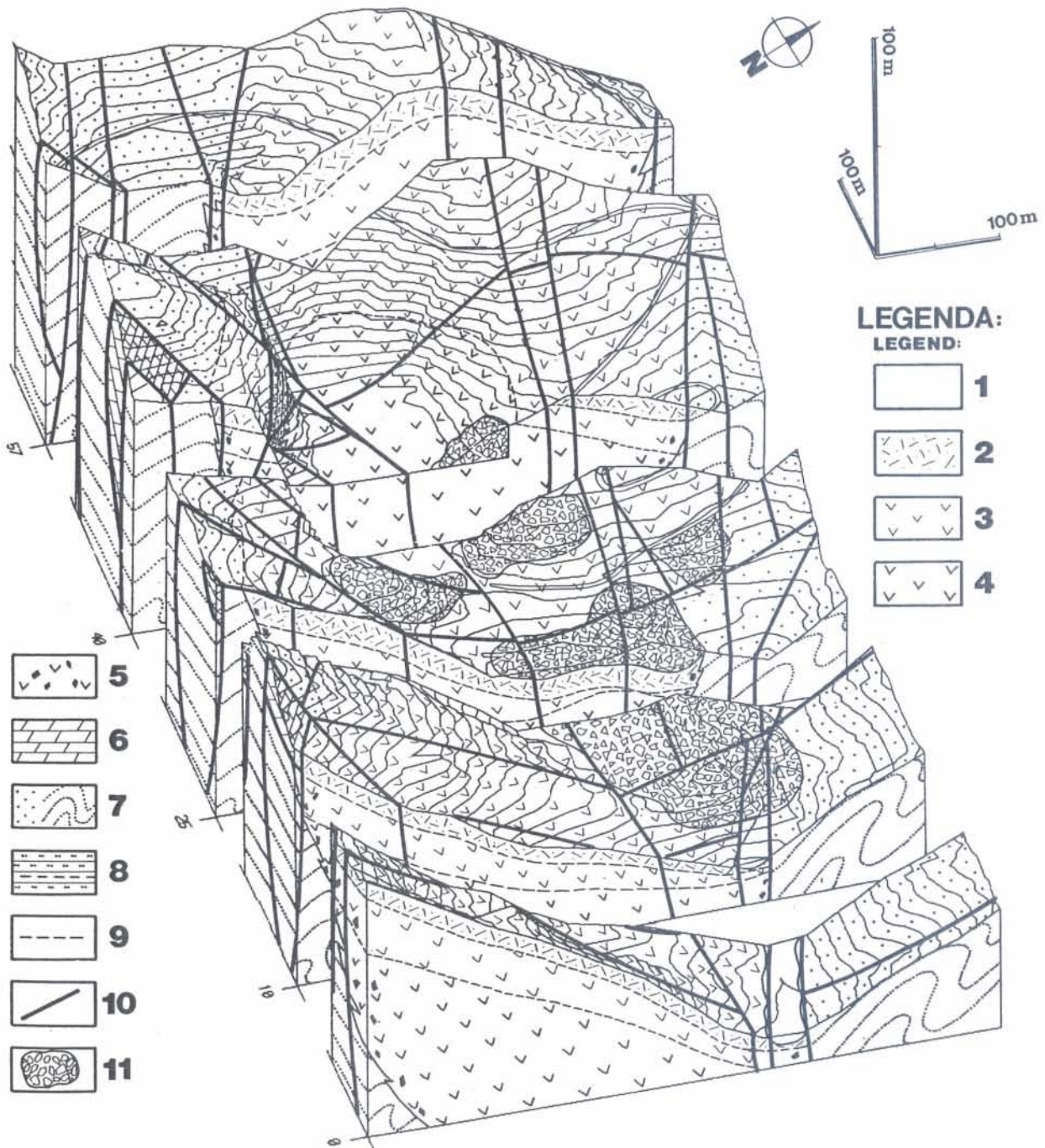
Tektonski zdrobljene zone i rasjedi razbijaju stijensku masu andezita u blokove. U njima izmjereni su brojni tektonski diskontinuiteti koji su statički obrađeni te prikazani konturnim dijagramima polova njihovih normala (sl. 5). Urađeni su sumarni konturni dijagrami blokova (»A«, »B« i »C«), dijagrami klastičnih naslaga paleozoika (»D«), unutar područja (»C«) i tektonski zdrobljene i rasjedne zone (»E«).

Svi se tektonski diskontinuiteti i zdrobljene zone generalno pružaju SI—JZ s upadom prema SZ



Sl. 5. Tektonski sklop ležišta  
A, B, C, D konturni dijagrami polova normala pukotina i E konturni dijagram polova normala zdrobljenih zona

Fig. 5. Tectonic fabric of the deposit  
A, B, C, D contour diagrams of normal fracture poles and E contour diagram of crushed zones normal poles



Sl. 6. Blok — dijagram ležišta  
 1. šljunak, pijesak i gline  
 2. površinska jalovina (humus i jače alterirani andezit)  
 3. alterirani andezit  
 4. slabije alterirani andezit  
 5. anklave  
 6. dolomit  
 7. pješčenjaci  
 8. siliti i šejlovi  
 9. pokrivena litološka granica  
 10. rasjedi  
 11. deponij jalovine

Fig. 6. Block — diagram of deposit  
 1. pebble, sand and clays  
 2. surface waste (humus and stronger altered andesite)  
 3. altered andesite  
 4. weakly altered andesite  
 5. enclaves  
 6. dolomite  
 7. sandstones  
 8. siltstones and shales  
 9. covered lithological boundary  
 10. faults  
 11. waste pile



i JI. Od toga odudaraju u području »C« pukotine pružanja SSZ—JJI. Tektonsko zdrobljene zone pretežno su subvertikalne do vertikalne. Širina im varira od 2 do 10 m. Uglavnom su ispunjene razdrobljenim izmijenjenim andezitom. Pojedini dijelovi zdrobljeni su u andezitsku prašinu. Dominantne pukotine ispresjecane su mnogim slabije izraženim pukotinama i prslinama različitog protezanja. Mogu se pratiti 20-ak i više metara po dužini te u dubinu stijenske mase. Duž dominantnih i jače izraženih pukotina registrirana su i gorska zrcala ili harniši. Najčešće su kompresivnog, a veoma rijetko tenzionog tipa. Ispunjene su smrvljenim andezitom i cementirane kalcitom. Stijenke pukotina redovno su prevučene koricama limonita i hematita te klorita i epidota. Gustoća pukotina u stijenskoj masi nije ujednačena. Sistemi paralelnih pukotina dosta su česti sa od 2 do 15 pukotina na 1 m.

Sustavi opisanih diskontinuiteta prirodno odvajaju stijensku masu u blokove, različitih dimenzija i oblika. Najčešći izdvojeni oblici su izdvojeni ili približno paralelopipedni pravokutnici te plosnati romboedri. Tektonski zdrobljene zone, pukotine i pukotinski sistemi, uz alteraciju stijenske mase, dirigiraju tehnologiju eksploatacije i način miniranja.

#### Hidrogeološke značajke

Prema hidrogeološkoj funkciji u istraživanom području nalazi se nekoliko tipova stijena (sl. 7). Procjena hidrogeoloških značajki data je na temelju litološkog sastava, tektonske oštećenosti, položnosti stijenske mase korozivnim i erozivnim procesima i izdašnosti izvora. Stijene su razvrstane u 4 grupe.

**Dobro vodopropusne karbonatne stijene** ( $J_1$ ,  $J_2$ ), su vapnenci s lećama dolomita jurske starosti. Odlikuju se bogatstvom krških fenomena bez stalnih površinskih tokova i izvora. Visok postotak oborinskog taloga infiltrira se u podzemlje, gdje vode cirkuliraju kroz sisteme pukotina i šupljina različitih dimenzija.

**Slabo vodopropusnim stijenama** pripadaju dolomiti trijasko sarosti ( $T_3$ ) ili stijene s povećanim učešćem dolomita u stijenskom kompleksu. Za tu grupu stijena karakteristična je slabo efektivna sekundarna poroznost zbog toga što su pukotine i prsline ispunjene dolomitičnim pijeskom i prahom, a poneke i glinom. Površina obiluje hidrografskom mrežom i izvorima slabije izdašnosti povremenog ili stalnog karaktera.

**Pretežno vodonepropusne stijene** su klastične naslage paleozoika (Pz) i andezit ( $\alpha$ ). Kod klastičnih naslaga česte su vertikalne i bočne izmjene šejlova, siltita, pješčenjaka i konglomerata što utječe na promjenjivost hidrogeoloških svojstava. U litološkom stupu obično prevladavaju nepropusne naslage, pa litološki kompleks u regionalnom smislu predstavlja relativno nepropusnu sredinu. Ista svojstva ima i andezit koji je vodonepropustan. Klastične naslage paleozoika i andezita u hidrogeološkom smislu predstavljaju barijeru.

**Stijene promjenjive vodopropusnosti** sastoje se od glina, pijesaka, šljunaka i siparišnih nanosa.

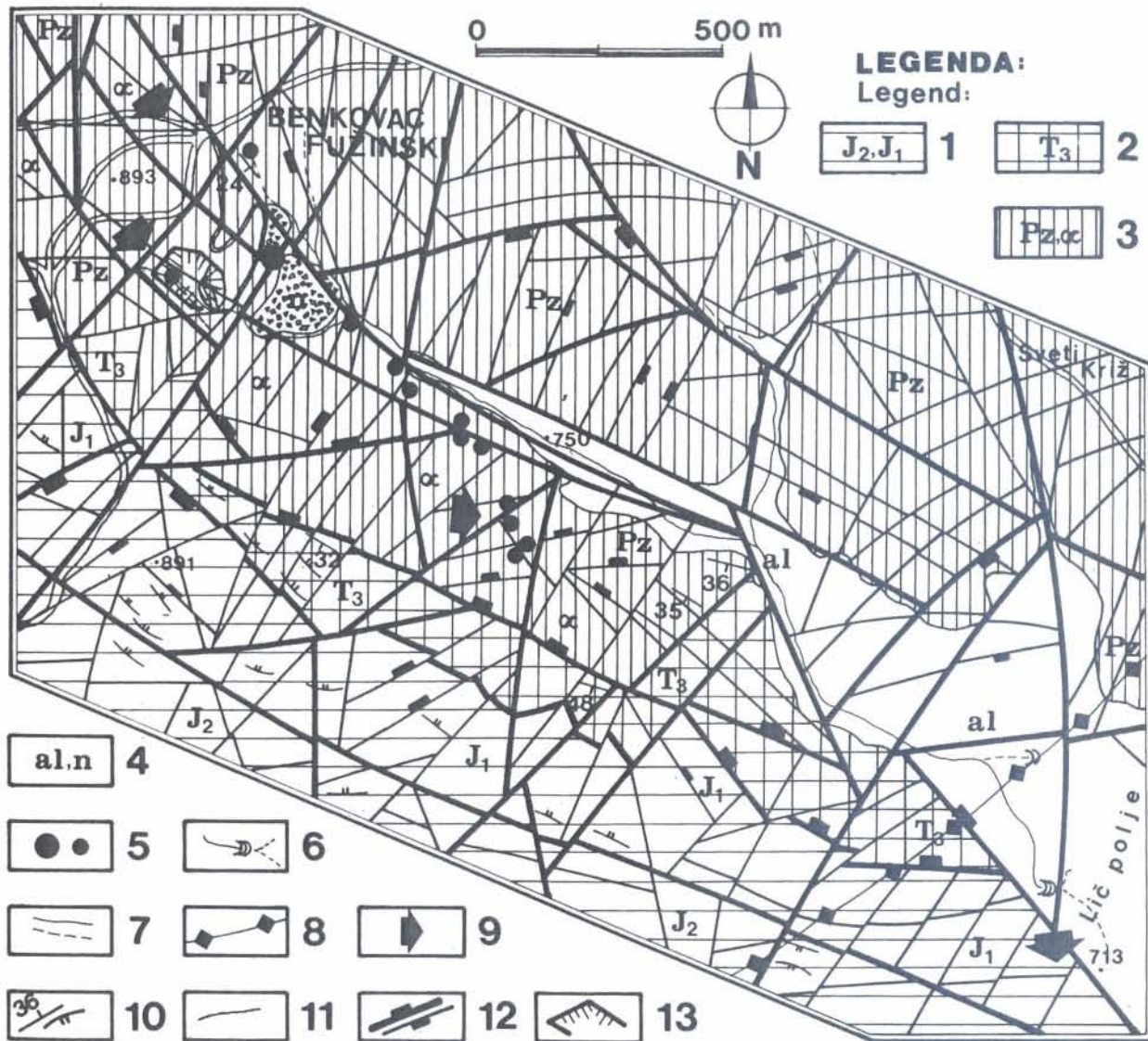
Kvartarne su starosti. Male su debljine, međuzrnske poroznosti, a propusnost se mijenja u horizontalnom i vertikalnom smislu zavisno o granulometrijskom sastavu klastičnog kompleksa. Ispunjavaju depresije u Lič polju i u dolinama potoka. U tu grupu pripada i deponij jalovine.

U hidrogeološkom pogledu u istraživanom području formirana su dva vodna sustava različitih značajki. Prvi sustav u čijem se rubnom dijelu nalazi kamenolom odlikuje se bogatstvom površinskih tokova. U drugom prevladava podzemna cirkulacija duž različitih razina koje se obično povezuju prije erozione baze, tvoreći krška vrela velike izdašnosti.

Prema hidrogeološkoj rajonizaciji Hrvatskog primorja i pripadajućeg dijela Gorskog kotara (Biondić i Goatti, 1979 i 1980) i korigiranom rajonizacijom manjeg obima izrađenom za »Vodoprivrednu osnovu Gorskog kotara Hrvatskog primorja« (Bauer i Udiljak, 1987) kamenolom Fužinski Benkovac nalazi se u krajnjem sjeveroistočnom dijelu sliva izvorišta pitke vode u Bakarskom zaljevu gdje pripada III. zoni sanitarne zaštite.

Kamenolom je u cjelini otvoren u stijenama koje su pretežno nepropusne. Takve stijene odlikuju se pukotinskom poroznošću. Propusne su samo plitko pod površinom terena (10—15 m), a u dubini su praktički nepropusne. To su vodonosnici ograničenog prostranstva i slabe izdašnosti. Izvori su u pravilu na kontaktu alteriranih andezita i naslaga paleozojske starosti koji u ovom slučaju imaju funkciju barijere. Na postojećoj fronti kamenoloma ima nekoliko manjih izvora i zona vlaženja nastalih nakon zasijecanja stijenske mase. Njihova ukupna izdašnost je približno 0.3 l/sek. Voda tih izvora skuplja se u zajednički površinski vodotok potoka Benkovac. Potok teče kontaktom paleozojskih naslaga i andezita. U donjem toku teče glinovito-pješčano-šljunkovitim naslagama promjenjive vodopropusnosti. U krajnjem donjem toku kvartarne su naslage u direktnom kontaktu s dobro vodopropusnim vapnencima s lećama dolomita i slabo propusnim dolomitima. Zbog toga potok Benkovac teče do Lič polja gdje ponire.

Kamenolom se nalazi u zoni s velikom količinom oborina koje će većim dijelom odmah otjecati. Manji će se dio infiltrirati u pripovršinski rastrošeni dio stijenske mase. Voda u pripovršinskom dijelu također će sporo otjecati uz pojavu malih izvora. Postupnim napredovanjem radova u dubinu do kote 760 m ukupno dotjecanje na radne površine, kako površinsko tako i podzemno, povećat će se. Uslijed blizine rasjednog kontakta andezita i paleozojskih naslaga pojačani dotok treba očekivati s istočne i sjeveroistočne strane radilišta. Sa zapadne i jugozapadne strane ne treba očekivati provalu vode. Tu će zbog blizine rasjednog kontakta s karbonatnim naslagama voda ponirati. Najefikasniji način odvodnje vode iz kamenoloma je kosina radilišta u smjeru prirodnog tečenja potoka Benkovac. Pritoke potoka Benkovac na sjeveroistočnoj strani radilišta treba zacijeviti i kanalizirati da se osigura efikasna odvodnja.



Sl. 7. Hidrogeološka karta

1. dobro vodopropusne karbonatne stijene (donja i srednja jura)
2. slabo vodopropusne karbonatne stijene (gornji trijas)
3. pretežno nepropusne stijene (paleozoik i andezit)
4. stijene promjenjive vodopropusnosti (kvartar i deponij jalovine)
5. izvori
6. zona poniranja vode
7. površinski stalni i povremeni tokovi
8. razvodnica slivova
9. pretpostavljeni smjer kretanja podzemne vode
10. slojevitost i fotogeološki utvrđena trasa slojevitosti
11. litološka ili geološka granica
12. rasjedi
13. kamenolom

Fig. 7. Hydrogeologic map

1. carbonate rocks with the good permeability (Lower and Middle Jurassic)
2. carbonate rocks with the poor permeability (Upper Triassic)
3. most unpermeability rocks (Paleozoic and andesite)
4. changeable permeability rocks (Quaternary and waste pile)
5. springs
6. water sinking zone
7. steady and unsteady surface flow
8. the watershed of catchment area
9. possible flow direction of underground water
10. bedding and photogeologically defined bedding trace
11. lithological or geological boundary
12. faults
13. quarry

Na temelju izloženoga može se zaključiti da podzemna voda neće bitno utjecati na eksploataciju kamena, a također ni eksploatacija kamena na režim podzemne vode.

### Inženjerskogeološke značajke

S inženjerskogeološkog stanovišta u području kamenoloma nema pojava koje bi otežavale eksploataciju kamena, kao što su klizišta, siparišta i slično. Istražnim radovima registrirane su dvije vrste stijenske mase različitih svojstava:

- stijenska masa povoljnih inženjerskogeoloških svojstava i
- stijenska masa slabijih inženjerskogeoloških svojstava.

Stijenska masa povoljnih inženjerskogeoloških svojstava su slabije alterirani andeziti i područja ležišta koja su očuvana od tektonske oštećenosti. Područja koja su izgrađena od površinske jalovine i jače alteriranog andezita, koji je još tektonski intenzivno oštećen i poremećen, svrstavaju se u stijensku masu slabijih inženjerskogeoloških značajki.

Varijete andezita te prirodni diskontinuiteti, pukotinski sistemi i tektonsko-zdrobljene ili rasjedne zone imaju utjecaja na stabilnost stijenske mase u kamenolomu, pogotovo kroz duži vremenski period. Zbog toga se prilikom eksploatacije pošlo od iskustva s drugih sličnih ležišta, pa je usvojen kut nagiba radne etaže čela u jače alteriranom andezitu  $75^\circ$ , a u slabije alteriranom andezitu  $90^\circ$ . Također usvojeno je da završni nagib etaže pri prestanku eksploatacije iznosi za jače alterirane andezite  $45^\circ$ , a manje alterirane andezite  $65^\circ$  sa širinom berme na etaži od 5 m.

Prilikom rada u kamenolomu razvijati će se dva tipa eksploatacije kamene mase i to: površinski kop brdskog tipa i površinski kop dubinskog tipa.

### Geofizička istraživanja

Geofizičkim istraživanjima trebalo je utvrditi debljinu površinske trošne zone i kompaktnije dijelove stijenske mase u dubini ležišta. U tu svrhu primijenjena je refrakcijska seizmička metoda. Mjerenja su izvedena pomoću portabilnog digitalnog seizmografa »ABEM TERRALOCK MARK 3« s dvanaest kanala. Impuls je izazvan jedanput udaranjem teškim čekićem (10 kg) po metalnoj ploči, a drugi put eksplozivnim punjenjem. Uzdužni valovi registrirani su pomoću vertikalnog geofona.

Izmjerena su dva profila ukupne dužine 240 m (sl. 5).

Na refrakcijskom profilu RF-1 duž padine uz prilazni put prema kamenolomu registrirana su 3 »sloja« blago nagnuta prema jugu:

- površinska jalovina  $v \sim 600$  m/s, debljine 3–6 m,
- dublji »sloj« intenzivno alterirani andezit  $v \sim 1700$  m/s debljine 9–12 m,
- dubinski dio slabije alteriranog andezita,  $v \sim 3.100$  m/s.

Iz dijagrama dromokrona može se zaključiti da seizmički profil približno na tridesetom metru dis-

pozitiva vjerojatno prelazi preko tektonske zone. Nakon sedamdesetog metra dispozitiva postoji očita anomalija brzina, što ukazuje na tektonsko zdrobljenu zonu. Brzine prostiranja longitudinalnih valova u desnom bloku stijenske mase veće su od 4.000 m/s.

Na refrakcijskom profilu RF-2 (sl. 5), na radnom platou (kota +802 m) između strukturnih bušotina FB1/91 i FB2/91, skoro u idealnim uvjetima, imamo praktički »školski primjer« »dvoslojne« stijenske mase. U krovinskom dijelu je alterirani andezit dubine 2–4 metra s brzinom  $v$  2400 m/s. Ispod njega nalazi se kompaktniji andezit s relativno velikom brzinom  $v$  4600 m/s, koja se s dubinom od realiziranog dispozitiva, ne mijenja. Postoji mogućnost da se na sredini dispozitiva nalazi tektonski zdrobljena zona.

Tektonske zone, trebalo bi registrirati s više seizmičkih profila, jer jedna refrakcijska sonda daje samo orijentacijske podatke.

### Kvaliteta kamena

Fizičko-mehanička svojstva andezita određivana su u Institutu građevinarstva Hrvatske u Zagrebu. Ispitivane su jezgre iz istraživačkih bušotina, uzorci iz odlagališta jalovine i frakcionirani kamenerni agregati. Rezultati ispitivanja i pregled ranijih rezultata ispitivanja prikazani su u tablici 1.

Alterirani andezit kao sirovina za proizvodnju agregata zadovoljava uvjete:

- za proizvodnju mješavine zrnja za izradu nosivih slojeva na cestama svih prometnih opterećenja,
- za proizvodnju frakcija za izradu bitumeniziranih nosivih slojeva na cestama svih prometnih opterećenja, i
- za proizvodnju agregata za beton.

Dobiveni rezultati ispitivanja uzoraka iz depozita jalovine, zadovoljavaju uvjete:

- za izradu donjih nosivih slojeva (tampona) na cestama svih prometnih opterećenja.

Frakcionirani kamenerni agregati iz separacije kamenoloma ispituju se stalno prema propisima.

### Eksploatacija kamena

Kamenolom i drobilnišno separacijsko postrojenje kroz 25 godina proizveli su približno 800.000 m<sup>3</sup> granulata različitih frakcija, što je u prosjeku 32.000 m<sup>3</sup>/godišnje. Osim prilikom građenja autocesta u Hrvatskoj i Sloveniji kada se proizvodilo do 70.000 m<sup>3</sup>/godišnje agregata, u ostalo vrijeme proizvodnja se može smatrati simboličnom. Tijekom 1990. godine »Rijekacesta« d.d. iz Rijeke u sklopu razvojne koncepcije integrira »Goranske rudnike nemetala« Lokve, a time i kamenolom Fužinski Benkovac.

Dosadašnjom eksploatacijom razvijao se površinski kop brdskog tipa uz formiranje visinskih etaža:

- I. na koti 802–804 metara visine 18–21 metar
- II. na koti 820–824 metara visine 18–25 metara
- III. na koti 843–847 metara visine 17–22 metra.

Tablica 1. Srednje vrijednosti rezultata ispitivanja uzoraka jezgara i raniji rezultati  
 Table 1. Average values of the laboratory test results of the samples of cores and earlier results

Ispitivanje Laboratory test	Srednja vrijednost Average value	Godina ispitivanja The year of investigation					
		1984	1986	1988	1989	1991	1991*
Čvrstoća na pritisak, MN/m <sup>2</sup> Compressive strength							
a) u suhom stanju Dry	183,8	212,5	167,5	177,0	239,5	193,6	184,1
b) u vodom zasićenom stanju Water saturated	124,3	138,5	135,0	132,0	164,5	144,4	122,8
c) poslije smrzavanja After freezing	127,1	155,0	102,0	113,0	145,2	118,7	100,7
Otpornost na habanje struganjem po BOHME-u, cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> Resistance to grinding (BOHME method)	10,4	10,4	13,7	—	9,7	10,7	13,23
Upijanje vode, mas. % Water absorption	0,60	0,67	0,72	0,72	0,59	0,82	1,02
Postojanost na mrazu Frost susceptibility	postojan persistent						
Prostorna masa, t/m <sup>3</sup> Bulk density	2,695	2,682	2,278	2,684	2,687	2,684	2,667
Gustoća, t/m <sup>3</sup> Density	2,762	2,740	2,748	2,730	2,751	2,725	2,722

\* Iz odlagališta jalovine kamenoloma »Fužinski Benkovac« uzorkovana su dva tipa kamena različita po boji (jedan maslinasto zelene, drugi smeđe zelene boje). S obzirom da između uzoraka nije bilo posebne razlike u fizičko-mehaničkim svojstvima data je zajednička srednja vrijednost.

Daljom eksploatacijom u kamenolomu će se razvijati *površinski kop dubinskog tipa* s ovim radnim etažama:

I. dubinska — na koti 780 metara, visine 20 metara

II. dubinska — na koti 760 metara, visine 20 metara.

I. dubinska etaža otvorit će se usijecanjem pristupnog puta s kote 800 metara na kotu 780 metara i usjeka na toj koti, kojim se otvara otkopna fronta I. dubinske etaže.

II. dubinska etaža otvorit će se usijecanjem formiranog platoa na koti 780 metara. Završetkom I. dubinske etaže kojom se formira radni plato na koti 780 metara pristupit će se izradi niskopa do kote 760 metara i izradi usjeka za otvaranje otkopne fronte II. dubinske etaže.

»Rijekacesta« d.d. Rijeka će u svom razvojnom planu investirati u modernizaciju eksploatacije

andezita i izgraditi novo drobilnišno-separacijsko postrojenje za proizvodnju frakcija kamenih agregata s pratećim objektima. Time se želi:

— modernizirati eksploataciju kamena s gledišta rudarsko-minerske znanosti i u pogledu opreme strojevima za iskop i transport,

— modernizirati tehnologiju prerade i klasiranja granulata,

— kvantitetom i kvalitetom zadovoljiti domaće i strano tržište,

— osigurati plasman proizvoda s konkurentnim cijenama,

— vlastitim proizvodima osigurati konkurentnost kod licitiranja radova osnovne djelatnosti i

— omogućiti dokapitalizaciju s domaćim i/ili sa stranim ulagačima.

Glavni elementi egzistencije kamenoloma jesu:

— potreba za visokokvalitetnom sirovinom na tuzemnom i inozemnom tržištu,

— nepostojanje drugih kamenoloma stijena sili-katnog sastava u neposrednoj blizini,

— posebno povoljan položaj kamenoloma u odnosu na transport i potrošače,

— korištenje separiranih agregata andezita najvećim dijelom za vlastite potrebe.

#### Sanacijski radovi na kopu

Eksploatacijom kamena promijenit će se morfologija užeg područja podno postojeće ceste Fužine—Zlobin. Dosadašnja 25 godišnja eksploatacija nekadašnji reljef promijenila je tek neznatno (sl. 8). Nekadašnja je dolina proširena čime je nastalo prostranije udubljenje koje znatno ne odudara od izvornog stanja okoliša.

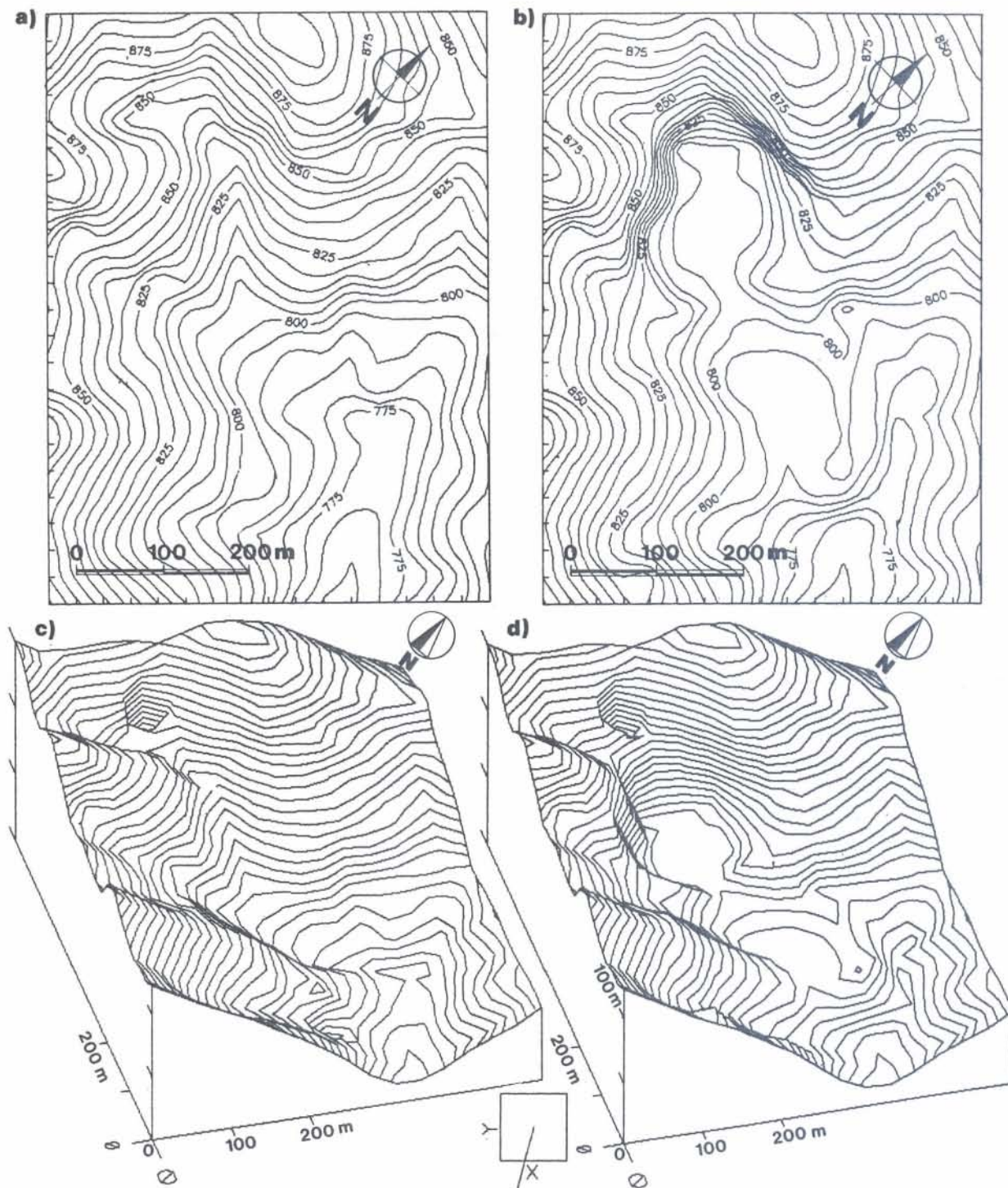
Tijekom eksploatacije i nakon njenog završetka devastirano zemljište će se sanirati. Područje obuhvaćeno eksploatacijom pokriveno je pretežno bukovom šumom. Biološka sanacija izvest će se ozelenjavanjem devastiranog terena. Završne kosine u stijenskoj masi, shodno geomehaničkim značajkama, izvesti će se pod nagibom 45° u jalovini i 60° u andezitu. Osnovni plato na koti 760 m imat će nagib od 0,5% prema jugoistoku. Etaže su visina po 20 m. Nagib svake etažne ravnine prema stijeni je 5%. Tehnička sanacija devastiranog terena izvoditi će se »odozgor prema dolje«. Ozelenjavanje terena slijedit će rudarske radove. Nakon formiranja pojedinih etaža uslijedit će biološka sanacija. Na kosinama kamenoloma antropogena tla raznih fizikalnih svojstava osvajati će otporne vrste bilja sposobne da se održe u najskromnijim uvjetima. Kosine se zbog skupog postupka neće humuzirati, već će se djelomično zatraviti hidrosjetvom. Takav postupak obuhvatit će svaki džep i svaku pukotinu u skeletu gdje ima sitnih čestica tla. Trava će se na tim mjestima održati i postupnim samozatravljanjem će pokriti ogoljenu stijensku masu.

Hidrosjetvom po cijeloj površini kosina spriječit će se površinska erozija. Između više vrsta trava najpovoljnija za takva tla je AGROPIRON REPENS — pirika.

Etaže će se pošumljavati bukvom i bagremom.

Prema Šiliću (1983) za pošumljavanje goleti posebno je povoljan bagrem — *ROBINIA PSEUDOACCACIA*. Ta je vrsta otporna na ekstremne klimatske uvjete kakvi vladaju u Gorskom kotaru. Razvija vrlo dugi korjenski sustav, a skromna je u pogledu ishrane. Smišljenim umetanjem javora

*ACER MONSPENS ULANUM*, jasena *FRAXINUS ORNUS*, hrasta *OVERCUS PUBESCENS* i graba *OSTRAYACARPINIFOLIA* uspješno će se pošumiti teren. Te vrste, iako se po zahtjevnosti razlikuju od bagrema, dovoljno su vi-



Sl. 8. Topografska karta i blok — dijagram ležišta  
 a) i c) — stanje 1961. godine  
 b) i d) — stanje 1991/92. godine

Fig. 8. Topographic map and block-diagram of the deposit  
 a) and c) situation in the year 1961  
 b) and d) situation in the year 1991/92

talne da se održe u skromnim uvjetima i da s podrastom i niskim raslinjem stvore jedan gusti vegetacijski sklop. Usporedo sa zatravljanjem kosina zatraviti će se i sve površine etaža.

Uz visoko drveće predlaže se sadnja grmlja i to crni trn PRUNUS SPINOS, glog CRATAEGUS MONOGINA, dren CORNUS SANOUINEA i ruj COTINUS COGGYRIA, vrste koje su skromne u pogledu ishrane i klime.

Za prizemno raslinje predviđeni su crnjuša ERICA CARNEA, likovac DAPHNE MESERUM i veprina RUSLUS ACUELATUS s puzavcima, bršljanom i divljim puzovim ružama.

Biljke za sadnju moraju biti besprijekorno zdrave. Sadnice stabala ne smiju biti starije od 6 godina, bagrema i grmlja 2—3 godine. Sadnja i održavanje saniranog terena obaviti će se po normativima vrtlarsko-šumarske struke.

### Zaključak

Eksploatacija andezita u ležištu Fužinski Benkovac kraj Fužina novijeg je datuma. Agregat andezita se, zahvaljujući povoljnim fizičko-mehaničkim svojstvima, afirmirao na tržištu, prvenstveno za izradu asfaltnih mješavina za habajuće slojeve na cestama bez obzira na intenzitet prometa i opterećenja.

Kamenolom »Fužinski Benkovac« nalazi se u eruptivnoj stijeni određenoj kao izmijenjeni hornblenda andezit (Vragović i Golub, 1969). Andezit oblika »dajka« okružen je klastičnim i karbonatnim sedimentnim stijenama. Eruptivno se tijelo pruža SZ—JI.

Andezit je izlomljen brojnim rasjedima i ispresijecan pukotinama. Veći dio stijenske mase andezita pokriven je humusom i obrašten visokom bukovom šumom. Humus i pripovršinski rastrošeni andezit su debljine od 5 do 10 metara, iznimno 15 metara. Ispod toga je alterirani eruptiv smeđaste do zelenosmeđaste boje debljine od 15 do 30 metara. U dubini nalazi se slabije alterirani andezit, kvalitetna sirovina za agregate za završne habajuće slojeve na auto-cestama.

Struktura, tekstura i mineralni sastav nabrojanih varijeteta andezita međusobno su slični. Andezit je ovisno o stupnju alteracije i rastrošenosti sivozelene, sivožutozelene do žutosmeđe te zagažitožutosmeđe boje. Homogene je teksture. Ispresijecan je brojnim pukotinama i prslinama, kao i žilicama ispunjenim kalcitom, kloritom, limonitom, hematitom i mineralima glina. Struktura mu je porfirna holokristalina s fenokristalima plagioklasa i amfibola u mikrokristalnoj osnovi albita i klorita. Količina fenokristala često varira vertikalno i lateralno. Produkti izmjenjene primarnih sastojaka jesu albit, klorit, sericit, epidot, coisit te ponekad kalcit i aktinolit.

U andezitu nađene su anklave: amfibolit, granat, kvarc, kvarcit, metasubgrauvaka i filit.

Tektonska aktivnost ogleda se u intenzivnoj razlomljenosti, postojanju brojnih tektonsko zdrobljenih zona, zatim većim ili manjim pukotinama različitog nastanka, protezanja, širine i vrste ispunje. Tektonsko zdrobljene zone ili rasjedi raz-

dvajaju ležište u pojedine blokove. Generalno pružanje pukotina je SI—JZ (područje »A« i »B«) i SSI—JJI (područje »C«). Pukotine pružanja SI—JZ su znatno jače i jasnije izražene. Najčešće su kompresivnog, a veoma rijetko tenzionog tipa. Ispunjene su smrvljenim andezitom cementiranim kalcitom. Gustoća je pukotina u stijenskoj masi neujednačena. Tektonsko zdrobljene zone, pukotine i pukotinski sistemi uz alteraciju stijenske mase dirigiraju tehnologiju eksploatacije i način miniranja.

S hidrogeološkog gledišta stijene su svrstane u 4 grupe: dobro vodopropusne karbonatne stijene, slabo vodopropusne stijene, pretežno vodonepropusne i stijene promjenjive vodopropusnosti. U istraživanom području formirana su dva vodna sustava različitih značajki. Prvi u čijem se rubnom dijelu nalazi kamenolom odlikuje se bogatstvom površinskih tokova. U drugom prevladava podzemna cirkulacija duž različitih razina koje se obično povezuju prije erozije baze, tvoreći krška vrela velike izdašnosti.

Prema hidrogeološkoj rajonizaciji Hrvatskog primorja i pripadajućeg dijela Gorskog kotara područje pripada III. zoni sanitarne zaštite.

Na temelju izloženih hidrogeoloških značajki razmatranog područja podzemna voda neće bitno utjecati na eksploataciju kamena kao ni eksploatacija kamena na režim podzemne vode.

Na temelju fizičko-mehaničkih svojstava alterirani andezit kao sirovina za proizvodnju agregata zadovoljava uvjete:

- za proizvodnju mješavine zrnja za izradu nosivih slojeva na cestama svih prometnih opterećenja,

- za proizvodnju frakcija za izradu bituminiziranih nosivih slojeva na cestama svih prometnih opterećenja, i

- za proizvodnju agregata za beton.

Uzorcima iz deponije jalovine zadovoljavaju samo uvjete za izradu donjih nosivih slojeva (tampona) na cestama svih prometnih opterećenja.

Novim drobilišno-separacijskim postrojenjem za proizvodnju frakcija kamenih agregata će se:

- modernizirati eksploatacija kamena kako s gledišta rudarsko-minerske znanosti, tako i u pogledu opreme teškim strojevima za iskop i transport,

- modernizirati tehnologiju prerade i klasiranja granulata,

- kvantitetom i kvalitetom zadovoljiti tržište,

- osigurati plasman proizvoda na tuzemno i inozemno tržište,

- vlastitim proizvodima osigurati konkurentnost kod licitiranja radova osnovne djelatnosti i

- omogućiti dokapitalizaciju s domaćim i/ili sa stranim ulagačima.

Tijekom eksploatacije i nakon njenog završetka tehnološki i biološki sanirat će se devastirano zemljište i time vizuelno ublažiti eksploatacijom narušeni izgled krajolika.

Za gospodarsko značenje ležišta uz geološke, genetske, tehničko-eksploatacijske, tehnološke, regionalne, tržišne i društveno gospodarske faktore bitni čimbenici su hidrogeološke značajke šireg

okoliša i inženjerskogeološke značajke stijenske mase ležišta. Vrijednosni pokazatelji daju kompletnu gospodarsko vrijednosnu ocjenu ležišta i njegovu perspektivnost.

### Zahvale

Autor se zahvaljuje prof. B. Crnkoviću na korisnim savjetima prilikom oblikovanja ovog rada. Zahvaljujem se i »RIJEKACESTI« d.d. iz Rijeke na dozvoli za publiciranje ovog članka, a posebno kolegi B. Vujaškoviću na poticaju za izradu ovog rada. Zahvaljujem se i kolegama Mr. E. Oreški, S. Golubić, B. Svetina i I. Opić na pomoći prilikom terenske i grafičke obrade ovog rada.

Primljeno: 27. I. 1994.

Prihvaćeno: 9. VI. 1994.

### LITERATURA

#### Objavljeno

- Koch, F. (1993): Tumač geološkim kartama »Sušak—Delnice« i »Ogulin—Stari trg« (s kartom). Izdanje geološkog Instituta Kraljevine Jugoslavije, Beograd.
- Kormos, T. und Vogl, V. (1912): Das mesozosische Gebiet in der Umgebung von Fužine. *Jahresbericht der K. U. Geologischen Reichsanstalt für 1911*. Budapest.
- Lugović, B. i Majer, V. (1983): Eruptivi Senjske drage (Vratnika) kod Senja (SR Hrvatska). *Geol. vjesnik*, 36, 157—181, Zagreb.
- Pamić, J. (1982): Trijaski magmatizam Dinarida. Jugoslavenski komitet svjetskih kongresa za naftu, časopis »Nafta« Zagreb.
- Šilić, Č. (1983): Atlas drveća i grmlja. Sarajevo—Beograd.
- Šušnjar, M., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, I., Milan A., Šikić, D., Grimani, I., Vulić, Z. i Blašković, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, list Crikvenica s tumačem. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Vragović, M. i Golub Lj. (1969): Hornblenda andezit (portirit) Gornjeg Benkovca kod Fužina (Gorski kotar). *Acta Geologica* 36, 55—66, Zagreb.
- Bauer M, i Udiljak, S. (1987): Vodoprivredna osnova Gorski kotar — Hrvatsko primorje. Hidrogeološke i inženjerskogeološke podloge, knjiga 3. Fond stručnih dokumenata INA — Geološki konzalting, Zagreb.
- Neobjavljeno*
- Biondić, B. i Goatti, V. (1979): Zaštitne zone izvorišta na području općine Rijeka, Hidrogeološki radovi I. faza istraživanja. Fond stručnih dokumenata ROV Rijeka.
- Biondić, B. i Goatti, V. (1980): Hidrogeološka istraživanja izvorišta u Bakarskom zaljevu. Fond stručnih dokumenata ROV Rijeka.
- Božić, B., Baturić, I. i Strelec, S. (1992): Geofizička ispitivanja na kamenolomu Fužinski Benkovac. Fond stručnih dokumenata. »Rijekacesta« d.d., Rijeka.
- Golubić, S. i Matić-Petrović, Ž. (1992): Studija utjecaja na okolinu (kamenolom »Fužinski Benkovac«). Fond stručnih dokumenata. INA — Geološki konzalting, Zagreb.
- Jovanović, D. (1957): Nalazišta dijabaznog porfirita u području Fužina. Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- Jovičić, D., Oreški, E., Golubić, S., Hanich, M. i Grévigner, S. (1992): Elaborat obnova rezervi tehničko građevnog kamena andezita ležišta »Fužinski Benkovac« (Gorski kotar). Fond stručnih dokumenata. INA — Geološki konzalting, Zagreb.
- Mamužić, P., Milan, A., Korolija, B., Borović, I. i Majcen, Ž. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, list Rab s tumačem. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mišić, M., Božić, B., Jovičić, D. i Grevinger, S. (1992): Glavni rudarski projekt eksploatacije u kamenolomu andezita »Fužinski Benkovac«. Fond stručnih dokumenata. INA — Geološki konzalting, Zagreb.
- Poljak, J. (1951): Geološko mišljenje o mogućnosti akumulacije vode u dolini Benkovac potoka i u dolini oko krškog vrela Potkos (s geološkom kartom). Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- Vujašković, B. (1992): Predinvesticijska studija razvoja proizvodnje andezitnog tehničkog kamena u ležištu Fužinski Benkovac — Gorski kotar (Tržno-komercijalni i tehnološko-tehnički separat). Fond stručnih dokumenata »Rijekacesta« d.d., Rijeka.

## Economic Importance of Andesite of Fužinski Benkovac (Gorski kotar, Croatia)

*D. Jovičić*

The exploitation of andesite in the deposit of Fužinski Benkovac (near Fužine) belongs to recent times. Andesite aggregate, due to its suitable physical-mechanical properties has been known on market primarily of asphalt mixture production for wear covers of roads, regardless to traffic intensity and impedance.

The quarry Fužinski Benkovac is situated in the eruptive rock defined as the changed hornblende andesite (Vragović and Golub, 1969). Andesite of the shape »dyke« is surrounded by sedimentary, clastic and carbonate rocks. The eruptive body strikes NW—SE.

Andesite is cracked by numerous fractures and intersected by natural fracture discontinuities. The greater part of andesite rock mass is covered by humus and huge forest. Humus and subsoil andesite are of 5—10 m thickness, rarely 15 m. Then follows the stronger altered eruptive of brownish to green-brownish colour between 15—30 m of thickness. After that in depth, to lesser degree altered andesite is placed, used as raw material for production of aggregates for the road final wear covers.

Structure, texture and mineral composition of all andesite varieties are much of the same. Andesite is of graygreen, grey-yellowgreen to yellowbrown, darkyellowbrown and greenbrown colour depending on the level of alteration and weathering. It is of the homogenous structure, intersected with numerous fractures and fissures, as well as streaks filled with calcite, chlorite, limonite and clay mineral. The texture is made of porphyry holocrystal with phenocrystals plagioclase and amphibole placed in the microcrystal basis of albite and chlorite. The amount of phenocrystal varies vertically and laterally.

After Vragović and Golub (1969) products of the exchange of primary components are: albite, chlorite, sericite, epidote, zoisite and sometimes calcite and actinolite.

In the andesite the following enclaves are found: amphibolite, granate, quartz, quartzite, metasubgraywacke and phyllite.

Tectonic activity is evident through the intense crushing, existence of the numerous crushed zones and greater or smaller fractures of different origin, striking, width, and type of filling.

Tectonic crushed zones and faults separate rock mass into particular blocks. The orientation of the forementioned zones is NE—SW. General striking of fractures is NE—SW (the area »A« and »B«) and NNE—SSE (the area »C«). The fractures of NE—SW striking are much stronger and clearly marked. They are most often of compressive and rarely of tensious type, filled with the grained andesite and cement calcite. Density of fractures of the rock mass is not homogenous, and varies from place to place. Tectonic crushed zones, fractures, and fracture systems, as well as alteration of rock mass, have an important role to the technology of exploitation as well as the way of mining.

From the hydrogeological point of view rocks can be divided into 4 groups: carbonate rocks with good permeability, carbonate rocks with poor permeability, mostly unpermeability rocks, and changeable permeability rocks. In the area of exploration two water systems of different characteristics have been formed. The first one, characterised with the richness of flows, is with the quarry in its outskirts. The second one is the predominant underground circulation along the various levels, which are usually connected before erosive basis, forming karst springs of great capacity.

According to hydrogeological regional division of Hrvatsko primorje and the belonging part of Gorski kotar, the area belongs to region III of sanitary protection.

On the basis of the presented hydrogeological characteristics of the considered region underground water wouldn't influence stone exploitation significantly as well as stone exploitation according to underground water regime.

On the basis of physical-mechanical properties altered andesite as raw material used for production of aggregates meets the conditions:

- for grained mixtures production used for carrying layers on roads of all kinds of impedance,
- for production of fractions used for bituminous carrying layers on roads of all kinds of impedance, and
- for production of aggregates for concrete.

Samples from waste depot satisfy only conditions for production of lower carrying layers (tampons) on roads of all kinds of traffic impedance.

With new plants for crushing and screening used for production of stone aggregates fractions:

- stone exploitation will be modernized from the point of view of mining and blasting, but also in the context of equipment with heavy machinery for exploitation and transport,
- technology of processing and classification of granulates will be modernized,
- with quantity and quality meet the demands of market,
- to assure marketing of products on home and foreign market,
- with its own products assure the competition in auctions of results its basic activity, and
- subsidies for home and foreign investors will be granted.

During exploitation and after its completion, the devastated area will be technologically and biologically revitalized, and visually alleviate the devastated environment.

For economic evaluation of the deposit, apart from geological, genetic, technical-exploitable, technological, regional, marketing and social-economic factors, hydrogeological characteristics of wider environment and engineering-geological characteristics of rock mass, are of great importance. These factors give the complete economic evaluation of deposit and its prosperity.