

# Određivanje značajki diskontinuiteta u masivnim vapnencima ležišta arhitektonsko-građevnog kamena

---

**Pelivan, Klara**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:315537>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-05**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**ODREĐIVANJE ZNAČAJKI DISKONTINUITETA U MASIVNIM  
VAPNENCIMA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA**

Diplomski rad

Klara Pelivan

GI-373

Zagreb, 2021.

*Veliku i iskrenu zahvalnost dugujem svojem mentoru izv. prof. dr. sc. Petru Hrženjaku na mentorstvu, povjerenju, mnogobrojnim savjetima i strpljivosti tijekom izrade diplomskog rada. Nadam se da ću znati primijeniti bar malo mudrosti koju ste mi nesebično poklonili.*

*Također se želim zahvaliti doc.dr.sc. Ani Maričić i doc. dr.sc. Martinu Krkaču koji su svojim stručnim sugestijama također pomogli prilikom izrade ovog rada.*

*Iskreno se zahvaljujem tvrtki Kamen Pazin d.o.o. na pomoći i ugodnom boravku tijekom terenskih istraživanja.*

*Najveće zahvale dugujem mojim roditeljima i obitelji na bezuvjetnoj podršci tijekom studiranja.*

*I iznad svega, hvala dragom Bogu.*

**ODREĐIVANJE ZNAČAJKI DISKONTINUITETA U MASIVNIM VAPNENCIMA  
LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA**

KLARA PELIVAN

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom diplomskom radu određivane su značajke diskontinuiteta u masivnim i okršenim vapnencima. Terenska mjerenja i obrada podataka obavljena su na eksploatacijskom polju Kanfanar-jug izgrađenom od slojevitih vapnenaca kredne i paleogenske starosti. Kvantitativnim opisom diskontinuiteta opisane su značajke diskontinuiteta prema preporučenim metodama Međunarodnog društva za mehaniku stijena. Obradom podataka posebno su prikazani podatci o orijentacijama i hrapavosti karakterističnih diskontinuiteta. Prilikom obrade podataka o hrapavosti diskontinuiteta izložena je problematika određivanja ove veličine, koja je procijenjena pomoću više različitih metoda. Na kraju je dana dopuna najčešće korištenoj metodi određivanja koeficijenta hrapavosti pomoću tipičnih profila hrapavosti.

Ključne riječi: okršeni vapnenci, kvantitativni opis diskontinuiteta, orijentacija, koeficijent hrapavosti

Diplomski rad sadrži: 57 stranica, 20 slika, 23 tablice, 13 priloga i 18 referenca.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: dr. sc. Petar Hrženjak, izvanredni profesor

Ocjenjivači: dr. sc. Petar Hrženjak, izvanredni profesor  
dr. sc. Martin Krkač, docent  
dr. sc. Ana Maričić, docentica

Datum obrane: 12. veljače 2021.

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology  
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

**DETERMINATION OF DISCONTINUITY CHARACTERISTICS IN MASSIVE  
LIMESTONES OF DIMENSION STONE DEPOSIT**

KLARA PELIVAN

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining and Geotechnical Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This thesis presents discontinuities features, their determination, processing and the summary of the results in the massive, karstified carbonate rocks. Field measurements and data processing are performed on the exploitation field Kanfanar-jug, in Cretaceous and Paleogene stratified mudstones. Discontinuities in rock masses are described in accordance with the methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses suggested by the International Society for Rock Mechanics. This thesis primarily relates to the determination of roughness coefficient and the orientation of a characteristic discontinuities in karst. During the processing of a discontinuity roughness data, the problem of determining roughness coefficient was presented and estimated using several different methods. An addition to the most commonly used method for determining roughness coefficient using typical roughness profiles is given at the end of the thesis.

Keywords: karstified limestones, quantitative description of discontinuities, orientation, roughness coefficient

Thesis contains: 57 pages, 20 figures, 23 tables, 13 appendices and 18 references

Original in: Croatian

Archived at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor Petar Hrženjak, PhD

Reviewers: Associate Professor Petar Hrženjak, PhD  
Assistant Professor Martin Krkač, PhD  
Assistant Professor Ana Maričić, PhD

Date of defense: February 12, 2021

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DISKONTINUITETI U STIJENSKIM MASAMA.....	3
2.1. Vrste diskontinuiteta .....	4
2.1.1. Pukotine .....	5
2.2. Svojstva i opis diskontinuiteta .....	8
2.2.1. Orijentacija diskontinuiteta.....	9
2.2.2. Razmak diskontinuiteta .....	10
2.2.3. Postojanost diskontinuiteta .....	11
2.2.4. Hrapavost diskontinuiteta .....	12
2.2.5. Čvrstoća stijenki diskontinuiteta .....	17
2.2.6. Zijev diskontinuiteta .....	18
2.2.7. Ispuna diskontinuiteta.....	19
2.2.8. Procjeđivanje .....	19
2.2.9. Broj setova diskontinuiteta .....	20
2.2.10. Veličina bloka.....	21
3. DIJAGENEZA VAPNENACA I PROCES OKRŠAVANJA.....	23
3.1. Procesi nastanka krša – okršavanje.....	23
4. PRIMJER ODREĐIVANJA ZNAČAJKI DISKONTINUITETA U MASIVNIM VAPNENCIMA .....	25
4.1. Opis lokacije .....	25
4.1.1. Geografske i klimatske značajke terena .....	25
4.1.2. Geološke značajke terena .....	26
4.1.3. Hidrogeološke značajke terena.....	30
4.1.4. Inženjersko-geološke karakteristike ležišta .....	31
4.1.5. Tektonske i strukturne značajke ležišta .....	32
5. TERENSKA MJERENJA I OBRADA PRIKUPLJENIH PODATAKA .....	34
5.1. Pregled terenskih mjerenja.....	34
5.2. Terenska mjerenja i obrada podataka o orijentacijama diskontinuiteta.....	37
5.3. Terenska mjerenja i obrada podataka hrapavosti.....	46
5.3.1. Razvoj profila hrapavosti raspona 20-30.....	47
5.3.2. Proračun koeficijenta hrapavosti pukotine JRC iz vrijednosti $Z_2$ .....	51
6. ZAKLJUČAK.....	54
7. LITERATURA .....	55

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Slikoviti prikaz stijenske mase (Hrženjak, 2009). .....	3
Slika 2-2 Pukotine s obzirom na raspored i orijentaciju (Tomljenović, 2017). .....	5
Slika 2-3 Vlačne pukotine, pukotine tipa I (Tomljenović, 2017). .....	6
Slika 2-4 Tlačne pukotine (Tomljenović, 2017). .....	6
Slika 2-5 Pukotine smicanja, pukotine tipa II i III (Tomljenović, 2017). .....	7
Slika 2-6 Orijehtacija diskontinuiteta (modificirano prema: ISRM, 1978). .....	9
Slika 2-7 lijevo: Blok-dijagram s prikazom orijentacija diskontinuiteta u tunelu (lijevo) (ISRM, 1987) i rozeta dijagram pukotina (desno). .....	10
Slika 2-8 Postojanost diskontinuiteta (Hrženjak, 2009). .....	12
Slika 2-9 Prikaz velikog i malog mjerila promatranja hrapavosti (modificirano prema Palmstrom, 1995). .....	13
Slika 2-10 Prikaz amplitude hrapavosti .....	14
Slika 2-11 Profili hrapavosti i odgovarajuće vrijednosti JRC-a (preuzeto iz ISRM, 1978). .....	15
Slika 2-12 Dijagram za određivanje koeficijenta hrapavosti JRC (Barton, 1982). .....	16
Slika 2-13 Prikaz zijeva i širine ispunjenog diskontinuiteta (ISRM, 1978) .....	18
Slika 3-1 Idealizirani prikaz procesa okršavanja i stvaranja zrelog krša uslijed dugotrajnog izlaganja vapnenačkih stijena djelovanju meteorskih voda (preuzeto iz Tišljar, 2001). .....	24
Slika 4-1 Geografski položaj eksploatacijskog polja Kanfanar-jug (preuzeto s <a href="https://www.google.com/maps">https://www.google.com/maps</a> ). .....	26
Slika 5-1 Lokacija uzorkovanja PS-1/20. .....	34
Slika 5-2 Lokacija uzorkovanja PS-2/20. .....	35
Slika 5-3 Primjer mjerenja orijentacije pomoću kružne ploče. .....	38
Slika 5-4 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija po kutu mjerenja i pripadajućih polova za slojnu plohu. .....	40
Slika 5-5 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija po kutu mjerenja i pripadajućih polova za primarni pukotinski sustav. .....	42
Slika 5-6 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija po kutu mjerenja i pripadajućih polova za sekundarni pukotinski sustav. .....	44
Slika 5-7 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija i pripadajući polovi triju mjernih točaka. .....	45
Slika 5-8 Mjerenje profila hrapavosti profilometrom. .....	46

Slika 5-9 Procjena koeficijenta hrapavosti pukotina  $JRC_{10}$  za raspon  $JRC_{10}$  od 20 do 30  
dobivenih na temelju terenskih mjerenja..... 49



## POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Opis razmaka diskontinuiteta (ISRM, 1978).....	11
Tablica 2-2 Opis postojanosti diskontinuiteta (ISRM, 1978).....	12
Tablica 2-3 Opis i vrijednosti za faktor glatkoće pukotina js (Palmstrom,1995).....	13
Tablica 2-4 Opis i vrijednosti za faktor valovitosti pukotina jw (Palmstrom,1995). ....	14
Tablica 2-5 Opis zijeva diskontinuiteta (ISRM, 1978).....	18
Tablica 2-6 Opis materijala ispune (prema ISRM, 1978). ....	19
Tablica 2-7 Ocjena stupnja procjeđivanja (ISRM, 1978).....	20
Tablica 2-8 Opis broja skupova diskontinuiteta (ISRM, 1978).....	21
Tablica 2-9 Opis veličine bloka (ISRM, 1978). ....	22
Tablica 2-10 Kvantitativni opis stijenske mase na temelju veličine i oblika bloka (ISRM, 1978).....	22
Tablica 5-1 Geoprostorne koordinata terenskog mjerenja (HTRS96 sustav).....	35
Tablica 5-2 Značajke materijala ispune (Hrženjak et al., 2019).....	36
Tablica 5-3 Izmjerene orijentacije na slojnoj plohi. ....	39
Tablica 5-4 Izmjerene orijentacije na primarnom pukotinskom sustavu. ....	41
Tablica 5-5 Izmjerene orijentacije na sekundarnom pukotinskom sustavu.....	43
Tablica 5-6 Vrijednosti izmjerenih $JRC_{10}$ , korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti za slojnu plohu .....	50
Tablica 5-7 Vrijednosti izmjerenih $JRC_{10}$ , korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti za primarni pukotinski sustav .....	50
Tablica 5-8 Vrijednosti izmjerenih $JRC_{10}$ , korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti za sekundarni pukotinski sustav.....	51
Tablica 5-9 Prikaz predloženih odnosa između parametra $Z_2$ i JRC-a na temelju prethodnih istraživanja.....	52
Tablica 5-10 Vrijednost JRC-a preko $Z_2$ prema različitim autorima za slojnu plohu: .....	52
Tablica 5-11 Vrijednost JRC-a preko $Z_2$ prema različitim autorima za primarni pukotinski sustav. ....	53
Tablica 5-12 Vrijednost JRC-a preko $Z_2$ prema različitim autorima za sekundarni pukotinski sustav. ....	53

## **POPIS PRILOGA**

PRILOG 1. Situacijska karta eksploatacijskog polja Kanfanar-jug

PRILOG 2-1 – 2-12 Terenski obrasci

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

OZNAKA	VELIČINA	JEDINICA
$J_v$	Volumetrijski broj pukotina	$m^{-3}$
$Z_2$	Srednje kvadratno odstupanje prve derivacije profilne linije	
$\sigma_n$	Normalno naprezanje na plohi diskontinuiteta	MPa
$\varphi_b$	Bazni kut trenja	°
JCS	Čvrstoća stijenki diskontinuiteta	
JRC	Koeficijent hrapavosti diskontinuiteta	

## 1. UVOD

Mehanika stijena predstavlja jednu od najmlađih disciplina unutar tehničkih znanosti koja se bavi proučavanjem značajki, stanja te ponašanja stijena i stijenskih masa prilikom izvođenja različitih inženjerskih zahvata. Proučavanje značajki stijena i stijenskih masa prvenstveno predstavlja utvrđivanje karakteristika intaktnog stijenskog materijala, diskontinuiteta te stijenskih masa. Osim toga utvrđuje se i stanje naprezanja u kojem se stijenske mase nalaze te na kraju na samo ponašanje stijenske mase prilikom izvođenja inženjerskih zahvata u njima. Ovakav potpuni pristup dio je svakodnevnih zadataka velikog broja inženjera koji predstavlja mnogobrojne izazove. Prilikom određivanja značajki diskontinuiteta, zbog njihove kompleksnosti javljaju se mnogobrojni problemi koji otežavaju samo kvantificiranje. Prisutnost diskontinuiteta u stijenskim masama utječe na njezinu čvrstoću, deformabilnost i hidraulička svojstva, čini je anizotropnom i diskontinuiranom. Sve navedeno otežava procjenu mehaničkog ponašanja stijenske mase. Prilikom utvrđivanja značajki diskontinuiteta potrebno je provesti velik broj terenskih i laboratorijskih mjerenja na karakterističnim diskontinuitetima. Takav opsežan proces normiran je prema preporukama Međunarodnog društva za mehaniku stijena (*ISRM, Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, 1978*). Prema preporukama potrebno je opisati deset različitih značajki diskontinuiteta: orijentaciju, razmak, postojanost, hrapavost, čvrstoću stijenki, zijev, ispunu, procjeđivanje, broj skupova i veličinu bloka. Određivanje navedenih značajki može biti zahtjevno i otežano u različitim stijenskim masama i uvjetima u kojima se one nalaze.

Cilj ovog diplomskog rada jest prikazati određivanje pojedinih značajki diskontinuiteta u masivnim i okršenim vapnencima ležišta arhitektonskog-građevnog kamena. Utjecaj diskontinuiteta i njihovi značajki u ovakvim ležištima jest od iznimne važnosti prilikom projektiranja otkopavanja arhitektonsko-građevnog kamena. Upravo diskontinuiteti utječu na samu mogućnost površinske i podzemne eksploatacije. U prvom redu se određivala hrapavost diskontinuiteta zbog direktnog utjecaja na posmičnu čvrstoću. Ujedno se određivala i njihova orijentacija. Terenskim mjerenjima snimljene su karakteristične pukotine površinskog i podzemnog dijela kopa nakon čega su detaljno obrađeni podatci o orijentaciji i hrapavosti.

Određivanje hrapavosti, odnosno koeficijenta hrapavosti, složeno je zbog vrlo nepravilnih i hrapavih ploha diskontinuiteta. Plohe diskontinuiteta odlikuju se jako izraženim neravninama u velikom i malom mjerilu promatranja. Terenska mjerenja i način određivanja koeficijenta hrapavosti (JRC – *Joint Roughness Coefficient*) provedeni su na nekoliko različitih načina. Na taj način se probala što jasnije prikazati problematika određivanja ove veličine. Provedena terenska mjerenja i obrada podataka usmjerena je na prikazivanje problematike određivanja hrapavosti koja se javlja u okršenim stijinama, prvenstveno na nedostatak određivanja JRC-a preko tipičnih profila hrapavosti. Pouzdano i precizno određena vrijednost JRC-a potrebna je i u svrhu određivanja posmične čvrstoće diskontinuiteta kao i drugih vrijednosti poput kuta dilatancije ili krutosti diskontinuiteta.

## 2. DISKONTINUITETI U STIJENSKIM MASAMA

Stijenska masa definirana je kao kompleksna prirodna sredina koja se najčešće sastoji od blokova intaktnog stijenskog materijala i diskontinuiteta koji ih međusobno odvajaju, a koji omogućuju određenu interakciju između blokova unutar same stijenske mase (Navratil, 2011). Diskontinuitet predstavlja općeniti izraz kojim se obuhvaćaju svi prekidi i lomovi u stijenskoj masi na kojima je došlo do potpunog prekida međumolekularnih sila (Slika 2-1). Sami diskontinuiteti predstavljaju bilo kakvu plohu, nastalu mehanički ili kao posljedica geneze stijene. Prema ISO normi 14689-1 (2003) pod pojmom diskontinuiteta podrazumijeva se ploha koja kontinuirano lomi stijenski materijal unutar stijenske mase i koja je otvorena ili može postati otvorena pod naprezanjima izazvanim građevinskim zahvatom. Zbog utjecaja diskontinuiteta stijenska masa tretira se kao diskontinuum u uvjetima kad se slom uglavnom odvija upravo po plohama diskontinuiteta.



Slika 2-1 Slikoviti prikaz stijenske mase (Hrženjak, 2009).

Diskontinuiteti, odnosno plohe diskontinuiteta utječu na čvrstoću, deformabilnost i hidraulička svojstva stijenske mase zbog čega je čine anizotropnom geotehničkom sredinom, što otežava samu procjenu mehaničkog ponašanja stijenske mase. Upravo zbog spomenutih karakteristika diskontinuitete je nužno detaljno opisati i karakterizirati kako bi se mehanička i hidrogeološka svojstva što preciznije procijenila. Diskontinuiteti mogu biti pojedinačni (generalno su većeg pružanja i proučavaju se pojedinačno) te grupirani u skupove (setovi diskontinuiteta), što predstavlja diskontinuitete približno istih orijentacija i sličnih

mehaničkih svojstava za koje se statistički određuje prosječna orijentacija i prosječna čvrstoća.

## 2.1. Vrste diskontinuiteta

Analiza diskontinuiteta, prvenstveno pukotina zbog njihova direktnog utjecaja na fizičko-mehanička svojstva, predstavlja sastavni dio svakog istraživanja.

S obzirom na genezu diskontinuiteti se dijele na (Krkač, 2017):

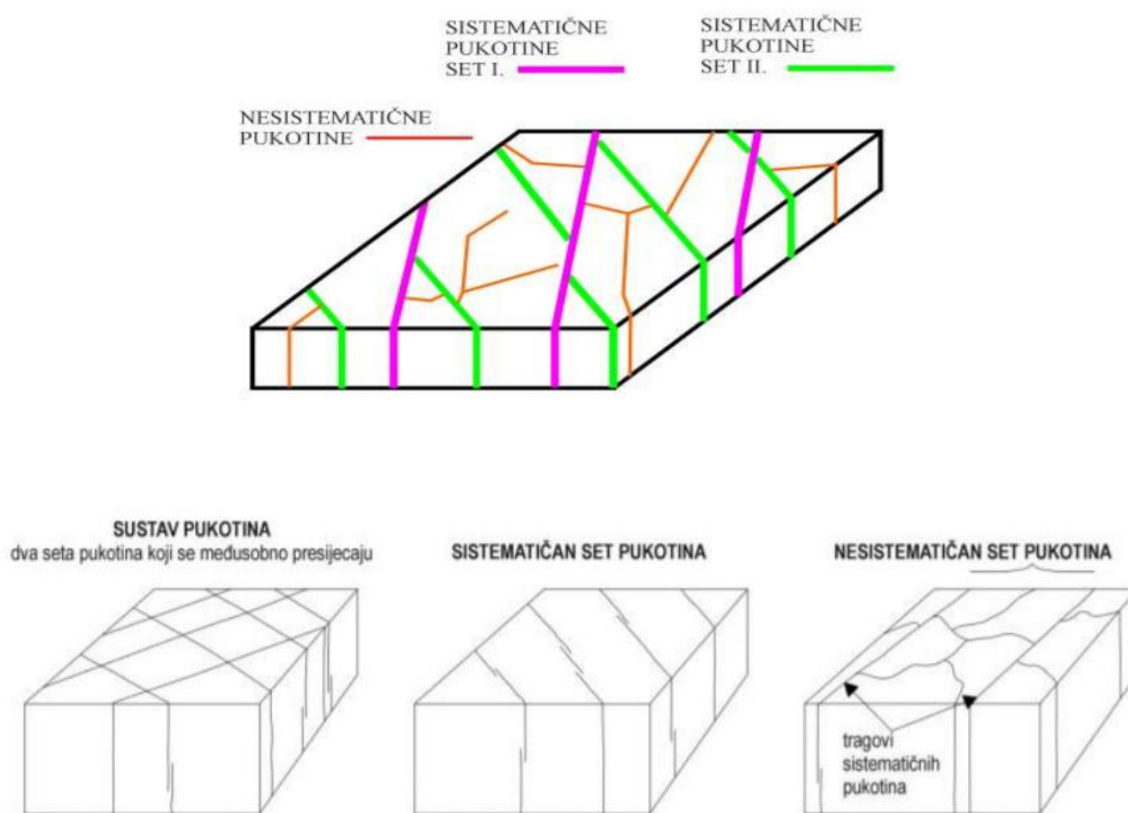
1. pukotine
2. plohe slojevitosti
3. plohe laminacije
4. folijaciju
5. geološke granice
6. rasjede.

Pukotine su ujedno i najzastupljeniji oblik diskontinuiteta te je potrebno provesti cjelovitu strukturnu analizu pukotina koja uključuje (Tomljenović, 2017): analizu rasporeda, orijentacije i učestalosti pukotina, odnosno definiranje setova pukotina, analizu morfoloških značajki na stjenkama pukotina i njihovu genetsku klasifikaciju, određivanje relativne starosti među pukotinama, definiranje odnosa rasporeda i orijentacije pukotina prema kogenetskim strukturama (rasjedima i borama). Potrebno je odrediti duljinu, otvorenost, učestalost te gustoću pukotina te ustanoviti mijenja li se neki od navedenih parametara s promjenom petrografskog sastava stijene ili s promjenom debljine slojeva. Razvijeno je više različitih sustava klasifikacije odnosno podjele pukotina, a izloženi su oni koji najbolje odgovaraju potrebama terenskih mjerenja.

### 2.1.1. Pukotine

Pukotine su zapravo lomovi, prekidi geološkog kontinuiteta duž čijih ploha nije vidljiv pomak, odnosno može se zanemariti. Pukotine mogu biti (Slika 2-2):

1. sistematične (planarna geometrija, paralelna orijentacija i pravilan razmak)
2. nesistematične (iskrivljena i nepravilna geometrija, uglavnom završavaju na pukotinama iz sistematičnog seta).



Slika 2-2 Pukotine s obzirom na raspored i orijentaciju (Tomljenović, 2017).

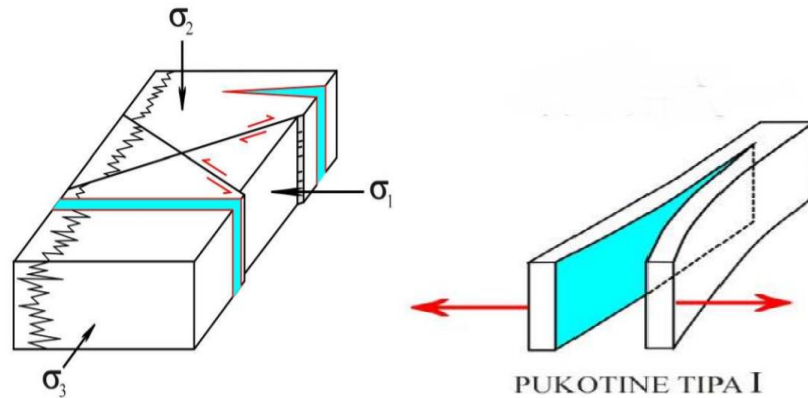
Prema vrsti naprezanja pukotine se dijele na:

1. vlačne (engl. *tension joints*)
2. tlačne (engl. *stylolitic joints*)
3. pukotine smicanja (engl. *shear or sliding joints*)



### Vlačne pukotine

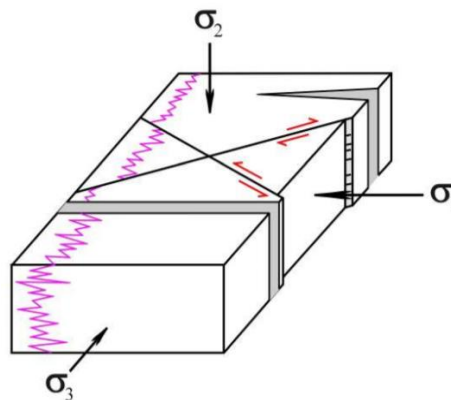
Kod vlačnih pukotina relativno je kretanje okomito na os najmanjeg normalnog naprezanja  $\sigma_3$ , tj. na stijenke pukotine (Slika 2-3). Često su otvorene ili ispunjene mineralnom tvari, a nazivaju se još i pukotinama tipa I.



Slika 2-3 Vlačne pukotine, pukotine tipa I (Tomljenović, 2017).

### Tlačne pukotine

Tlačne ili kompresijske pukotine orijentirane su okomito na najdulju os elipsoida naprezanja  $\sigma_1$  (Slika 2-4). Na njihovim stijenjkama dolazi do otapanja pod pritiskom te smanjenja volumena stijenskog tijela pri čemu nastaju karakteristične stilolitske pukotine ili šavovi. Često su zatvorene i hrapave.



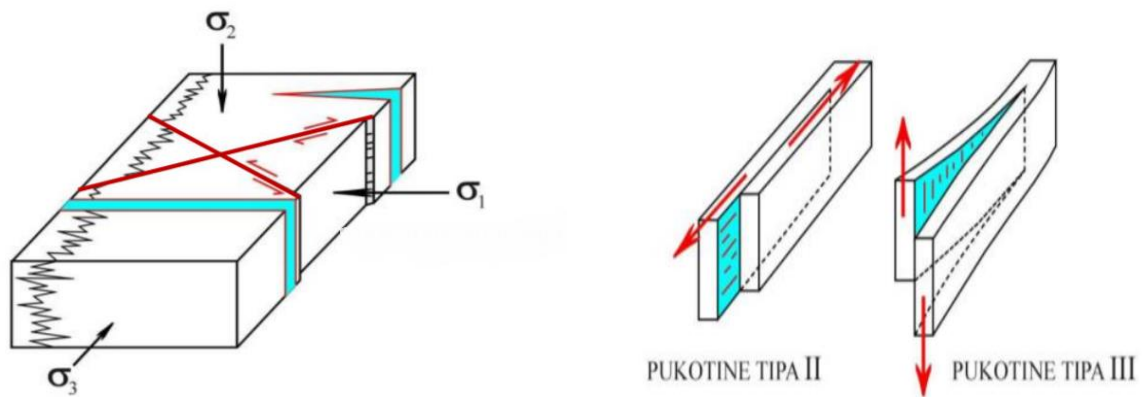
Slika 2-4 Tlačne pukotine (Tomljenović, 2017).

## Pukotine smicanja

Za pukotine smicanja karakteristično je relativno kretanje paralelno sa stijenkama, pri čemu se razlikuju (Tomljenović, 2017):

1. pukotine tipa II (smicanje je paralelno s pružanjem pukotine)
2. pukotine tipa III (smicanje je okomito na pružanje pukotina) koje se nazivaju još i škarastim pukotinama.

Za pukotine smicanja karakteristično je da se javljaju u obliku konjugiranih parova pri čemu vrijedi da je srednja os elipsoida naprezanja  $\sigma_2$  paralelna presječnici konjugiranog para smičnih pukotina, a najdulja os elipsoida  $\sigma_1$  predstavlja simetralu oštrog kuta među pukotinama smicanja (Slika 2-5).



Slika 2-5 Pukotine smicanja, pukotine tipa II i III (Tomljenović, 2017).

## 2.2. Svojstva i opis diskontinuiteta

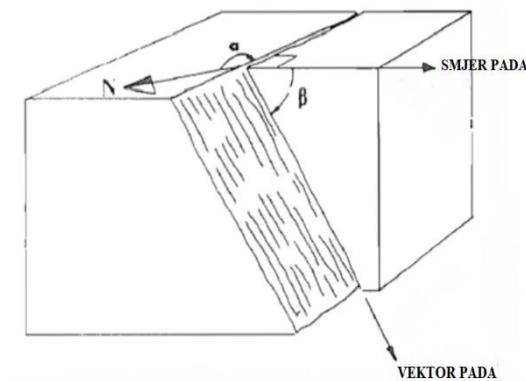
Prema preporukama Međunarodnog društva za mehaniku stijena (*International Society for Rock Mechanics, ISRM*) iz 1978. diskontinuitete u stijenskim masama potrebno je kvantitativno opisati pomoću sljedećih deset veličina:

1. orijentacija (*engl. orientation*)
2. razmak (*engl. spacing*)
3. postojanost (*engl. persistence*)
4. hrapavost (*engl. roughness*)
5. čvrstoća stijenki (*engl. wall strength*)
6. zijev (*engl. aperture*)
7. ispuna (*engl. filling*)
8. procjeđivanje (*engl. seepage*)
9. broj setova (*engl. number of sets*)
10. veličina bloka (*engl. drill core*).

Orijentaciju, postojanost i razmak ubrajamo u osnovne geometrijske značajke koje zajedno s brojem skupova određuju veličinu i oblik samog bloka. Hrapavost, čvrstoća stijenki, zijev i ispuna definiraju posmičnu čvrstoću diskontinuiteta i uvjete procjeđivanja, koji su naročito važne prilikom procjene posmične čvrstoće diskontinuiteta primjenom empirijskih izraza poput najčešće korištenog Barton-Bandisovog kriterija čvrstoće (Hrženjak i dr., 2019).

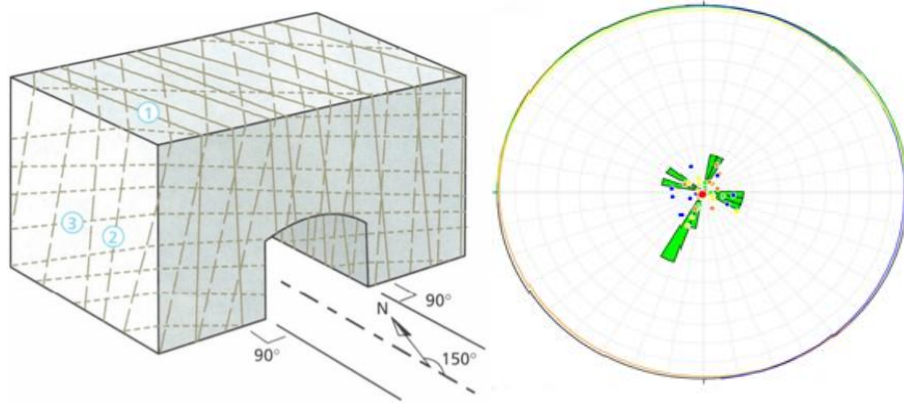
### 2.2.1. Orijentacija diskontinuiteta

Orijentacija predstavlja prostorni položaj diskontinuiteta definiran azimutom horizontalne projekcije vektora pada ( $\alpha$ ) koji je mjereno u smjeru kazaljke na satu od stvarnog sjevera i kutom pada ( $\beta$ ) koji predstavlja maksimalan pad srednje ravnine diskontinuiteta mjereno od horizontalne ravnine (Slika 2-6). Orijentacija se najčešće određuje geološkim kompasom, laserskim teodolitom ili obradom stereoskopskih fotografija. Rezultati mjerenja orijentacije diskontinuiteta najčešće se prikazuju na stereografskoj projekciji, blok-dijagramima i rozeta-dijagramima (Slika 2-7).



Slika 2-6 Orijentacija diskontinuiteta (modificirano prema: ISRM, 1978).

Postoji više vrsta sfernih projekcija ovisno o njihovoj namjeni. Za prikazivanje diskontinuiteta najčešće se koriste dvije različite vrste projekcija. Sferna projekcija jednakih površina (*engl. equal-area projection, Lambert*) gdje su zadržani međusobni odnosi površina na projekciji kakvi su oni na sferi i sferna projekcija jednakih kutova (*engl. equal-angle projection, Wulf*) kod koje su zadržani međusobni odnosi kutova ploha na projekciji kakvi su oni u stvarnosti. Općenito se plohe diskontinuiteta mogu prikazati pomoću polova normala ili tragova ravnina. Prosječne orijentacije diskontinuiteta određuju se statističkim metodama.



Slika 2-7 lijevo: Blok-dijagram s prikazom orijentacija diskontinuiteta u tunelu (lijevo) (ISRM, 1987) i rozeta dijagram pukotina (desno).

### 2.2.2. Razmak diskontinuiteta

Razmak diskontinuiteta definiran je kao okomita udaljenost između susjednih ploha diskontinuiteta koji pripadaju istom setu i određuju se za svaki set. Potrebno je izmjeriti minimalan, srednji i maksimalan razmak diskontinuiteta kako bi se odredila prosječna vrijednost. Prema ISRM (1978) preporukama razmak diskontinuiteta može se odrediti mjerenjima na izdanku, gdje izričito treba paziti da se mjerenja vrše okomito na diskontinuitet, mjerenjem na jezgri bušotine te refrakcijskim geofizičkim metodama gdje se mjeri brzina širenja elastičnih longitudinalnih valova  $V_p$ . Diskontinuiteti uzrokovani miniranjem se ne uzimaju u obzir prilikom određivanja razmaka diskontinuiteta. Za mjerenje razmaka najčešće se upotrebljava mjerna traka minimalne duljine od 3 metra, kompas i klinometar. Mjerna traka postavlja se okomito na diskontinuitet. Ako razmak nije moguće mjeriti okomito na pružanje diskontinuiteta, potrebno je napraviti korekciju prema formuli:

$$e_2 = d_2 \sin \lambda \quad (2-1)$$

gdje je:

$e_2$  – razmak diskontinuiteta

$d_2$  – prividni razmak diskontinuiteta

$\lambda$  – kut između pravca mjerenja i diskontinuiteta.

Razmak diskontinuiteta jedna je od osnovnih geometrijski karakteristika diskontinuiteta i određuje veličinu bloka same intaktne stijene. Utječe na čvrstoću stijene i na hidrauličku vodljivost (ISRM, 1978) koja je obrnuto proporcionalna razmaku diskontinuiteta. Opis razmaka prema ISRM normi prikazan je u Tablici 2-1:

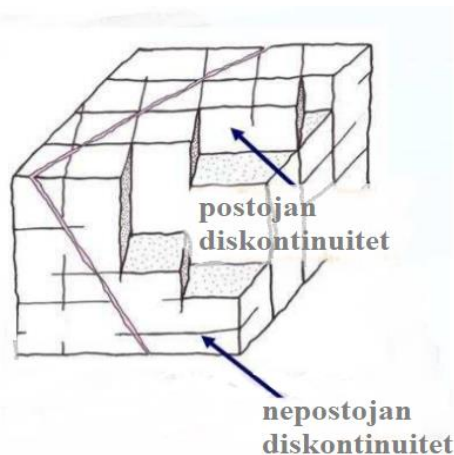
Tablica 2-1 Opis razmaka diskontinuiteta (ISRM, 1978).

<b>Opis razmaka</b>	<b>Razmak (mm)</b>
ekstremno mali razmak	<20
vrlo mali razmak	20 – 60
mali razmak	60 – 200
srednji razmak	200 – 600
veliki razmak	600 – 2000
vrlo veliki razmak	2000 – 6000
ekstremno veliki razmak	>6000

Rezultati mjerenja razmaka najčešće se prikazuju brojem diskontinuiteta po jednom metru, tzv. frekvencijom, no učestaliji je prikaz histogramima za svaki set diskontinuiteta.

### 2.2.3. Postojanost diskontinuiteta

Postojanost diskontinuiteta, tj. kontinuiranost ili perzistencija predstavlja njihovo prostorno prostiranje kao ravnine. Jedan je od parametara stijenske mase koji je jako teško kvantificirati i opisati. Problem određivanja postojanosti nastaje jer je moguće izmjeriti samo dio diskontinuiteta koji se pojavljuje, primjerice na izdanku, a stvarna je postojanost zasigurno veće duljine. Kvantifikacija postojanosti diskontinuiteta iznimno je važna kod stijenskih kosina i temeljenja brana, gdje je potrebno detaljno procijeniti postojanost nepoželjno orijentiranih diskontinuiteta (ISRM, 1978). Određuje se mjerenjem duljine diskontinuiteta u smjeru pada i u pravcu pružanja diskontinuiteta. Veća postojanost diskontinuiteta uzorkuje manju posmičnu čvrstoću. Setovi diskontinuiteta mogu biti opisani pojmovima postojan, supostojan ili srednje postojan te nepostojan, što je prikazano Slikom 2-8.



Slika 2-8 Postojanost diskontinuiteta (Hrženjak, 2009).

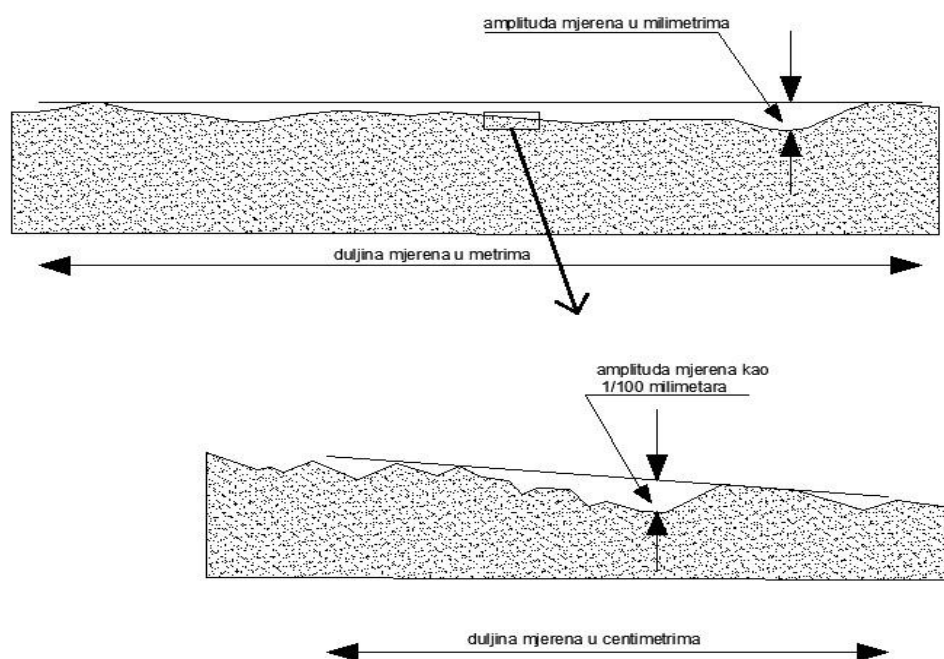
Terminologija za opis postojanosti koju je predložio ISRM prikazana je u Tablici 2-2:

Tablica 2-2 Opis postojanosti diskontinuiteta (ISRM, 1978).

Opis postojanosti	Postojanost (m)
vrlo mala postojanost	<1
mala postojanost	1 – 3
srednja postojanost	3 – 10
velika postojanost	10 – 20
vrlo velika postojanost	>20

#### 2.2.4. Hrapavost diskontinuiteta

Hrapavost predstavlja površinske neravnine stijenki diskontinuiteta u odnosu na srednji položaj njegove ravnine. Hrapavost stijenki diskontinuiteta predstavlja važnu komponentu koja može imati utjecaja na posmičnu čvrstoću diskontinuiteta, naročito u slučaju povezanih stijenki bez većeg zijeva i materijala ispune te prethodnih posmičnih pomaka (ISRM, 1978). Hrapavost se opisuje pomoću dviju veličina, valovitosti (*engl. waviness*) koja se primjenjuje za opis hrapavosti u velikom mjerilu promatranja i neravnine (*engl. unevenness*) koja se primjenjuje za opis hrapavosti u malom mjerilu promatranja (Slika 2-9). Tijekom smicanja stijenskih blokova po plohama njihovih diskontinuiteta valovitost ima utjecaj na pojavu dilatancije, odnosno međusobnog odmicanja stijenskih blokova, a neravnine imaju utjecaj na vrijednost posmične čvrstoće diskontinuiteta (Palmstrom, 1995).



Slika 2-9 Prikaz velikog i malog mjerila promatranja hrapavosti (modificirano prema Palmstrom, 1995).

Osim samog opisa hrapavosti spomenutim veličinama hrapavost stijenci diskontinuiteta potrebno je izraziti brojčano s obzirom na njezinu važnost prilikom procjene posmične čvrstoće diskontinuiteta primjenom različitih empirijskih izraza. Prema Palmstromu hrapavost se može izraziti pomoću faktora valovitosti  $j_w$  i faktora glatkoće  $j_s$ , koji se određuju na temelju opisa iz Tablica 2-3 i 2-4.

Tablica 2-3 Opis i vrijednosti za faktor glatkoće pukotina  $j_s$  (Palmstrom, 1995).

Opis	Faktor glatkoće pukotina, $j_s$
jako hrapava	3
hrapava	2
malo hrapava	1,5
glatka	1
zaglađena	0,75
zaglađena s ogrebotinama	0,6 – 1,5

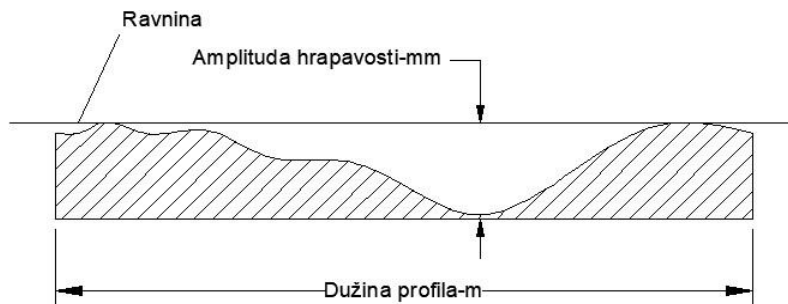


Tablica 2-4 Opis i vrijednosti za faktor valovitosti pukotina jw (Palmstrom, 1995).

Opis		faktor valovitosti pukotina, jw
uklještена		3
stepeničasta		2,5
velika valovitost	$u > 3 \%$	2
mala valovitost	$u = 0.3 - 3 \%$	1,5
planarna	$u < 0.3 \%$	1

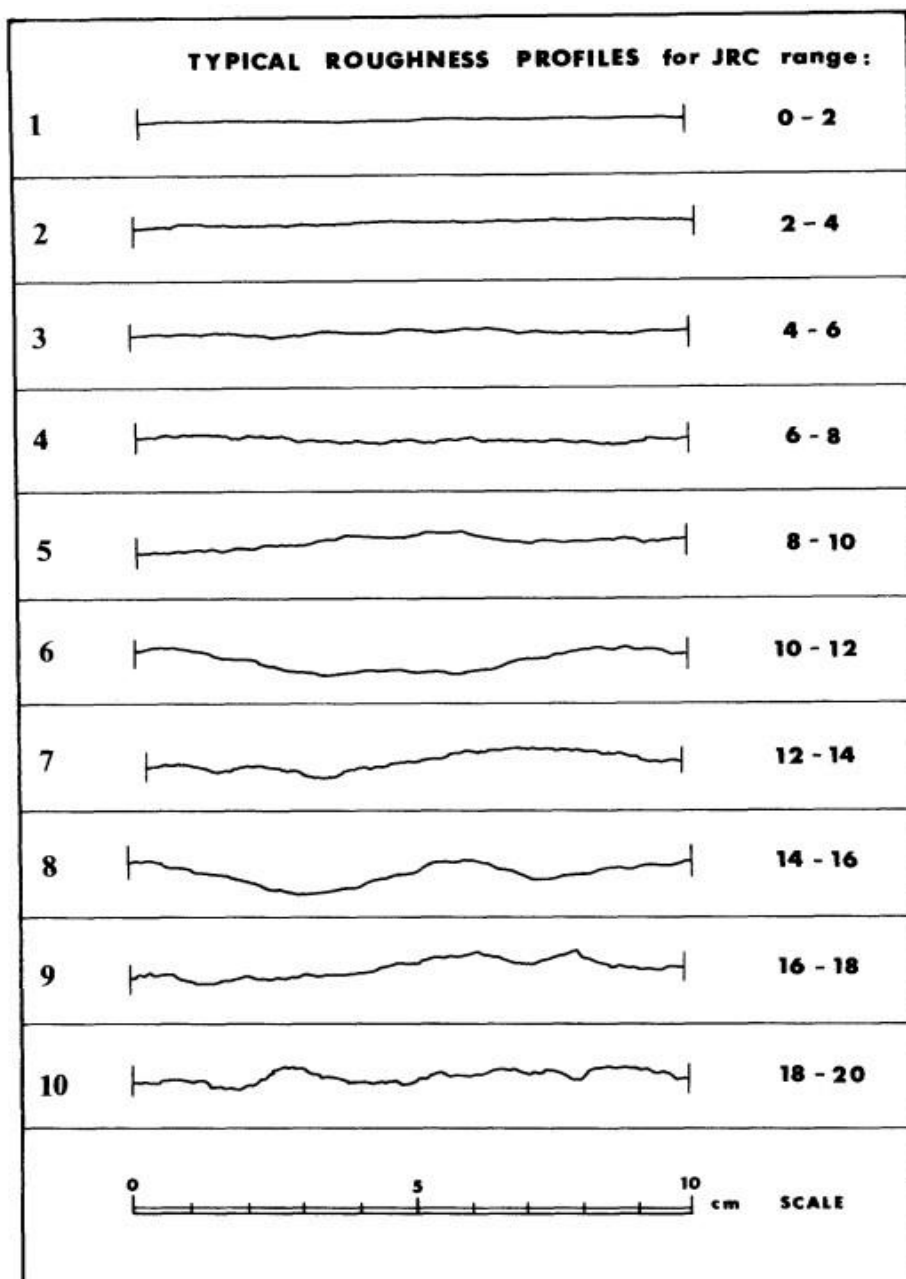
Umnoškom faktora glatkoće js i faktora valovitosti jw računa se faktor hrapavosti pukotina jR. Također, za procjenu faktora valovitosti jw, osim spomenutog opisa, upotrebljava se i postotna mjera valovitosti, tzv. undulacija koja se dobije iz sljedećeg omjera (Slika 2-10):

$$u = \frac{\text{izmjerena maksimalna amplituda}}{\text{izmjerena duljina pukotine}} = \frac{a}{L} [\%] \quad (2-2)$$



Slika 2-10 Prikaz amplitude hrapavosti

Najjednostavniji način određivanja hrapavosti, koji se ujedno najčešće i upotrebljava prilikom terenskih mjerenja, odnosi se na određivanje koeficijenta hrapavosti pukotine JRC-a usporedbom s tipičnim profilima hrapavosti duljine 10 centimetara, gdje su prikazane vrijednosti  $JRC_{10}$  od 0 do 20 (Barton and Choubey, 1977) na Slici 2-11. Koeficijent hrapavosti JRC dobiven je na temelju interpretacije velikog broja laboratorijskih ispitivanja posmične čvrstoće provedenih na različitim uzorcima s cijelim spektrom hrapavosti, umjetnih i prirodnih ploha diskontinuiteta (Barton, 1973).



Slika 2-11 Profili hrapavosti i odgovarajuće vrijednosti JRC-a (preuzeto iz ISRM, 1978).

S obzirom na to da je koeficijent hrapavosti određen u 10-centimetarskom mjerilu promatranja, potrebno je provesti korekciju u odnosu na duljinu diskontinuiteta koja je mjerodavna u slučaju klizanja bloka prema formuli (Barton i Bandis, 1990):

$$JRC_n = JRC_0 \left[ \frac{L_n}{L_0} \right]^{-0.02JRC_0} \quad (2-3)$$

gdje je:

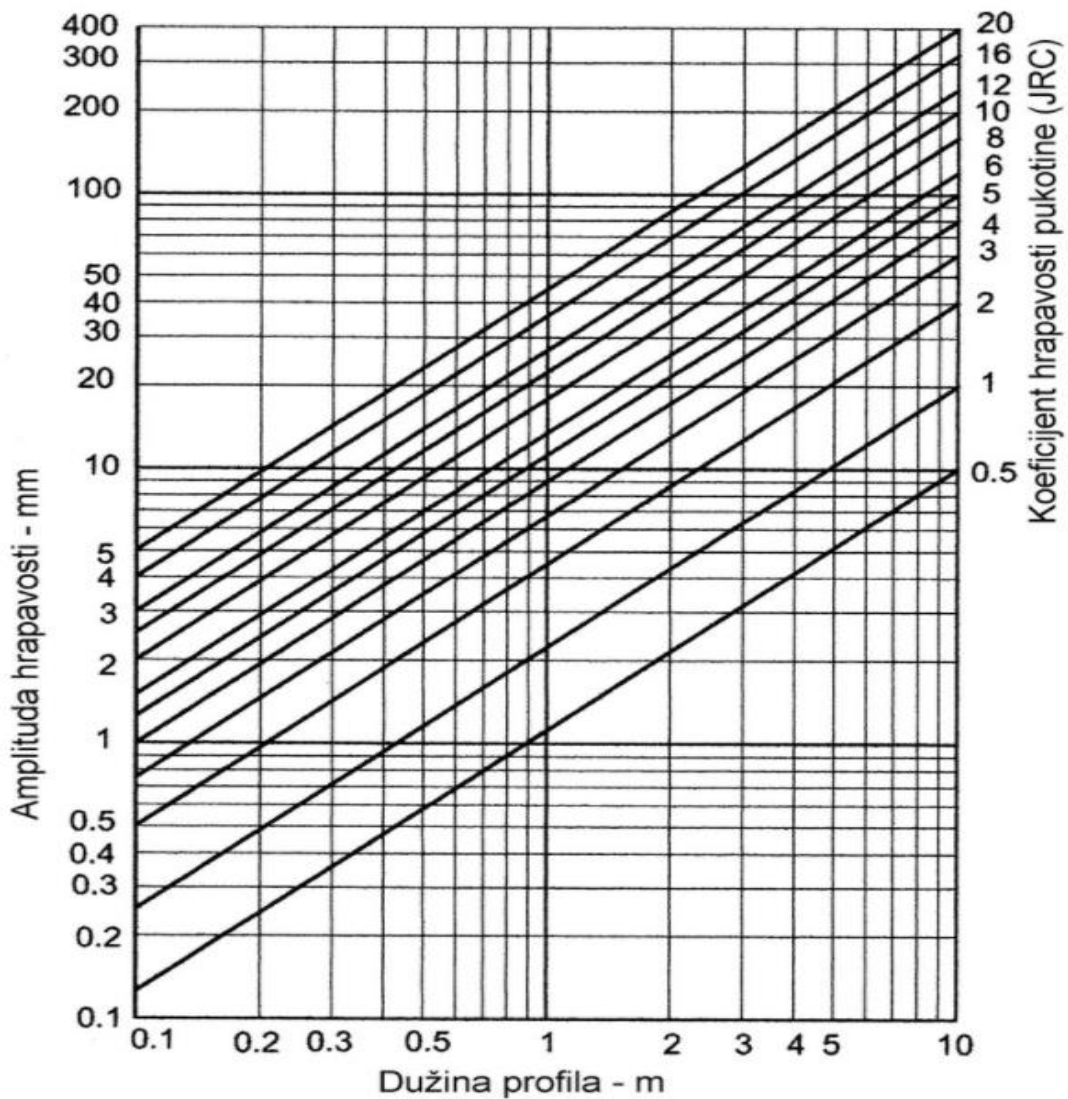
$JRC_n$  – realna vrijednost koeficijenta hrapavosti za određenu duljinu stranice bloka

$JRC_0$  – vrijednost koeficijenta hrapavosti u 10-centimetarskom mjerilu određivanja

$L_n$  – duljina stranice bloka (cm)

$L_0$  – 10 (cm).

Određivanje hrapavosti usporedbom sa standardnim profilima može biti vrlo subjektivno, a ovisi o iskustvu i mogućnosti prosudbe inženjera. Upravo zbog toga je Barton (1982) naknadno predložio dijagram za određivanje koeficijenta hrapavosti iz odnosa mjerene amplitude hrapavosti i dužine profila (Slika 2-12).



Slika 2-12 Dijagram za određivanje koeficijenta hrapavosti JRC (Barton, 1982).

S obzirom na važnost određivanja same hrapavosti i poteškoće prilikom samog određivanja, razvijani su i predlagani drugi postupci određivanja. Jedan od njih je pokus klizanja bloka po bloku koji su preko ploha diskontinuiteta međusobno spojeni. Predlagani su i mnogobrojni drugi postupci procjene vrijednosti JRC-a koji se temelje na korelaciji s parametrima hrapavosti profila koji su snimani većim rezolucijama uzorkovanja, poput parametara  $SF$ ,  $R_p$ , i  $Z_2$  o kojem će biti riječ u daljnjem tekstu. Hrapavost, odnosno određivanje koeficijenta hrapavosti diskontinuiteta, vrlo je važno prilikom procjene posmične čvrstoće diskontinuiteta različitim empirijskim formulama poput najčešće korištenog Barton-Bandisovog kriterija za čvrstoću:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \left( JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \varphi_b \right) \quad (2-4)$$

gdje je:

$\sigma_n$  - normalno naprezanje na plohi diskontinuiteta

$\tau$  - posmična čvrstoća diskontinuiteta

$JRC$  - koeficijent hrapavosti diskontinuiteta

$JCS$  - čvrstoća stijenki diskontinuiteta

$\varphi_b$  - bazni kut trenja.

#### 2.2.5. Čvrstoća stijenki diskontinuiteta

Čvrstoća stijenki diskontinuiteta predstavlja jednoosnu tlačnu čvrstoću materijala koji se nalazi neposredno na samoj stijenki diskontinuiteta (Hrženjak, 2019). Čvrstoća stijenki važna je komponenta jer može imati znatan utjecaj na posmičnu čvrstoću diskontinuiteta, jednako kao i hrapavost stijenki diskontinuiteta (ISRM, 1978). Ovisi o svojstvima intaktne stijene i trošnosti stijenki diskontinuiteta. Vrijednost tlačne čvrstoće stijenki diskontinuiteta JCS (engl. *Joint wall Compressive Strength*) jednostavno se procjenjuje identifikacijskim ispitivanjima pomoću priručnih sredstava (geološki čekić, džepni nožić) ili ispitivanjem dinamičke tvrdoće metodom „odskoka“ Schmidtovim čekićem. Pri određivanju dinamičke tvrdoće Schmidtovim čekićem poželjno je imati vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće intaktnog stijenskog materijala kako bi se napravilo ispitivanje i na intaktnom materijalu i

na stjenkama diskontinuiteta. Kod svježih diskontinuiteta JCS jednak je ili približan vrijednosti intaktne stijene.

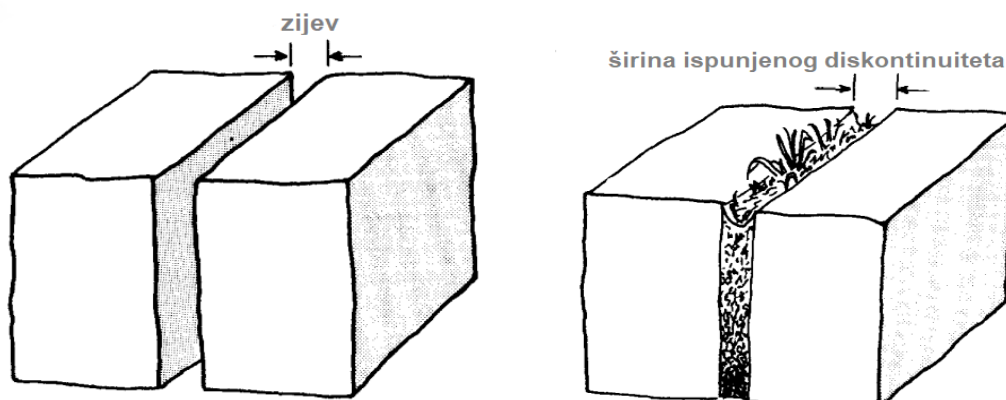
### 2.2.6. Zijev diskontinuiteta

Zijev diskontinuiteta predstavlja okomitu udaljenost između stijenki otvorenog diskontinuiteta koji može biti djelomično ili potpuno ispunjen materijalom ispune. Zijev ima znatan utjecaj na posmičnu čvrstoću diskontinuiteta i propusnost. Povećanjem dubine zijev postaje sve manji, a diskontinuitet sve zatvoreniji, dok je na površini veći kao posljedica rasterećenja stijenske mase (ISRM, 1978). Osnovna podjela zijeva je na zatvoreni (<5 mm) i otvoreni (>5 mm). Tablicom 2-5 prikazan je opis i podjela zijeva.

Tablica 2-5 Opis zijeva diskontinuiteta (ISRM, 1978).

Zijev (mm)	Opis zijeva	Diskontinuitet
<0,1 0,1 – 0.25 0,25 – 0.5	vrlo zatvoren zatvoren djelomično zatvoren	ZATVOREN
0,5 – 2.5 2,5 – 10 >10	otvoren srednje širok širok	POLUOTVOREN
10 – 100 100 – 1000 >1000	vrlo širok ekstremno širok kavernozan	OTVOREN

Zijev je potrebno razlikovati od širine diskontinuiteta koja predstavlja okomiti razmak između stijenki ispunjenog diskontinuiteta, prikazano na Slici 2-13:



Slika 2-13 Prikaz zijeva i širine ispunjenog diskontinuiteta (ISRM, 1978)

### 2.2.7. Ispuna diskontinuiteta

Ispuna predstavlja materijal koji se nalazi u prostoru između stijenki diskontinuiteta te ga ispunjava (ISRM, 1978). Diskontinuiteti su najčešće ispunjeni materijalima poput gline, šljunka, tektonske breče te kalcitnom ispunom (Krkač, 2018). Sama kvaliteta i vrsta ispune ima značajan utjecaj na ponašanje diskontinuiteta, primjerice ispuna po svojim svojstvima kvalitetnija od intaktne stijene može poboljšati svojstva stijenske mase. Najvažnija svojstva ispune jesu mineralni sastav, posmična čvrstoća, deformabilnost i propusnost. Svojstva ispune određuju se za svaki diskontinuitet i posebnu pozornost treba obratiti na sastav, sadržaj vode, propusnost te samu debljinu ispune, kojoj je potrebno odrediti najmanju, srednju i najveću vrijednost. U Tablici 2-6 prikazana je terminologija preporučena za opis ispune diskontinuiteta.

Tablica 2-6 Opis materijala ispune (prema ISRM, 1978).

<b>Stupanj</b>	<b>Opis stanja materijala ispune</b>
W1	Materijal ispune je jako konsolidiran i suh, značajan protok nije vjerojatan zbog vrlo niske propusnosti.
W2	Materijal ispune je vlažan, ali nema prisutnosti slobodne vode.
W3	Materijal ispune je mokar, prisutno je povremeno kapanje vode.
W4	Materijal ispune ukazuje na ispiranje, mogući tok vode.
W5	Materijal ispune lokalno ispran, tok vode po kanalima.
W6	Materijal ispune ispran u potpunosti, vrlo velik pritisak vode.

### 2.2.8. Procjeđivanje

Procjeđivanje predstavlja prisutnost i priliv vode na jednom promatranom diskontinuitetu ili na skupu diskontinuiteta. Procjeđivanje je uglavnom rezultat samog tečenja po diskontinuitetima, tj. rezultat sekundarne propusnosti jer je intaktna stijena najčešće male propusnosti (ISRM, 1978). Prema ISRM-u (1978) količina procjeđivanja prvenstveno ovisi o zijevu diskontinuiteta te o ispuni, odnosno vrsti ispune ako postoji. U slučaju većeg zijeva veće je i procjeđivanje vode, a primjerice glinovite ispune djeluju kao barijera. Kategorija i opis prema ISRM preporukama za diskontinuitete s ispunom i bez ispune prikazani su Tablicom 2-7 :

Tablica 2-7 Ocjena stupnja procjeđivanja (ISRM, 1978).

<b>kategorija</b>	<b>Diskontinuitet bez ispune</b>	<b>Diskontinuitet s ispunom</b>
I	Diskontinuitet je vrlo stisnut i suh, čini se kako nije moguć tok vode.	Materijal ispune jako je konsolidiran i suh, značajan tok nije vjerojatan zbog vrlo niske propusnosti.
II	Diskontinuitet je suh, bez tragova tečenja.	Materijal ispune je vlažan, ali nema slobodne vode.
III	Diskontinuitet je suh, ali pokazuje tragove tečenja (npr. Fe oksida).	Materijal ispune je mokar uz povremeno kapanje vode.
IV	Diskontinuitet je vlažan, ali nema slobodne vode.	Materijal ispune pokazuje znakove ispiranja i kontinuiranog tečenja vode po kanalima (procijeniti l/mm i pritisak vode).
V	Diskontinuitet pokazuje znakove procjeđivanja uz povremeno kapanje vode.	Materijal ispune lokalno je ispran, značajno tečenje vode po kanalima (procijeniti l/mm i pritisak vode).
VI	Kontinuirani tok vode po diskontinuitetu (potrebno je procijeniti l/mm i pritisak vode).	Materijal ispune ispran je u potpunosti, vrlo visok tlak vode (procijeniti l/min).

#### 2.2.9. Broj setova diskontinuiteta

Broj skupova (setova) diskontinuiteta predstavlja broj pojedinačnih diskontinuiteta i broj skupova diskontinuiteta koji se presijecaju na nekom promatranom području. Bitno ih je odrediti prilikom opisa stijenske mase jer direktno utječu na fizičko-mehanička svojstva i ponašanje stijenske mase. Također, broj setova diskontinuiteta utječe na stabilnost i deformabilnost stijenske mase (ISRM, 1978). Smatra se kako je masivna stijenska masa koja nema izražene setove diskontinuiteta stabilna i ima nisku mogućnost pojave bilo kakvog sloma. U sklopu terenskih mjerenja, broj setova diskontinuiteta određuje se mjerenjem velikog broja diskontinuiteta i njihovim grupiranjem ovisno o orijentaciji. Diskontinuiteti se određuju pomoću geološkog kompasa i klinometra. Mjeri se veliki broj ploha diskontinuiteta koji se kasnije grupiraju prema njihovim orijentacijama. Prema ISRM preporukama (1987) potrebno je jasno definirati pojedinačne diskontinuitete i diskontinuitete u setovima. Pojedinačni diskontinuiteti presijecaju stijensku masu bez pravila u pojavljivanju, a diskontinuiteti u setovima pokazuju određenu pravilnost u pojavljivanju. Također, prema

ISRM preporukama terminologija za opis skupova diskontinuiteta prikazana je Tablicom 2-8.

Tablica 2-8 Opis broja skupova diskontinuiteta (ISRM, 1978).

Kategorija	Opis
I	Masivna, mjestimice pojedinačni diskontinuiteti
II	Jedan skup diskontinuiteta
III	Jedan skup diskontinuiteta i jedan pojedinačni diskontinuitet
IV	Dva skupa diskontinuiteta
V	Dva skupa diskontinuiteta i jedan pojedinačni diskontinuitet
VI	Tri skupa diskontinuiteta
VII	Tri skupa diskontinuiteta i jedan pojedinačni diskontinuitet
VIII	Četiri ili više skupova diskontinuiteta
IX	Zdrobljena stijena koja nalikuje na tlo

#### 2.2.10. Veličina bloka

Veličina bloka bitan je pokazatelj ponašanja stijenske mase (ISRM, 1978). Uglavnom je određena brojem skupova diskontinuiteta, razmakom i postojanošću diskontinuiteta i važan je parametar u mnogim klasifikacijskim sustavima. Prema preporukama ISRM-a veličina bloka može se izraziti pomoću indeksa veličine bloka  $I_b$  i volumetrijskog broja pukotina  $J_v$ . Indeks veličine bloka  $I_b$  zapravo je uprosječena vrijednost dimenzija tipičnog bloka i određuje se vizualno tako da se odabere upravo nekoliko tipičnih blokova i izmjere njihove prosječne dimenzije, uz točnost od 10 % s obzirom na to da indeks veličine bloka može imati raspon od nekoliko milimetara do nekoliko metara. Kod mjerenja u sedimentnim stijenama bitno je napomenuti kako slojna ploha i dva međusobno okomita seta diskontinuiteta mogu tvoriti kubične ili prizmatične blokove u kojima se  $I_b$  računa prema formuli:

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \quad (2-5)$$

gdje je:

$I_b$ - indeks veličine bloka

$S_1, S_2, S_3$  -prosječne vrijednosti razmaka diskontinuiteta.



Volumetrijski broj pukotina  $J_v$  predstavlja ukupni broj pukotina sadržan u jednom kubičnom metru. Broj pukotina svakog seta broji se okomito na relevantni set uz interval uzorkovanja između pet i deset metara (ISRM, 1978).  $J_v$  se računa prema formuli:

$$J_v = \sum \left( \frac{n_n}{l_n} \right) \quad (2-6)$$

u kojoj je:

$n_n$  - broj pukotina

$l_n$  - duljina linije mjerenja (pet do deset metara).

Opis veličine bloka prema ISRM preporukama (1978) prikazan je u Tablici 2-9:

Tablica 2-9 Opis veličine bloka (ISRM, 1978).

Opis	$J_v$ (pukotina/m <sup>3</sup> )
vrlo veliki blokovi	<1
veliki blokovi	1 – 3
srednje veliki blokovi	3 – 10
mali blokovi	10 – 30
vrlo mali blokovi	>30

Osim veličine bloka potrebno je obratiti pozornost i na sami oblik bloka koji je uglavnom određen brojem skupova, orijentacijom i razmakom diskontinuiteta. S obzirom i na oblik i veličinu stijenskog bloka prema ISRM preporukama stijenska masa može biti kvantitativno opisana (Tablica 2-10).

Tablica 2-10 Kvantitativni opis stijenske mase na temelju veličine i oblika bloka (ISRM, 1978).

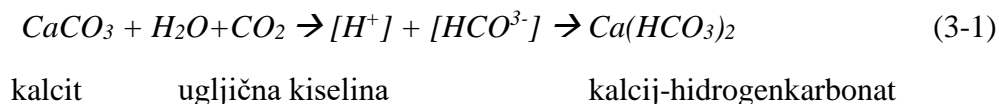
Kategorija	Karakteristika	Opis
I	masivna	Malo pukotina s vrlo širokim razmakom.
II	blokovita	Približno ekvidimenzionalni.
III	pločasta	Jedna dimenzija značajno manja od druge dvije.
IV	stupičasta	Jedna dimenzija značajno veća od druge dvije.
V	nepravilna	Velika varijacija veličina i oblika blokova.
VI	zdrobljena	Jako raspucala.

### 3. DIJAGENEZA VAPNENACA I PROCES OKRŠAVANJA

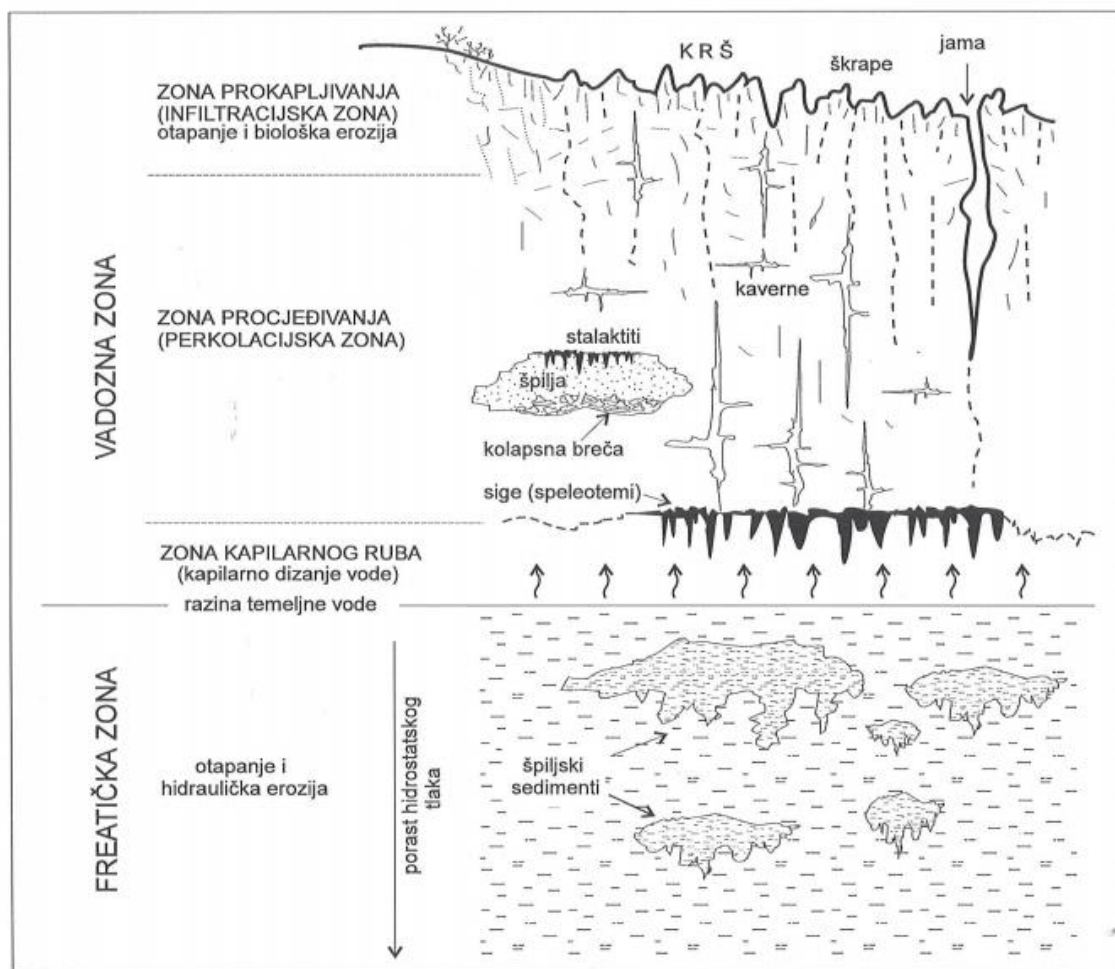
Dijageneza podrazumijeva sve mehaničke i kemijske procese koji se zbivaju u sedimentu od početka njegova taloženja sve do početka preobrazbe ili metamorfoze sedimentnih stijena u metamorfne (Tišljarić, 2001). Prilikom istraživanja dijagenetskih procesa potrebno je razlikovati četiri dijagenetska područja ili zone: marinsko područje, meteorsko područje, područje miješane meteorske i morske vode te potpovršinsko područje ili zonu u većoj dubini prekrivanja (*engl. burial diageneses*). Meteorsko dijagenetsko područje obuhvaća dvije zone, vadoznu zonu i freatičku zonu u kojima vladaju različiti uvjeti. Razlika u dijagenetskim procesima u spomenutim zonama iznimno je velika. Proces u meteorskoj freatičkoj zoni odvijaju se ispod razine vode temeljnice, a procesi u vadoznoj zoni odvijaju se iznad stalne razine vode temeljnice. Meteorska voda u freatičkoj je zoni podzasićena, odnosno djeluje kao blaga ugljična kiselina što uzrokuje otapanje određenih strukturnih komponenata, posebno aragonitnih. Klima je jedan od čimbenika koji regulira dijagenezu u meteorskoj zoni jer upravo o njoj ovisi frekvencija cirkulacije meteorske vode kroz taloge, stupanj otapanja karbonata i izlučivanja  $\text{CaCO}_3$ . Drugim riječima, o klimi kao čimbeniku ovise i cementacija i okršavanje. U područjima vlažnih klima okršavanje dostiže svoj maksimum, tj. postanak zrelog krša. Dubina do koje dosežu dijagenetski procesi kao i sami proces okršavanja i stvaranja krša uvjetovana je oscilacijama morskih razina. Dubine mogu iznositi više stotina metara u slučaju dugotrajno niske morske razine

#### 3.1. Proces nastanka krša – okršavanje

Procese kemijskog trošenja vapnenaca i dolomita pod utjecajem vode koja djeluje kao slaba ugljična kiselina zovemo okršavanje (*engl. karstification*), a karbonatne stijene zahvaćene tim procesima krš (*engl. karst*) (Tišljarić, 2001). Također, krš je naziv za skup morfoloških, hidroloških i hidrogeoloških značajki terena pretežito izgrađenih od karbonatnih stijena, vapnenaca i dolomita (Bačani, 2006). Minerali koji izgrađuju karbonatne stijene stabilni su samo dok je meteorska voda u ravnoteži s atmosferskim  $\text{CO}_2$ . Porastom parcijalnog tlaka  $\text{CO}_2$  u zraku raste i njegova koncentracija u vodi.  $\text{CO}_2$  u reakciji s vodom tvori slabu ugljičnu kiselinu i otapa, primjerice kalcit koji se vrlo lako i brzo kemijski razgrađuje i prelazi u otopljeni kalcij-hidrogenkarbonat što prikazuje kemijska reakcija:



Otapanje karbonatnih minerala, tj. trošenje vapnenaca, dolomita i vapnenačkih taloga najintenzivnije je na površini Zemlje unutar vadozne i freatičke podzemne zone gdje je meteorska i/ili oborinska voda slabo kisela, odnosno pH vrijednosti  $<7$ . Cirkulacija vode kroz krš događa se u tektonski razlomljenim stijenama, u kojima voda prilikom cirkulacije otapa stijene i stvara karakteristične morfološke oblike: škrape, vrtače ili ponikve, uvale ili suhe doline, krška polja, jame i špilje. Sveukupno krški tereni zauzimaju oko 46 % površine Hrvatske (Bačani, 2006). U uvjetima razmjerno vlažne, humidne klime okršavanje je intenzivnije jer ona osigurava dovoljno slatke vode u freatičkoj i vadoznoj zoni (Slika 3-1). Proces okršavanja često je intenzivniji u razdrobljenim tektonskim zonama zbog lakšeg prodiranja, procjeđivanja, odnosno protjecanja vode kroz razdrobljene dijelove karbonata. Prilikom tih procesa, kao posljedica otapanja karbonatnih minerala, u stijenama nastaje sekundarna odnosno šupljinska (*engl. vuggy*) poroznost.



Slika 3-1 Idealizirani prikaz procesa okršavanja i stvaranja zrelog krša uslijed dugotrajnog izlaganja vapnenačkih stijena djelovanju meteorskih voda (preuzeto iz Tišljar, 2001).

## **4. PRIMJER ODREĐIVANJA ZNAČAJKI DISKONTINITETA U MASIVNIM VAPNENCIMA**

### 4.1. Opis lokacije

Terenska mjerenja u svrhu određivanja geometrijskih značajki karakterističnih diskontinuiteta stijenske mase provedena su na eksploatacijskom polju Kanfanar-jug. Polje se nalazi u središtu Istarskog poluotoka u sklopu općine Kanfanar, dvadesetak kilometara od grada Pazina gdje se nalazi pilana i prerađivački pogon (Slika 4-1). Unutar eksploatacijskog polja nalazi se više površinskih i podzemnih kopova u kojima se otkopava arhitektonsko-građevni kamen poznati pod tržišnim nazivom Istarski žuti. Eksploatacijsko polje ukupne je površine oko 71,6 ha. Kamenolom je smješten nekoliko stotina metara od čvorišta Istarskog ipsilona što omogućuje brzu i kvalitetnu prometnu povezanost u svim pravcima. Primarna eksploatacija odvija se na proizvodnji kamenih blokova i u vlasništvu je tvrtke Kamen d.d. Pazin koja se bavi eksploatacijom, preradom i primjenom arhitektonsko-građevnog kamena.

#### 4.1.1. Geografske i klimatske značajke terena

Eksploatacijsko polje Kanfanar-jug nalazi se u središtu južnog dijela poluotoka, sa zapadne strane udaljeno je oko 13 kilometara od morske obale, a s južne oko 30 kilometara. Sa sjeverne strane na udaljenosti oko 30 kilometara nalazi se savudrijski greben koji štiti kamenolom od sjevernih utjecaja, a s istočne strane planina Učka koja štiti od sjeveroistočnih pritoka hladnog zraka. Položaj istarskog poluotoka, blizina mora te niske nadmorske visine (+220 m) utječu na klimu. Ljeta su iznimno suha i topla, a zime su relativno blage i vlažne, bez snijega. Područje kamenoloma ima karakterističnu mediteransku klimu. Vjetrovi su u pravilu rijetki i nemaju značajan utjecaj na tijek proizvodnje u kamenolomu. Upravo zbog blagih zima i izostanka snijega eksploatacija je moguća tijekom cijele godine.



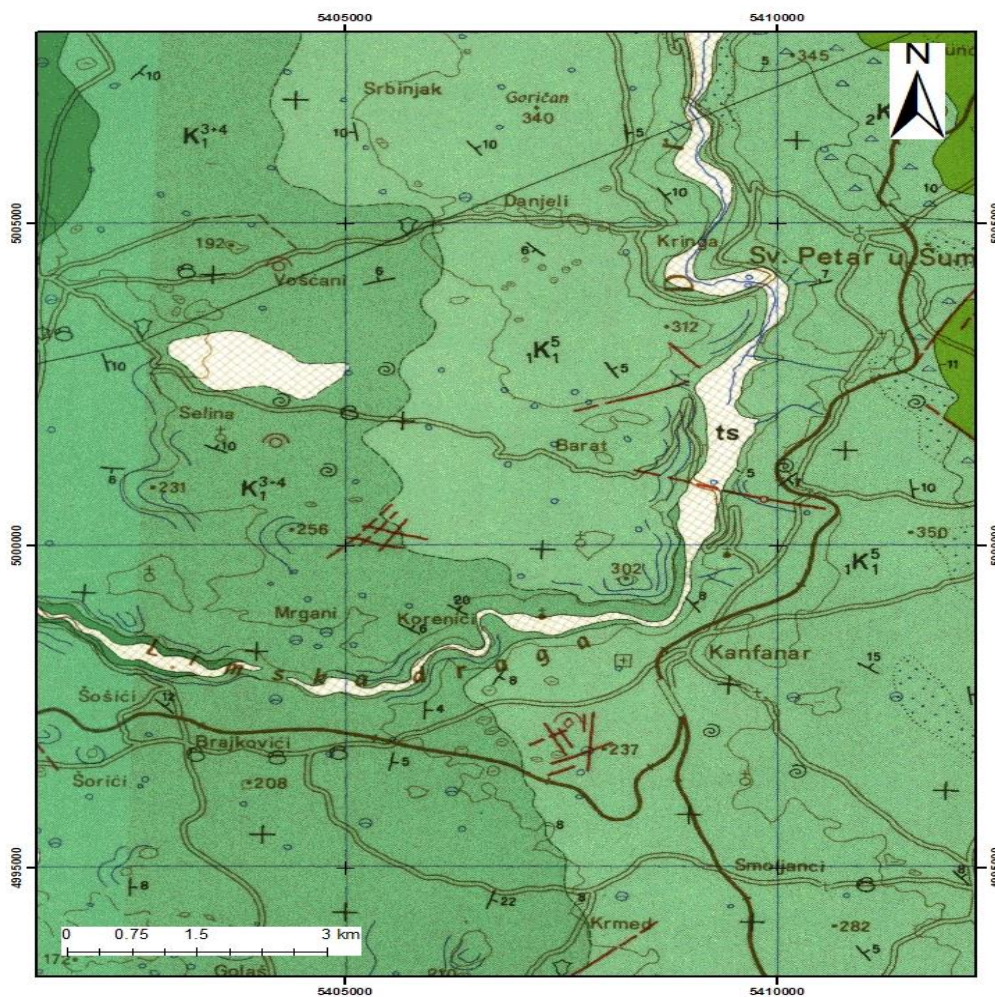
Slika 4-1 Geografski položaj eksploatacijskog polja Kanfanar-jug (preuzeto s <https://www.google.com/maps>).




#### 4.1.2. Geološke značajke terena

Geološka građa Istre detaljno je istražena te se ona generalno može podijeliti u tri područja (Vrkljan i dr., 2007):

1. jursko-kredno-paleogenski karbonatni ravnjak južne i zapadne Istre
2. kredno-paleogenski-karbonatno-klastični pojas s ljuskavom građom u sjeveroistočnoj i istočnoj Istri
3. paleogenski flišni bazen sjeverozapadne i središnje Istre.

Također, prema današnjim geološkim interpretacijama Istra bi pripadala sjeverozapadnom dijelu Jadranske karbonatne platforme (Velić i dr., 2002; Vlahović i dr., 2005). Izgrađena je od karbonatnih i klastičnih naslaga stratigrafskog raspona srednja jura-paleogen (bat-eocen) te od paleogenskih klastičnih naslaga – fliša i kvartarnih taložina (Slika 4-2). Eksploatacijsko polje Kanfanar-jug pretežno je izgrađeno krednim naslagama na koje se na zapadu nastavljaju jurske naslage sve do morske obale, a istočno se na njih nastavljaju mlađe naslage (Cotman, 2006).

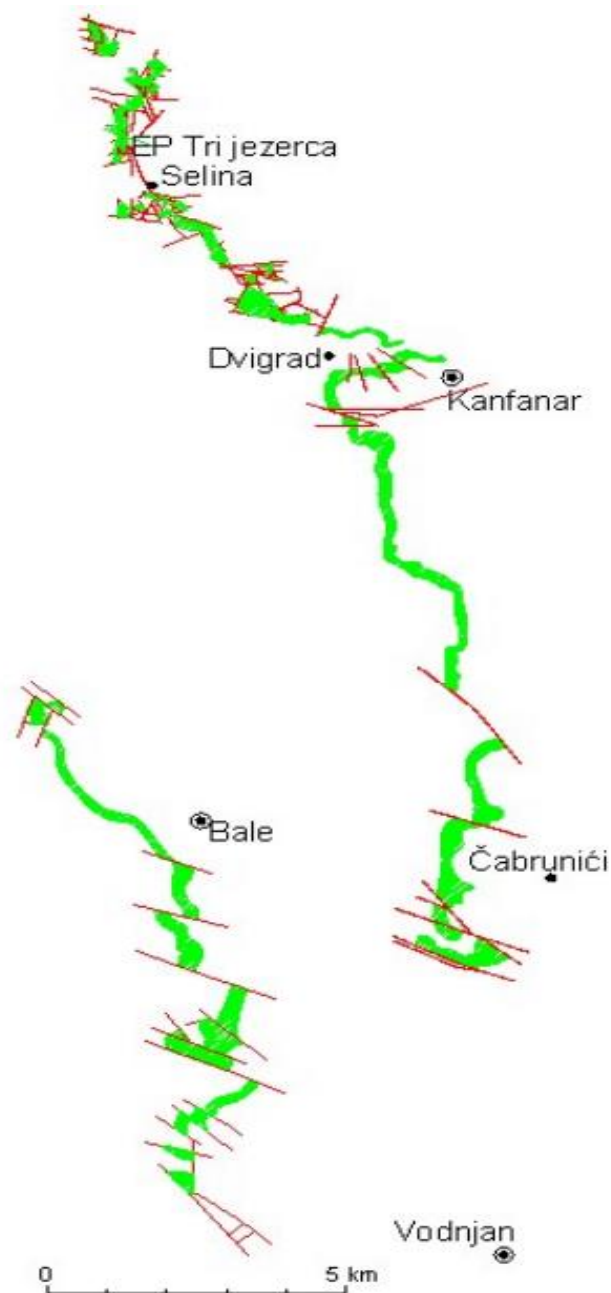


- |   |   |
|---|---|
|  | <p>a) Debelo - uslojeni i dijelom masivni grebenski rudistni vapnenac</p> <p>b) Pločasti vapnenac s proslojcima rožnaca</p>                                   |
|  | <p>a) Tanko uslojeni i pločasti vapnenac s ulošcima dolomita, kalkarenita, kalcirudita i glinca</p> <p>b) Područje s izdancima kremenog pijeska (saldame)</p> |
|  | <p>Tanko uslojeni i pločasti, manjim dijelom bankoviti vapnenac s ulošcima dolomita, kalkarenita, kalcirudita i glinca</p>                                    |

Slika 4-2 Isječak iz pripadajuće OGK i odgovarajuća legenda, list Rovinj (Polšak i Šikić, 1963).

Eksploatacijski slojevi kamenoloma Kanfanar stratigrafski pripadaju naslagama donjeg apta (donja kreda). Naslage su predstavljene deblje uslojenim vapnencima žućkaste boje koje predstavljaju vrlo cijenjen izvor sirovine u industriji arhitektonsko-građevnog kamena (Cotman, 2006). Naslage Istarskog žutog otkrivene su u uskoj zoni koja je ispresijecana

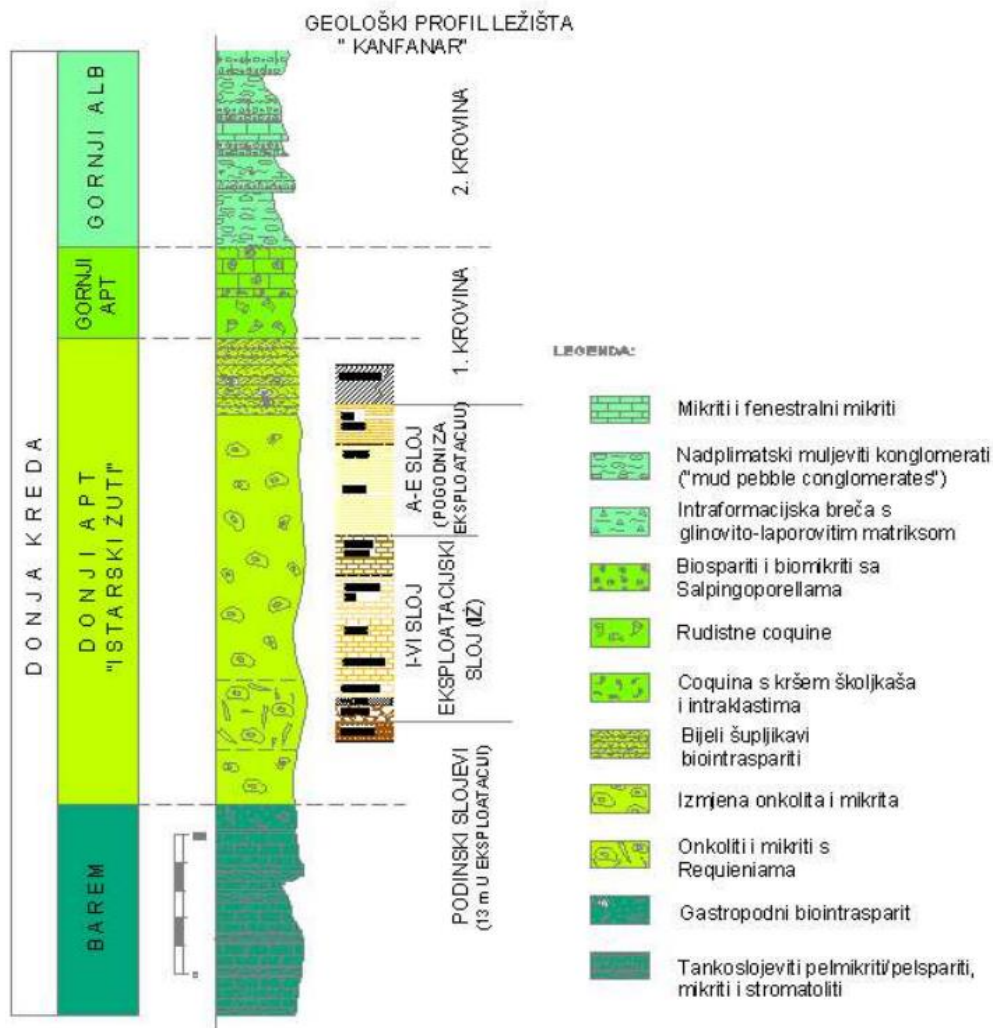
poprečnim rasjedima i proteže se od sela Heraki i Gajane, preko Voštena, Seline, Korenića i Kanfanara. S druge strane, zona je pomaknuta i proteže se na jugoistok između Čubana i Bala (Slika 4-3).



Slika 4-3 Prostiranje vapnenca Istarskog žutog (Velić i dr., 1984).

Ležište je izgrađeno od vapnenačkih naslaga podine Istarskog žutog, zatim slojeva Istarskog žutog te vapnenačkih naslaga prve i druge krovine (Velić i dr., 1984). U podinskim naslagama nalaze se vapnenci gornjeg barema unutar kojeg se nalaze izmjene pelsparita, biopelsparita i intrasparita. Neposredno iznad Istarskog žutog vapnenca nalazi se deblji sloj

biointrasparita u kojima se često pojavljuju stromatolitne lamine. Zatim, u eksploatacijskim slojevima, koji stratigrafski pripadaju naslagama donjeg apta, nalaze se slojevi masivnog onkolitnog vapnenca, determinirani kao organogeni vapnenci ili biosparmikriti. Oni su nastali plitkovodnom sedimentacijom, a procesom dijagenoze dolazi do njihove kompaktacije i djelomične stilolitizacije (Slika 4-4).



Slika 4-4 Geološki profil slojeva u eksploatacijskom polju Kanfanar-jug (Velić i dr., 1984).

Eksploatacijski slojevi podijeljeni su u sedam slojeva čija se debljina kreće između 6,7 i 6,8 metara (Cotman, 2005). Slojevi se označavaju rimskim brojevima I-VII, s tim da se zadnji sloj označava kao VI/VII (Cotman, 2006). Krovinski slojevi podijeljeni su na neposrednu, prvu krovinu i gornju odnosno drugu krovinu. Neposredna krovina debljine je do 9,5 m s tim da prvih 4,5 m čine kompaktni i homogeni vapnenci donjeg i gornjeg apta koji se odlikuju sličnim fizičko-mehaničkim značajkama kao eksploatacijski slojevi (Hrženjak i dr.,



2019). Na njima se nalaze naslage svijetlih brašnastih i poroznih vapnenaca koji su slabijih svojstava. Druga odnosno gornja krovina debljine je između 5 i 10 m, sastoji se od intraformacijskih breča koje sadrže laporovito-glinovitu komponentu i mikritne vapnence gornjoalbske starosti. Slojevi su iznimno raspucali i okršeni te prekriveni slojem zemlje crvenice. Ležište je blagog nagiba slojeva, s kutom upada do 3° (Hrženjak i dr., 2019).

#### 4.1.3. Hidrogeološke značajke terena

Hidrogeološki gledano šire područje Istre predstavlja karakterističan krški teren specifičnih morfoloških oblika. Prema hidrogeološkim karakteristikama na području južne i srednje Istre bitno se razlikuju tri grupe naslaga (Babić i dr., 1968):

1. naslage fliša
2. karbonatne naslage (podijeljene u tri podgrupe)
3. riječni nanos dolina rijeka Raše i Mirne.

Karbonatne naslage zastupljene su vapnencima, dolomitima, rjeđe vapnenačkim i dolomitnim brečama. U ovisnosti o litološkom sastavu, uslojenosti i strukturno-tektonskim položaju mogu se podijeliti u tri podgrupe:

1. dobro propusne naslage; sastoje se od dobro uslojenih do gromadastih vapnenaca
2. u cjelini slabije propusne naslage; pločasti do škriljavi vapnenci i vapnenci s proslojcima lapora ili dolomita
3. slabije propusne naslage; sastoje se od dolomita s ulošcima vapnenaca i pločastih do škriljavih vapnenaca s ulošcima dolomita (Babić i dr., 1968).

Poroznost ovih naslaga uglavnom je sekundarna-pukotinska i mijenja se od mjesta do mjesta u ovisnosti o intenzitetu razlomljenosti i razvijenosti krških fenomena. Ovisno o tome mijenja se i propusnost samih naslaga pa tako u najvećem stupnju okršenosti javljaju se i slobodni podzemni turbulentni tokovi (Babić i dr., 1968). Oborinska voda vrlo brzo ponire u podzemlje zbog velikog broja pukotina i šupljina te cirkulira duboko u podzemlje. Hidrokemijskim trošenjem na površini karbonatnih stijena zaostaju hidroksidi aluminija i željeza koji su netopivi i tvore zemlju crvenicu, poznatu pod nazivom *terra rosa*. U sklopu eksploatacijskog polja Kanfanar-jug također nema stalnih ni povremenih vodotoka, potoka ili vododerina što predstavlja hidrogeološki povoljne uvjete za eksploataciju. Ležište se

odlikuje tipičnim krškim obilježjima kao što su raspucalost i pojave krških morfoloških oblika poput ponikava. U podinskim i krovinskim naslagama slojevi su slabo raspucani pa samim time i slabije podložni trošenju i okršavanju. U neposrednoj krovini se nalaze transgresivne gline i glinovito-laporoviti materijal s tankim proslojcima vapnenaca, što s hidrogeološkog stajališta određuje ove naslage nepropusnima (Cotman, 2005). Voda djeluje po dužini mikrotektonskih diskontinuiteta pri čemu se gubi u podzemlje, što je također karakteristika okršenih terena. Voda u podzemlju cirkulira kroz postojeće pukotinske sustave te njezino intenzivno cirkuliranje može imati i erozijski učinak, odnosno pukotine se mogu proširiti te kanalizirati sve veću količinu vode.

#### 4.1.4. Inženjersko-geološke karakteristike ležišta

Inženjersko-geološke karakteristike ležišta, odnosno njihov opis istodobno se odnosi na:

1. stanje u ležištu i njihov utjecaj na način eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena
2. stijenu kao sirovinu (arhitektonsko-građevni kamen), ali u odnosu na mineraloško-petrografske, fizičke i tehnološke značajke.

Tektonski pokreti, kao i položaji slojeva, rasjeda i pukotinskih sustava imaju najznačajniji utjecaj na način eksploatacije AG kamena. Ležište Kanfanar-jug karakteriziraju slojeviti vapnenci različitih debljina kvazihorizontalnog zalijeganja, čiji kut pada iznosi do  $3^\circ$  u smjeru istoka (Hrženjak i dr., 2019). Ležište ima dva karakteristična pukotinska sustava. Prvi pukotinski sustav pruža se u pravcu sjeverozapad-jugoistok, a drugi u pravcu sjeveroistok-jugozapad. Pukotine su pretežno vertikalne, tj. subvertikalne sa znatno većim varijacijama u pružanju tako da pukotinski sustavi međusobno zatvaraju kutove između  $60^\circ$  i  $120^\circ$  (Hrženjak i dr., 2019). Mreža diskontinuiteta, odnosno pukotina dijeli ležište u jako velike blokove komercijalne vrijednosti. Pukotine su međusobno udaljene i do 10 metara, postojanost samih ploha uglavnom je veća i od 30 metara te na taj način pukotine u kontinuitetu presijecaju i eksploatacijske naslage te naslage krovine i podine. Površinski gledano stijenska masa je istrošena, okršena i mjestimično limonitizirana. Pukotine veće širine, tj. kanalizirane mogu biti ispunjene kršjem i zemljom crvenicom, stoga se nerijetko pri površini otvaraju i šira udubljenja. Pukotine su uglavnom vrlo nepravilne, promatrane u velikom mjerilu su valovite, a u malom su mjerilu izrazito hrapave. Terenska mjerenja i

obrada podataka u svrhu određivanja koeficijenta hrapavosti upravo su provedena na trima karakterističnim pukotinskim sustavima.

#### 4.1.5. Tektonske i strukturne značajke ležišta

U tektonskom smislu eksploatacijsko polje Kanfanar-jug i njegovo šire područje pripada istočnom krilu zapadnoistarske brahiantiklinale (Cotman, 2005). Zapadnoistarska brahiantiklinala jurske je starosti i predstavlja autohtoni dio terena, a prema sjevernom i sjeveroistočnom dijelu poluotoka pružaju se prijelazne strukture. Tektonika zapadne i srednje Istre vrlo je slabo izražena, odnosno pripada u tektonski mirna područja. Šire područje Istre bilo je u geološkoj prošlosti podvrgnuto djelovanju rasjeda gdje su se pojedini blokovi pomicali u smjeru istok-zapad. Zbog djelovanja ovakve tektonike dolazi do intenzivnijih procesa okršavanja i nastanka krškog terena. Područje oko ležišta poremećeno je uzdužnim i poprečnim rasjedima, a u samom ležištu nema većih rasjeda. Na mikrotektoniku ležišta također se odražava generalno pružanje Dinarida u smjeru sjeverozapad-jugoistok. Zbog pokrivenosti okolnog terena raspucanost stijenske mase nije dovoljno vidljiva, osim u dnu kamenoloma gdje je vidljiv intenzitet raspucanosti kao posljedica tektonskih pokreta, prvenstveno boranja i rasjedanja šireg područja (Cotman, 2005). Značajniji rasjedi unutar ležišta nisu prisutni, a pukotine su najuočljivije u podzemnim dijelovima kopa (Slika 4-5). Parametri pukotina karakteristični su za pojedini dio ležišta, a pukotinski se sistem maksimalno upotrebljava prilikom eksploatacije na način da se postojeće pukotine upotrebljavaju kao jedna stranica bloka (Cotman, 2006).



Slika 4-5 Pukotine u podzemnom koku.

## 5. TERENSKA MJERENJA I OBRADA PRIKUPLJENIH PODATAKA

### 5.1. Pregled terenskih mjerenja

Terenska mjerenja u svrhu izrade ovoga rada provedena su u drugoj polovici srpnja 2020. godine na eksploatacijskom polju Kanfanar-jug nedaleko od Pazina. Terenska mjerenja uključivala su određivanja lokacija mjerenja u površinskom i podzemnom dijelu eksploatacijskog polja. U sklopu mjerenja određivane su orijentacije pojedinih diskontinuiteta te su direktno iscrtavani profili hrapavosti duljine 10 centimetara. Mjerenja su provedena na dvije lokacije (Prilog 1) i uključivala su mjerenja na slojnoj plohi, primarnom pukotinskom sustavu te na sekundarnom pukotinskom sustavu (naznačeni kraticama PS-1/20 i PS-2/20) čije su koordinate naznačene u Tablici 5-1 i prikazane Slikama 5-1 i 5-2.



Slika 5-1 Lokacija uzorkovanja PS-1/20.



Slika 5-2 Lokacija uzorkovanja PS-2/20.

Tablica 5-1 Geoprostorne koordinata terenskog mjerenja (HTRS96 sustav).

Oznaka lokacije uzorkovanja	Ex (m)	Ny (m)	Hz (m)
PS-1/20	289300	5000582	212,1
PS-2/20	289709	4999760	208,6

Kako je već ranije spomenuto, procesom okršavanja dolazi do nastanka vrlo nepravilnih i hrapavih ploha koje karakteriziraju ovo ležište. U strukturnom smislu unutar ležišta izdvojena su dva glavna pukotinska sustava, na kojima su provedena terenska mjerenja. Primarni pukotinski sustav s pravcima pružanja sjeverozapad-jugoistok te sekundarni pukotinski sustav pružanja sjeveroistok-jugozapad. Pukotinski sustavi međusobno zatvaraju kutove od 60° do 120°. Razmaci među pukotinama vrlo su veliki što upravo omogućuje vađenje, tj. eksploataciju u blokovima tržišne vrijednosti. Kako bi se uspješno procijenile mehaničke značajke diskontinuiteta, potrebno je prvo odrediti najvažnije značajke karakterističnih diskontinuiteta. Određivanje spomenutih značajki provedeno je prema

preporučenim metodama Međunarodnog društva za mehaniku stijena (*Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, 1978*). Prilikom obrade podataka terenskih mjerenja bili su dostupni svi podatci objavljeni u ranijim elaboratima te znanstvenim člancima vezanim za ležište te su preuzeti u svrhu potpunije obrade podataka. Zbog složenosti i problematike koja se pojavljuje prilikom određivanja značajki diskontinuiteta u kršu, podatci o pojedinim značajkama preuzeti su iz prethodnih istraživanja (Hrženjak i dr., 2019). Osim orijentacije i hrapavosti, koje su detaljno obrađene, važno je navesti i opisati još neke značajke karakterističnih diskontinuiteta. U ležištima poput ovoga, gdje se kamen vadi u blokovima, potrebno je kontinuirano bilježiti diskontinuitete, njihove prosječne položaje, a posebno zbog tehnike vađenja kamena u komercijalnim blokovima i varijacije pukotina po pružanju. Postojanost ploha diskontinuiteta u ležištu teško je mjerljiva po padu s obzirom na to da pukotine u kontinuitetu presijecaju sve eksploatacijske naslage te naslage neposredne podine i krovine. Razmaci između pukotina također su veliki. Kod prvog pukotinskog sustava, pravca pružanja SZ-JI, vrijednosti zijeva kreću se u dva raspona. U prvom slučaju između približno 3 i 10 mm, a u drugom između 15 i 50 mm. Kod drugog pukotinskog sustava, pravca pružanja SI-JZ, veličina zijeva je izmjerena u rasponu između 5 i 15 mm. Takav raspon odgovarao bi umjereno širokom do vrlo širokom zijevu. U slučaju oba pukotinska sustava materijal ispune je isti. Utvrđeno je kako materijal ispune nejednoliko popunjava otvoreni prostor između stijenki diskontinuiteta na način da se ili pojavljuje u punoj debljini ili ga uopće nema. Značajke materijala ispune prikazane su Tablicom 5-2. Materijal ispune klasificiran je kao glina visoke plastičnosti (CH) koja sadrži kršje. U pojedinim dijelovima ležišta nalaze se mjesta s povećanom vlažnošću materijala ispune te mjesta gdje se pojavljuje i procjeđivanje.

Tablica 5-2 Značajke materijala ispune (Hrženjak i dr., 2019).

Značajke materijala	Vrijednost
Gustoća čvrstih čestica ( $\text{g/cm}^3$ )	2,65
Prirodna vlažnost $W_0$ (%)	3,96
Granica stezanja $W_S$ (%)	18
Granica plastičnosti $W_P$ (%)	29
Granica tečenja $W_L$ (%)	70
Indeks plastičnosti $I_p$ (%)	41
Udio karbonata $\text{CaCO}_3$	21

Vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće intaktnog stijenskog materijala u ležištu imaju velike varijacije u eksploatacijskim slojevima, ali i u slojevima neposredne krovine (Hrženjak i dr., 2014). Vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće eksploatacijskih slojeva kreću se u rasponu od 89,69 MPa do 165,34 MPa. Vrijednosti su u donjem dijelu neposredne krovine između 89,92 MPa i 146,67 MPa, a u gornjem dijelu neposredne krovine između 70,98 MPa i 83,10 MPa. Tlačna čvrstoća stijenci diskontinuiteta određena je pomoću Schmidtova čekića na intaktnom materijalu i na samoj stijenci, u istoj razini sloja čija je jednoosna tlačna čvrstoća iznosila 159,72 MPa. Kod oba pukotinska sustava omjeri Schmidtove tvrdoće ( $R/r$ ), gdje  $R$  predstavlja vrijednost tvrdoće na intaktnom materijalu, a  $r$  na stijenci iznosili su 61/59. S obzirom na to da taj omjer predstavlja stupanj trošenja ili aliteracije (Barton i Choubey, 1977) u iznosu od 1,03, riječ je o svježim stijenrama diskontinuiteta.

## 5.2. Terenska mjerenja i obrada podataka o orijentacijama diskontinuiteta

Podatci o orijentacijama diskontinuiteta prikupljeni su standardnim metodama, odnosno geološkim kompasom kojim se mjeri azimut horizontalne projekcije vektora pada  $\alpha$  i kut pada ravnine  $\beta$ . Orijetacije diskontinuiteta sistematski su mjerene na terenu i uključivale su mjerenja na slojnoj plohi, primarnom i sekundarnom pukotinskom sustavu. Na svakoj lokaciji mjerenja na plohama nacrtani su profili duljine jednog metra pod kutom od  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  te  $135^\circ$  kako bi se izbjegla orijentacijska pristranost tijekom mjerenja. Orijetacije su mjerene svakih 10 centimetara pomoću kružne ploče kako bi se smanjila pogreška prilikom mjerenja orijentacija (Slika 5-3). Osnovni cilj ovakvog sistematskog načina mjerenja orijentacija bio je utvrđivanje prosječne vrijednosti, ali i utvrđivanje varijacije u mjerenim vrijednostima gledano u različitim smjerovima na plohama.





Slika 5-3 Primjer mjerenja orijentacije pomoću kružne ploče.

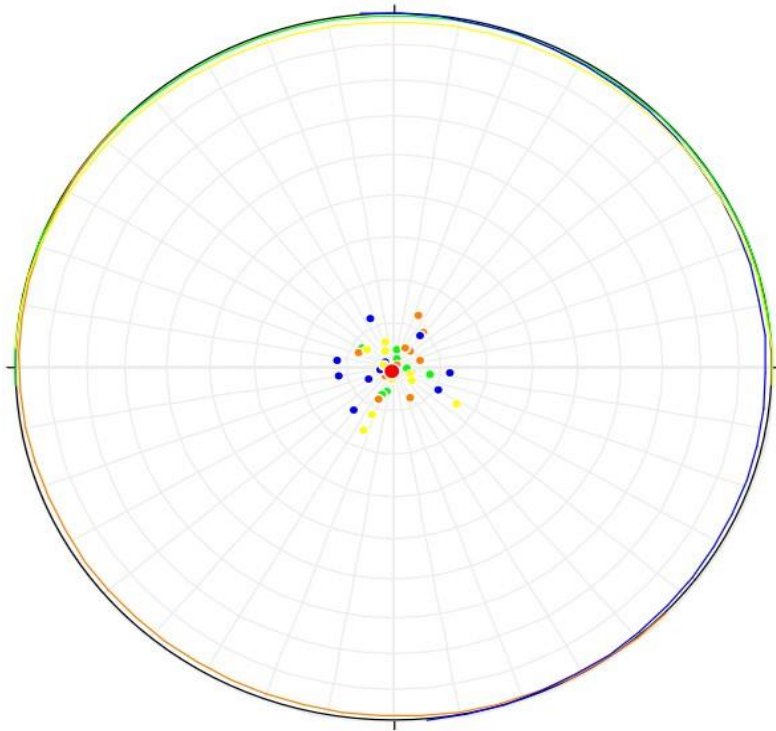
## Slojna ploha

Tablicom 5-3 prikazane su orijentacije izmjerene na slojnoj plohi prosječne orijentacije 12/1.

Tablica 5-3 Izmjerene orijentacije na slojnoj plohi.

Relativni kut Mjerenja	Prosječne orijentacije po kutu mjerenja	Mjerene orijentacije	Relativni kut mjerenja	Prosječne orijentacije po kutu mjerenja	Mjerene orijentacije
0°	357/1	290/4	90°	85/2	96/12
		122/8			155/12
		202/2			60/6
		282/8			40/13
		190/4			218/9
		103/2			80/12
		275/3			125/2
		20/8			75/3
		13/6			298/11
		21/7			276/12
45°	224/2	334/8	135°	3/3	302/16
		40/3			162/6
		24/8			22/12
		255/6			5/3
		204/13			102/2
		114/8			24/16
		223/5			298/4
		220/10			310/5
		210/5			125/7
		240/1			155/4

Na Slici 5-4 prikazan je strukturni dijagram za slojnu plohu na kojem su različitim bojama prikazane orijentacije koje pripadaju pojedinom profilu mjerenja.



prosječna orijentacija sloja 12/1

P-0 357/1    P-90 85/2

P-45 224/2    P-135 3/3

Slika 5-4 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija po kutu mjerenja i pripadajućih polova za slojnu plohu.

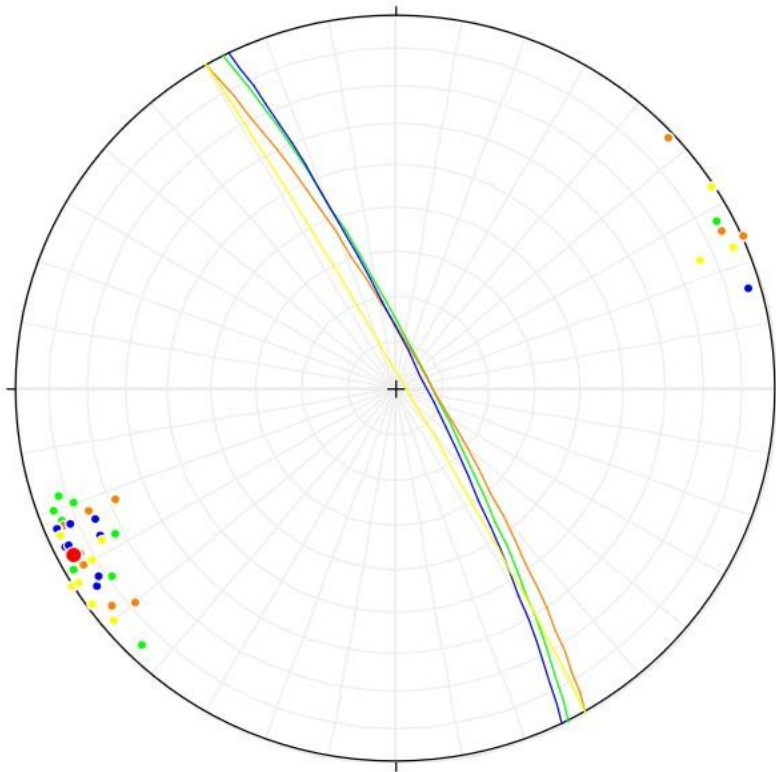
### Primarni pukotinski sustav

Tablicom 5-4 prikazane su orijentacije izmjerene na primarnom pukotinskom sustavu prosječne orijentacije 62/85.

Tablica 5-4 Izmjerene orijentacije na primarnom pukotinskom sustavu.

Relativni kut Mjerenja	Prosječne orijentacije po kutu mjerenja	Mjerene orijentacije	Relativni kut mjerenja	Prosječne orijentacije po kutu mjerenja	Mjerene orijentacije
0°	63/83	242/85	90°	64/84	66/75
		60/87			67/82
		72/82			67/86
		70/85			58/88
		61/84			56/84
		44/85			64/86
		68/84			254/86
		56/79			64/85
		62/72			63/76
		70/79			57/82
45°	60/83	68/68	135°	60/88	58/90
		68/76			247/76
		67/84			66/86
		52/84			237/89
		62/83			50/86
		50/78			54/88
		60/84			247/86
		244/85			58/88
		246/90			60/81
		227/88			62/76

Strukturnim dijagramom (Slika 5-5) prikazane su orijentacije primarnog pukotinskog sustava po profilima mjerenja.



prosječna orijentacija primarnog pukotinskog sustava 62/85

P-0 63/83

P-90 64/84

P-45 60/83

P-135 60/88

Slika 5-5 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija po kutu mjerenja i pripadajućih polova za primarni pukotinski sustav.

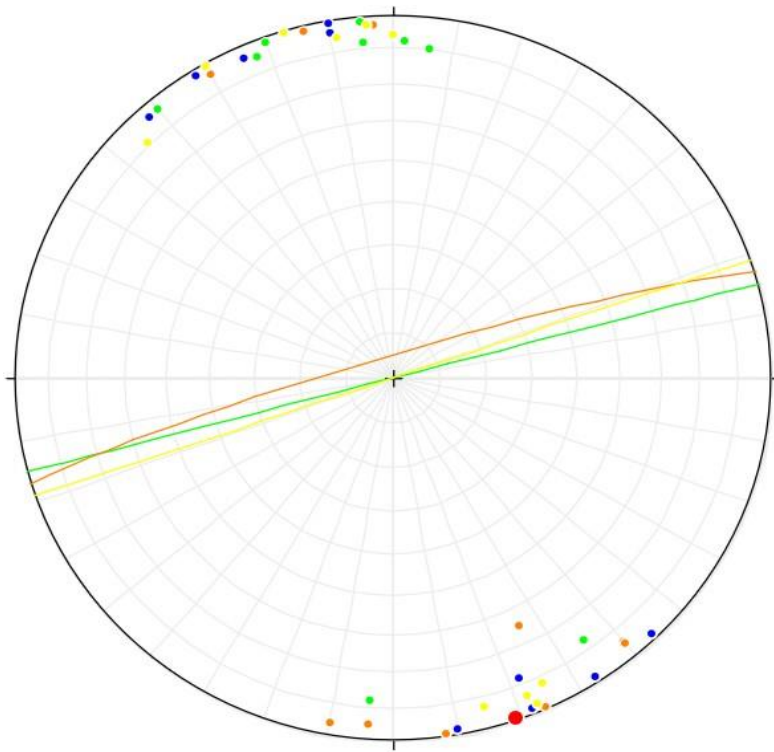
### Sekundarni pukotinski sustav

Tablicom 5-5 prikazane su orijentacije izmjerene na sekundarnom pukotinskom sustavu prosječne orijentacije 341/89.

Tablica 5-5 Izmjerene orijentacije na sekundarnom pukotinskom sustavu.

Relativni kut Mjerenja	Prosječne orijentacije po kutu mjerenja	Mjerene orijentacije	Relativni kut mjerenja	Prosječne orijentacije po kutu mjerenja	Mjerene orijentacije
0°	165/90	175/88	90°	335/89	170/86
		4/78			170/89
		140/86			350/88
		325/77			148/88
		327/78			327/88
		175/82			156/86
		186/80			338/88
		182/82			338/78
		158/85			316/88
		160/88			138/86
45°	343/85	166/88	135°	161/90	163/89
		336/89			176/87
		150/86			171/84
		320/84			180/84
		320/85			345/83
		352/89			337/87
		4/85			335/82
		10/86			135/81
		177/87			150/89
		334/65			338/84

Na Slici 5-6 prikazan je strukturni dijagram sekundarnog pukotinskog sustava na kojem su različitim bojama prikazane orijentacije pojedinih profila mjerenja.



prosječna orijentacija sekundarnog  
pukotinskog sustava 341/89

P-0 165/90

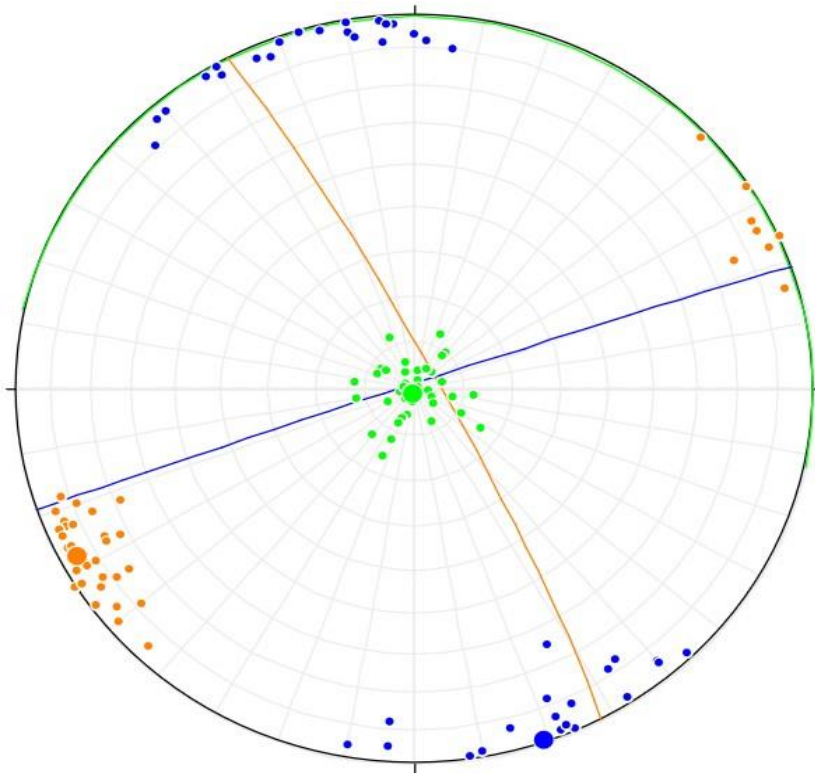
P-90 335/89

P-45 343/85

P-135 161/90

Slika 5-6 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija po kutu mjerenja i pripadajućih polova za sekundarni pukotinski sustav.

Izmjereni podatci prikazani su pomoću računalnog programa Stereonet 10.4.6 u kojem su izmjerene orijentacije prikazane tragovima ravnina, odnosno polovima njihovih normala kako bi se veliki broj podataka mogao što preglednije prikazati. Tragovima ravnina prikazane su prosječne orijentacije mjerenih diskontinuiteta, a polovima normala sve izmjerene orijentacije (Slika 5-7).



prosječna orijentacija slojne plohe 12/1

prosječna orijentacija primarnog pukotinskog sustava 62/85

prosječna orijentacija sekundarnog pukotinskog sustava  
341/89

Slika 5-7 Strukturni dijagram prosječnih orijentacija i pripadajući polovi triju mjernih točaka.

Iz prikazanih strukturalnih dijagrama vidljivo je kako snimljeni diskontinuiteti, odnosno pukotine pripadaju dvama postojećim pukotinskim sustavima koji su već opisani u prethodnim istraživanjima. Primarni pukotinski sustav pruža se u smjeru sjeverozapad-jugoistok, a sekundarni pukotinski sustav u smjeru sjeveroistok-jugozapad. Riječ je uglavnom o vertikalnim do subvertikalnim pukotinama s kutom pada većinom u rasponu od  $80^\circ$  do  $90^\circ$ , a kod kuta pružanja pojavljuje se veći raspon. Iz navedenih dijagrama također se može zaključiti što se događa s mjerama rasipanja pojedinih diskontinuiteta, a u ovom je slučaju vidljivo kako je rasipanje puno veće po azimutu u odnosu na nagib. Najmanje rasipanje po azimutu vidljivo je na projekciji primarnog pukotinskog sustava (Slika 5-5), a najveće u slučaju slojne plohe (Slika 5-4). Vidljivo je kako pukotinski sustavi na ovaj način međusobno zatvaraju kutove od  $60^\circ$  do  $120^\circ$ .



### 5.3. Terenska mjerenja i obrada podataka hrapavosti

Prilikom određivanja hrapavosti mjerenja su provedena na relativno pravilnijim i dostupnim ploham diskontinuiteta koja su uključivala dva ranije spomenuta pukotinska sustava, primarni i sekundarni te slojnu plohu. Profili hrapavosti duljine 10 centimetara crtani su na terenu pomoću profilometra metodom linearnog profiliranja. Uključivali su više linija snimanja, odnosno već spomenute profile koji su se upotrebljavali prilikom mjerenja orijentacija (poglavlje 5.1. i 5.2). Na svakom od dvaju pukotinskih sustava te na slojnoj plohi mjereni su profili hrapavosti svakih 10 centimetara (Slika 5-8).



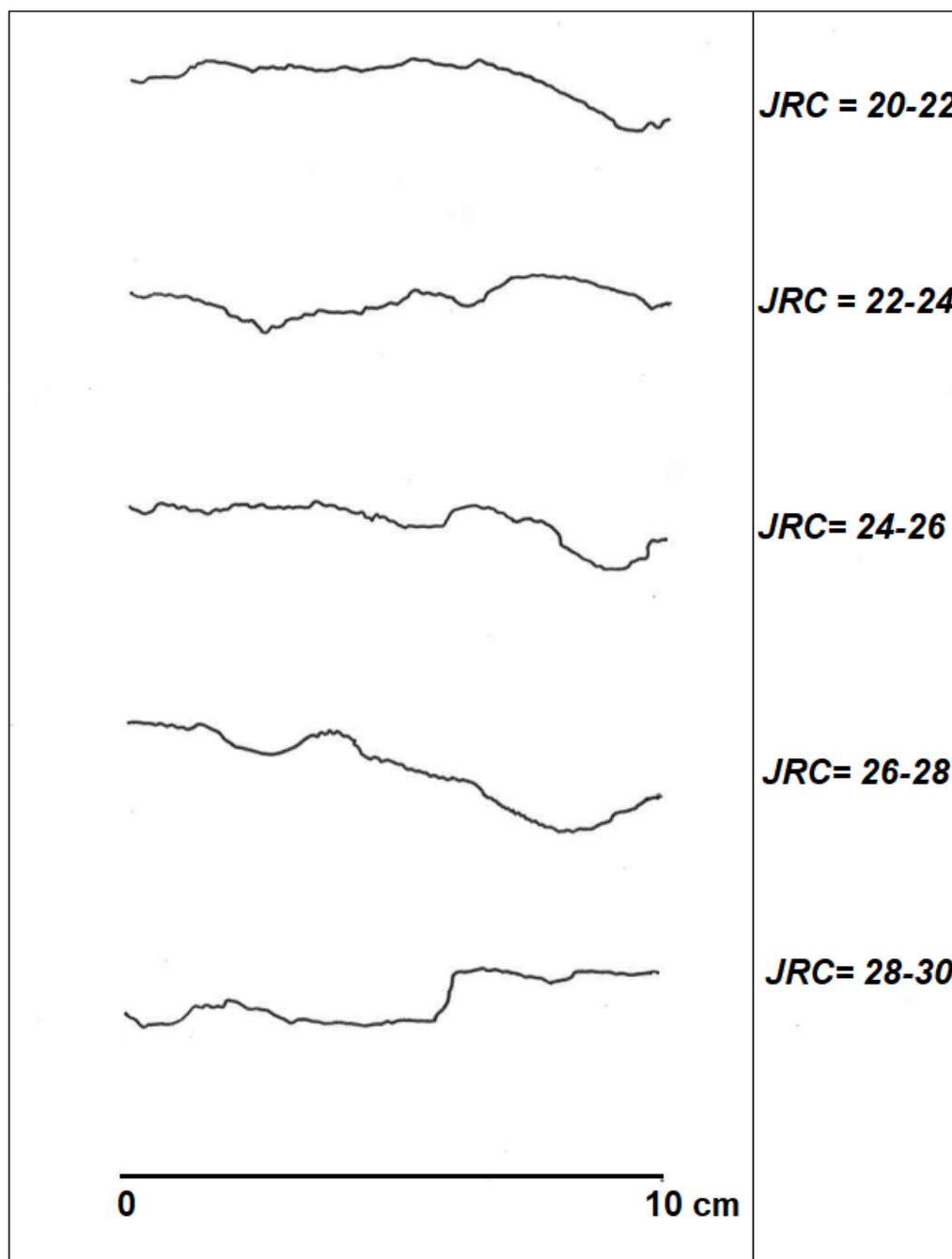
Slika 5-8 Mjerenje profila hrapavosti profilometrom.

Hrapavost je prvo opisana pomoću faktora hrapavosti  $J_r$ , odnosno na temelju faktora valovitosti  $j_w$  i faktora zaglađenosti  $j_s$  koji daju faktor hrapavosti. Zatim je izražena brojčanom vrijednosti, pomoću koeficijenta hrapavosti  $JRC_{10}$  koji se kreće u mogućem rasponu od 0 do 20. S obzirom na subjektivnost koja se pojavljuje prilikom određivanja  $JRC$ -a, jer ovisi o iskustvu, hrapavost je određena i pomoću terenskog dijagrama koji je predložio Barton (1982). U dijagramu se hrapavost određuje na temelju mjerenja amplituda hrapavosti u odnosu na duljinu mjerenja, što je opisano u ranijim poglavljima. Usporedbom s tipičnim profilima hrapavosti (Barton i Choubey, 1977) dobivene su vrijednosti koeficijenata hrapavosti u različitim rasponima (Prilozi 2-1 do 2-12). Međutim, od ukupno 120 iscertanih profila hrapavosti, na velikom broju profila očitane su neravnine koje su znatno veće od onih prikazanih na tipičnim profilima hrapavosti ili od neravnina koje su prikazane amplitudama hrapavosti na dijagramu za terensko određivanje koeficijenata hrapavosti. Drugim riječima, za velik broj profila nije se mogao odrediti koeficijent hrapavosti na temelju opisanih načina jer bi vrijednosti koeficijenta hrapavosti bile veće od 20 zbog stijenki diskontinuiteta koje su značajno hrapavije od standardnih mjera hrapavosti. Stoga je na temelju mjerenja bilo potrebno razraditi sustav koji bi se mogao primijeniti upravo za ovakva mjerenja. Takav sustav bi bio primjenjiv upravo za ovakva ležišta koja se odlikuju vrlo nepravilnim i hrapavim plohami s izraženim neravninama u velikom i malom mjerilu promatranja.

### 5.3.1. Razvoj profila hrapavosti raspona 20-30

Prilikom obrade podataka i određivanja koeficijenta hrapavosti kao najčešće korištene mjere za određivanje i opisivanje hrapavosti, javljao se najveći broj problema. Velik broj profila hrapavosti zbog svojih izrazitih neravnina nije se mogao dodijeliti nijednom rasponu vrijednosti koje su predložili Barton i Choubey (1977). Od ukupno 120 iscertanih profila hrapavosti više od 50 profila karakterizirale su izrazito velike neravnine, odnosno neuobičajene vrijednosti u odnosu na one koje su opisane do sada objavljenim preporučenim metodama. Bitno je napomenuti kako su takve nepravilnosti, odnosno neravnine stijenki diskontinuiteta upravo posljedica procesa okršavanja. Naime, procesom okršavanja dolazi do otapanja stijenki pojedinih, odnosno karakterističnih diskontinuiteta čime nastaju vrlo nepravilne i hrapave plohe s izraženim neravninama (Hrženjak i dr., 2019). Također, u

velikom broju objavljenih radova u kojima se izlaže problematika određivanja hrapavosti nisu u dovoljnoj mjeri, odnosno rijetko su spominjane značajke ovakvih diskontinuiteta, a općenito manji broj istraživanja odnosi se na karbonatne, posebno okršene stijene. Iz navedenih razloga, u svrhu preciznijeg određivanja JRC vrijednosti, korelacije s ostalim parametrima, predloženi su, odnosno dopunjeni tipični profili hrapavosti u 10-centimetarskoj duljini. Njihov raspon prema standardnim metodama kreće se između 0 i 20, a za potrebe ovoga rada dodatno su proširene u rasponu 20 – 30. Dopuna tipičnim profilima hrapavosti temelji se samo na mjerenjima koja su provedena u sklopu istraživanja za potrebe ovoga diplomskog rada te su također subjektivna, odnosno karakteristična samo za jedno ležište. Na temelju svih izrazito nepravilnih profila hrapavosti koji se nisu mogli svrstati u nijedan razred hrapavosti u rasponu 0 – 20 izabrano je pet karakterističnih profila kako bi se raspon nadopunio do vrijednosti 30. Takav pristup u određenoj mjeri olakšao je obradu i procjenu parametra hrapavosti jer na taj način nisu zanemareni izrazito nepravilni profili hrapavosti prilikom obrade podataka. Prošireni tipični profili hrapavosti 10-centimetarske duljine prikazani su Slikom 5-9.



Slika 5-9 Procjena koeficijenta hrapavosti pukotina  $JRC_{10}$  za raspon  $JRC_{10}$  od 20 do 30 dobivenih na temelju terenskih mjerenja.

S obzirom na to da su koeficijenti hrapavosti na terenu određivani usporedbom s tipičnim profilima hrapavosti koji su duljine 10 centimetara, za dobivanje realne vrijednosti koeficijenta hrapavosti potrebno je provesti korekciju u odnosu na duljinu diskontinuiteta koji odgovara duljini stranice bloka, koja je mjerodavna u slučaju klizanja (prema formuli 2-2). Međutim, kako je u slučaju masivnih stijena vrlo teško, odnosno gotovo nemoguće odrediti mjerodavnu veličinu stranice bloka, korekcija je provedena na jedan metar duljine.

Takav postupak proveden je za sve snimljene profile hrapavosti uključujući i one čija bi vrijednost koeficijenta hrapavosti bila veća od 20. Prilikom određivanja koeficijenta hrapavosti pomoću Bartonovog dijagrama za određivanje koeficijenta hrapavosti preko postupka mjerenja amplituda hrapavosti u odnosu na duljinu mjerenja, javljale su se poteškoće i prilikom određivanja JRC-a. U slučaju većih amplituda hrapavosti vrijednosti JRC-a nisu se mogle direktno odrediti na temelju dijagrama, zbog čega je za sve vrijednosti veće od 20 na terenskim obrascima navedeno koliko bi one iznosile slobodnom procjenom iz dijagrama (Prilog 2-1 do 2-12). Tablicama 5-6 do 5-8 prikazane su vrijednosti korigiranih koeficijenata hrapavosti mjerodavnih za duljinu diskontinuiteta bloka od 1 m za svaku profilnu liniju (0°, 45°, 90° i 135°) te vrijednosti koeficijenata hrapavosti koje su određene na temelju amplitude hrapavosti u odnosu na duljinu profila,  $JRC_d$ .

Tablica 5-6 Vrijednosti izmjerenih  $JRC_{10}$ , korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti za slojnu plohu.

Profil snimanja	$JRC_{10}$	$JRC_n$	$JRC_d$
P-0 357/1	18 – 28	7,7 – 7,9	14
P-45 224/2	12 – 30	6,9 – 7,5	14
P-90 85/2	16 – 26	7,7 – 7,9	16
P-135 3/3	18 – 30	7,5 – 7,9	14

Tablica 5-7 Vrijednosti izmjerenih  $JRC_{10}$ , korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti za primarni pukotinski sustav.

Profil snimanja	$JRC_{10}$	$JRC_n$	$JRC_d$
P-0 63/83	8 – 30	7,5 – 7,9	20
P-45 60/83	14 – 30	7,3 – 7,9	24
P-90 64/84	12 – 22	6,9 – 8	12
P-135 60/88	16 – 30	7,7 – 7,9	10

Tablica 5-8 Vrijednosti izmjerenih  $JRC_{10}$ , korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti za sekundarni pukotinski sustav.

Profil snimanja	$JRC_{10}$	$JRC_n$	$JRC_d$
P-0 165/90	6 – 28	4,6 – 7,7	32
P-45 343/85	6 – 30	4,6 – 7,5	26
P-90 335/89	12 – 30	6,9 – 7,5	16
P-135 161/90	8 – 30	5,5 – 7,5	22

### 5.3.2. Proračun koeficijenta hrapavosti pukotine $JRC$ iz vrijednosti $Z_2$

Iz navedenog opisa određivanja koeficijenta hrapavosti vidljivo je kako se pojavljuju mnogobrojne poteškoće prilikom određivanja hrapavosti. S obzirom na to da hrapavost stijenki diskontinuiteta predstavlja važnu komponentu za određivanje same posmične čvrstoće, predlagani su i drugi postupci. Jedan od njih je jednostavni pokus smicanja gdje se na temelju klizanja bloka po bloku uz pomoć plohe diskontinuiteta računa vrijednost koeficijenta hrapavosti  $JRC$ . Drugi postupak procjene  $JRC$ -a temelji se na korelaciji s parametrima hrapavosti profilne linije koja je snimljena s velikom rezolucijom uzorkovanja. Spomenute parametre predstavljaju  $SF$ , odnosno funkcija strukture,  $Z_2$  kao srednje kvadratno odstupanje prve derivacije profilne linije,  $R_p$  kao indeks profila hrapavosti te nedavno predloženi novi indeks hrapavosti  $\lambda$  (Zhang i dr., 2014). Posljednjih godina velik broj istraživanja usmjeruje se i na metode primjene fraktala, odnosno fraktalne analize. Graselli i Egger (2003) predložili su 3D parametar hrapavosti diskontinuiteta koji je definiran preko kontaktne površine smicanja diskontinuiteta. Miller i dr. (1990) utvrdili su kako parametar  $Z_2$  ima najbolju korelaciju s  $JRC$  vrijednosti. Tse i Cruden (1979) zapravo su prvi predložili vezu između  $Z_2$  i  $JRC$  vrijednosti koji su dobili na temelju digitaliziranih profila hrapavosti s intervalom uzorkovanja od 0,5 mm, a nakon njih i mnogi drugi (Tablica 5-9). Geometrijski parametar  $Z_2$  dan je kao:

$$Z_2 = RMS\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \frac{1}{L} \sqrt{x \int_{x=0}^{x=L} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (5-1)$$

gdje je:

$L$  – ukupna duljina diskontinuiteta

$\Delta x$  – interval uzorkovanja

$\Delta y = y_{i+1} - y_i$  – razlika između dva susjedna intervala uzorkovanja

Tablica 5-9 Prikaz predloženih odnosa između parametra  $Z_2$  i JRC-a na temelju prethodnih istraživanja.

Tse i Cruden, 1979.	$JRC = 32.2 + 32.47 \log_{10} Z_2$
Yu i Vayssade, 1991.	$JRC = 61.79 Z_2^{-3.47}$
Yang i drugi, 2001.	$JRC = 32.69 + 23.98 \log_{10} Z_2$
Tatone i Graselli, 2010.	$JRC = 51.85 (Z_2)^{0.60} - 10.37$
Yang i drugi, 2014.	$JRC = 51.16 (Z_2)^{0.531} - 11.44$

Prilikom terenskih mjerenja na svakom profilu u duljini od 1 m ručno su snimani zapisi profila hrapavosti, koji su korišteni za računanje JRC-a preko vrijednosti  $Z_2$ , na terenskim obrascima naznačeni kao zapis profila hrapavosti: udaljenost (mm) / amplituda (mm) te prosječna vrijednosti JRC-a dobivena uz pomoć parametra  $Z_2$  (prilog 2-1 do 2-12). Vrijednosti JRC-a dobivene preko parametra  $Z_2$  prema različitim autorima za sve profile snimanja prikazane su Tablicama 5-10 do 5-12.

Tablica 5-10 Vrijednost JRC-a preko  $Z_2$  prema različitim autorima za slojnu plohu.

JRC preko  $Z_2$ :

	P-0°	P-45°	P-90°	P-135°
Tse i Cruden, 1979.	10,3	9,3	11,2	6,8
Yang i dr., 2001.	10,4	9,4	11,3	6,9
Tatone i Graselli, 2010.	10	9,2	10,8	7,2
Yang i dr., 2014.	11	10,2	11,7	8,2

Tablica 5-11 Vrijednost JRC-a preko  $Z_2$  prema različitim autorima za primarni pukotinski sustav.

JRC preko  $Z_2$ :

	P-0°	P-45°	P-90°	P-135°
Tse i Cruden, 1979.	7,1	8,2	7,5	12,4
Yang i dr., 2001.	7,2	8,3	7,6	12,6
Tatone i Graselli, 2010.	7,5	8,3	7,8	12
Yang i dr., 2014.	8,4	9,3	8,8	12,9

Tablica 5-12 Vrijednost JRC-a preko  $Z_2$  prema različitim autorima za sekundarni pukotinski sustav.

JRC preko  $Z_2$ :

	P-0°	P-45°	P-90°	P-135°
Tse i Cruden, 1979.	18,8	17,5	9,7	12,1
Yang i dr., 2001.	19,1	17,7	9,8	12,3
Tatone i Graselli, 2010.	19	17,3	9,5	11,7
Yang i dr., 2014.	19,5	17,9	10,5	12,6

Iz prikazanih tablica vidljivo je kako vrijednosti JRC-a dobivene preko parametra  $Z_2$  odstupaju od vrijednosti JRC-a dobivenih preko standardnih profila hrapavosti, odnosno preko Bartonovog terenskog dijagrama za određivanje hrapavosti. Odnosno, vrijednosti JRC-a dobivene na ovaj način znatno su manje u odnosu na vrijednosti dobivene standardnim postupkom. Premda parametar  $Z_2$  najbolje korelira s vrijednosti JRC-a, sam parametar nije dovoljan za preciznu procjenu koeficijenta hrapavosti jer njegova vrijednost varira s obzirom na interval uzorkovanja (Yu i Vaysadde 1991; Chun i Kim, 2001). Naime, treba napomenuti da su profili hrapavosti urađeni ručnim snimanjem s korakom uzorkovanja znatno većim od predloženih ispod 1 mm. Zhang i dr. (2014) navode kako bi parametar  $Z_2$  trebao biti modificiran jer uzima u obzir samo kut nagiba diskontinuiteta, a zanemaruje amplitudu hrapavosti, odnosno  $Z_2$  predstavlja srednje kvadratno odstupanje tangente nagiba po duljini profila i nema dimenziju duljine (Yang i dr., 2001). S obzirom na to da odnos amplitude i duljine ( $H/l$ ) utječe na vrijednost JRC-a, što je vidljivo iz Bartonovog terenskog dijagrama, već je predlagano kako bi  $Z_2$  trebao biti modificiran po uzoru na njega



## 6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada obrađene su ključne značajke diskontinuiteta, njihova određivanja, odnosno snimanja, obrade i prikaza rezultata snimljenih podataka. Terenska mjerenja na eksploatacijskom polju Kanfanar-jug provedena su u svrhu što detaljnijeg određivanja značajki diskontinuiteta, posebno hrapavosti. Osim hrapavosti, mjerene su i orijentacije na slojnoj plohi, primarnom i sekundarnom pukotinskom sustavu. S obzirom na direktan utjecaj hrapavosti na posmičnu čvrstoću, upravo problematika određivanja hrapavosti čini temelj ovog rada. Pregledom terenskih mjerenja i obradom podataka hrapavosti jasno je vidljiva problematika određivanja ove veličine. Prilikom procjene hrapavosti uz pomoć tipičnih profila koji su predstavljani Preporučenim metodama ISRM-a jasno su vidljivi njihovi nedostaci, odnosno nemogućnost primjene u slučaju većih hrapavosti. Određivanje hrapavosti uz pomoć dijagrama za određivanje koeficijenta hrapavosti iz odnosa amplitude i dužine profila ne može biti primjenjivo ako su zabilježene amplitude veće od otprilike 40-ak milimetara, što također ograničava upotrebu dijagrama u slučaju ovakvih ležišta. Procjena JRC-a na osnovu korelacije parametara hrapavosti s profilnom linijom snimljenom s velikom rezolucijom snimanja daje najbolje rezultate uz pomoć parametra  $Z_2$ , koji se također koristio prilikom obrade snimljenih podataka. Vrijednosti JRC-a izračunatih uz pomoć parametra  $Z_2$  međusobno ne pokazuju znatna odstupanja, ali primjenjivi su samo u slučaju velike rezolucije snimanja, ispod 1 mm. Veća odstupanja međusobno pokazuju vrijednosti izmjerenih  $JRC_{10}$  te korigiranih i procijenjenih koeficijenata hrapavosti. Upravo zbog velikih oscilacija i razlika u dobivenim vrijednostima koeficijenata hrapavosti ovim radom predstavljen je razvoj profila hrapavosti u rasponu od 20 do 30, koji se nastavlja na standardizirane tipične profile predstavljene unutar Preporuka ISRM-a. Dopuna spomenutim profilima temelji se isključivo na profilima kojima se nije mogla dodijeliti nijedna vrijednost unutar postojećeg raspona. Karakteristični profili raspona 20 – 30 izabrani su na spomenuti način s obzirom na to da je gotovo polovici snimljenih profila bilo nemoguće dodijeliti vrijednosti unutar raspona 0 – 20. Hrapavost je od iznimne važnosti pri projektiranju otkopavanja arhitektonsko-građevnog kamena zbog njezina direktnog utjecaja na posmičnu čvrstoću. Upravo je cilj ovoga rada bio predstaviti problematiku određivanja hrapavosti i pokušati dati realno rješenje u uvjetima masivnih i okršenih vapnenaca koja je od iznimne važnosti pri projektiranju otkopavanja arhitektonsko-građevnog kamena zbog njezina direktnog utjecaja na posmičnu čvrstoću.

## 7. LITERATURA

1. BABIĆ, Ž., CUKOR, V., FRITZ, F., RALJEVIĆ, B., 1968. Prilog poznavanju hidrogeoloških odnosa južne i srednje Istre. Geološki vjesnik 21, Zagreb, 295-302.
2. BAČANI, A., 2006. Hidrogeologija I. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str.109-150.
3. BARTON, N., BANDIS, S., 1990. Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. Rock Joints & Stephansson, 1990. Balkema, Rotterdam, str. 603-610.
4. COTMAN, I., 2005. Glavni rudarski projekt površinske eksploatacije arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Kanfanar-jug“, 91 str.
5. COTMAN, I., 2006. Glavni rudarski projekt podzemne eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Kanfanar-jug“, tipski, 164 str.
6. HRŽENJAK, P., DOBRILOVIĆ, I., NAVRATIL, D., 2019. Problemi određivanja značajki stijenki karakterističnih diskontinuiteta u kršu. Međunarodna konferencija; 8. Savjetovanje Hrvatskog geotehničkog društva, Omiš – Split, Hrvatska 11. – 13. 04. 2019.
7. ISRM (1978) Commission on standardization of laboratory and field tests Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 15, str. 319–368.
8. JANG, H., KANG, S., JANG, B., 2014. Derermination of Joint Roughness Coefficients Using Roughness Parameters. Rock Mechanics and Rock Engineering 47: str. 2061-2073.
9. NAVRATIL, D., 2011. Statistički model osnovnih geometrijskih značajki diskontinuiteta u mezozojskim karbonatnim stijenama. Doktorska disertacija. Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 240 str.
10. PALMSTROM, A., 1995. Rmi-A for Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purposes. PhD Thesis. Oslo University, Norway, A3 str. 22-27.
11. TIŠLJAR, J. 2001. Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, str. 73-84.

12. VRKLJAN, D., VELIĆ, J., DUNDA, S., KUJUNDŽIĆ, TRPIMIR., 2007. Studija potreba i opravdanosti eksploatacije mineralnih sirovina na prostoru Istarske županije. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 23-63.
13. YANG., Z.Y., LO, S.C., DI, C.C. 2001. Reassessing the Joint Roughness Coefficient (JRC) Estimation Using  $Z_2$ . Rock Mechanics and Rock Engineering, 34(3), str. 243–251.
14. YONG, R., FU, X., HUANG, M., LIANG, Q., DU, S., 2018. A Rapid Field Measurement Method for the Determination of Joint Roughness Coefficient of Large Rock Joint Surfaces. KSCE Journal of Civil Engineering 22(1), str. 101–109.
15. ZHANG, G., KARAKUS, M., TANG, H., GE, Y., ZHANG, L. 2014. A new method estimating the 2D Joint Roughness Coefficient for discontinuity surfaces in rock masses. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 72, str. 191–198.

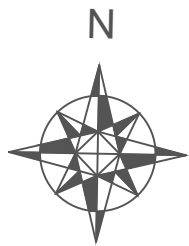
#### **Web izvori:**

HRŽENJAK, P. 2009. Mehanika stijena I: interna skripta sa predavanja. URL: [Microsoft Word - 04StrukturneZnacajke.doc \(rgn.hr\)](#) (5. listopada 2020).

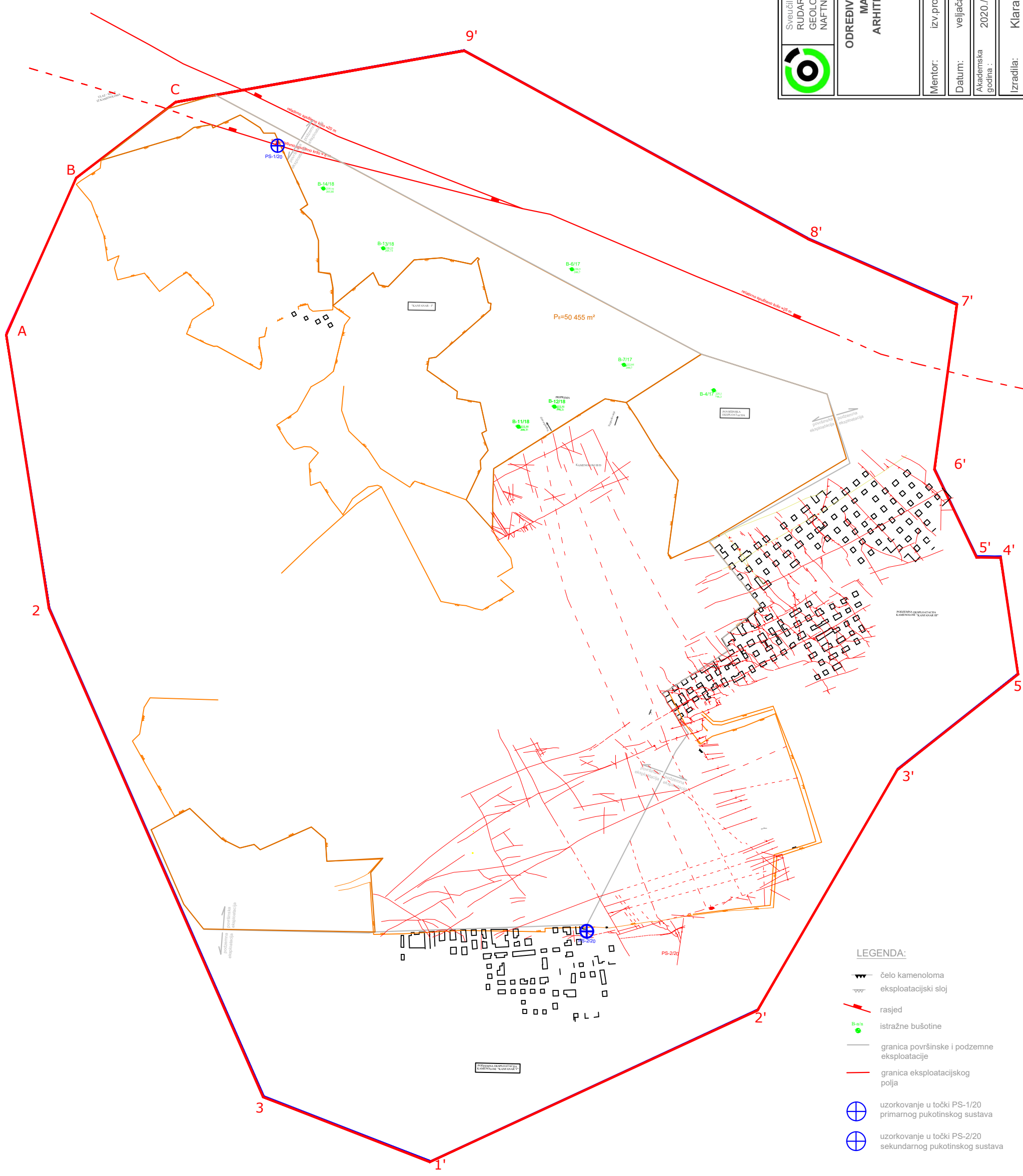
KRKAČ, M. 2018. Inženjerska geologija I: skripta s predavanja. URL: [https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1076124/mod\\_resource/content/1/052\\_Stijena%20masa.pdf](https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1076124/mod_resource/content/1/052_Stijena%20masa.pdf) (5. listopada 2020).

TOMLJENOVIĆ, B. 2017. Strukturna geologija: skripta s predavanja. URL: [01a - Primarne strukture \[Compatibility Mode\] \(rgn.hr\)](#) (10. listopada 2020).

## **PRILOZI**



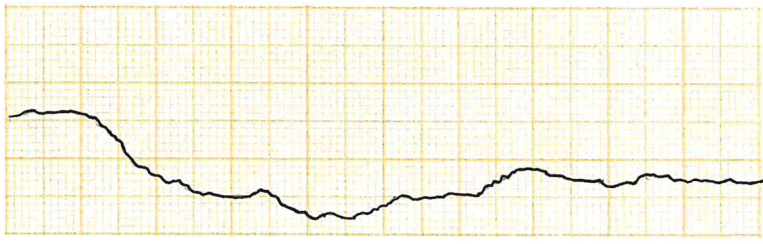
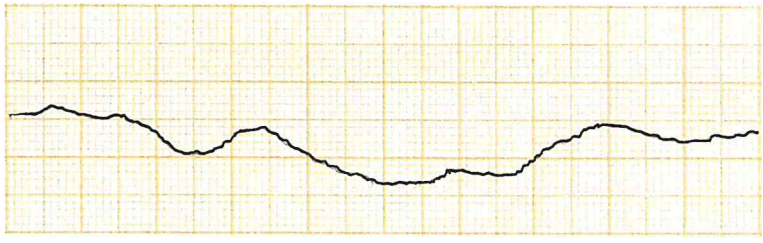
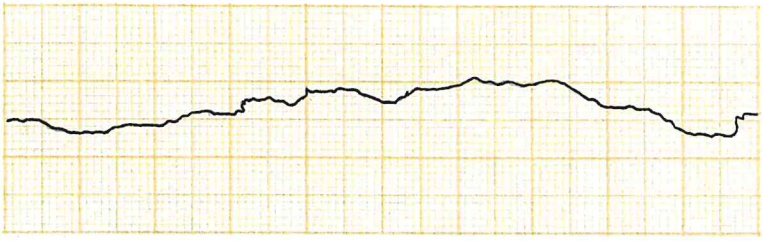

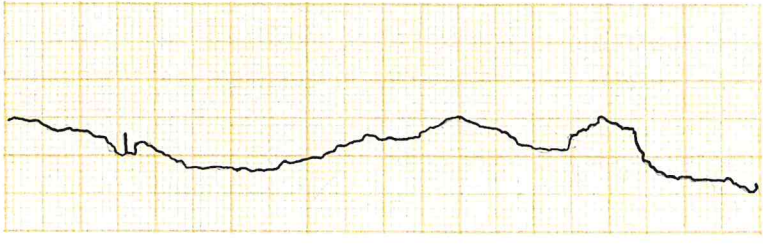
	Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET	
	<b>ODREĐIVANJE ZNAČAJKI DISKONTINUITETA U MASIVNIM VAPNENCIMA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA</b> Diplomski rad	
Mentor:	Izv.prof.dr.sc Petar Hrženjak	
Datum:	veljača, 2021.	
Akademska godina:	2020./2021.	
Izradila:	Klara Pelivan	
Mjerilo:	1:1500	

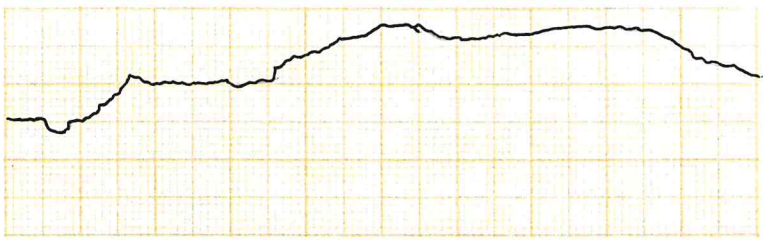
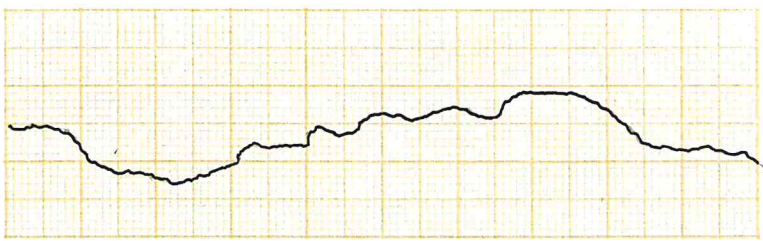
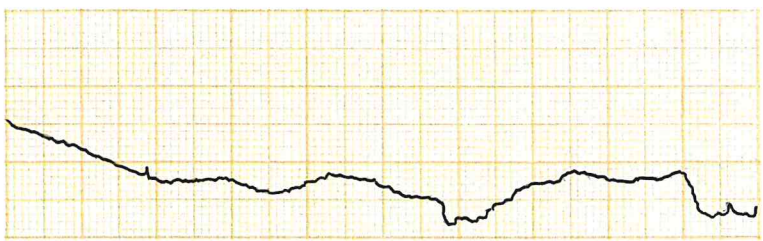
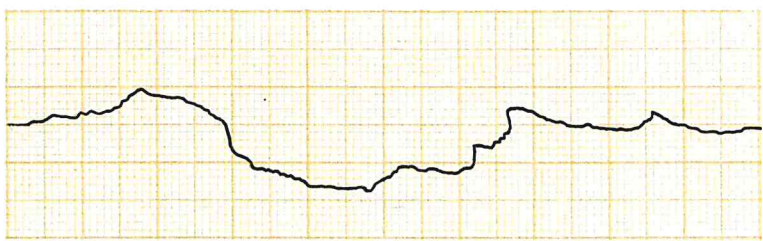



- LEGENDA:**
- čelo kamenoloma
  - eksploatacijski sloj
  - rasjed
  - istražne bušotine
  - granica površinske i podzemne eksploatacije
  - granica eksploatacijskog polja
  - uzorkovanje u točki PS-1/20 primarnog pukotinskog sustava
  - uzorkovanje u točki PS-2/20 sekundarnog pukotinskog sustava

RGNF			
Objekt	KANFANAR - JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SLOJNA PLOHA		
Profil	P-0	Relativni kut (°)	0°

Valovitost	JAKO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	2
Zaglađenost	JAKO HRAPAVALA	Faktor zaglađenosti js	3
Faktor hrpavosti pukotina jR		6	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrpavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	290/4		22-24
2	122/8		22-24
3	202/2		18-20
4	282/8		26-28
5	190/4		26-28

Broj	Orientacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	103 2		18-20
7	275 3		24-26
8	20 8		24-26
9	13 8		26-28
10	21 7		18-20

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC<sub>10</sub>

18-28

Duljina profila L (mm)

1000

Amplituda hrapavosti (mm)

32

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC

14

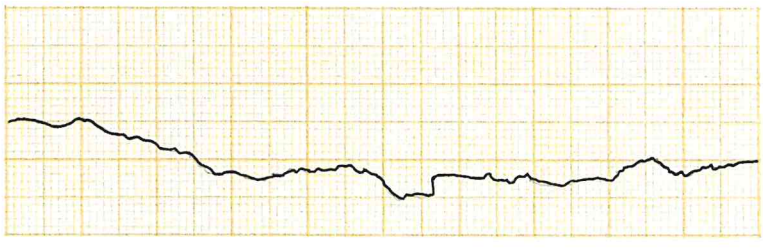
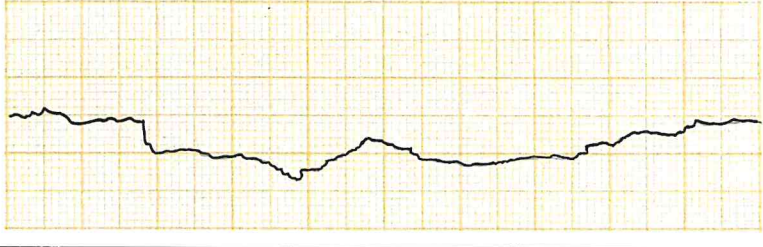
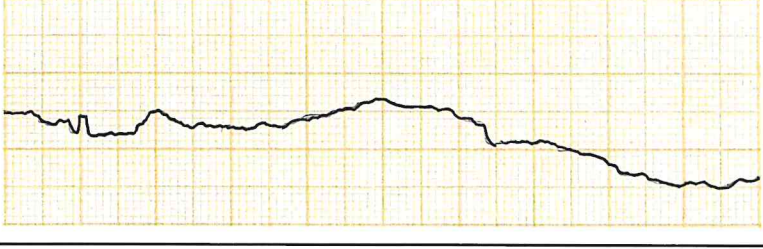
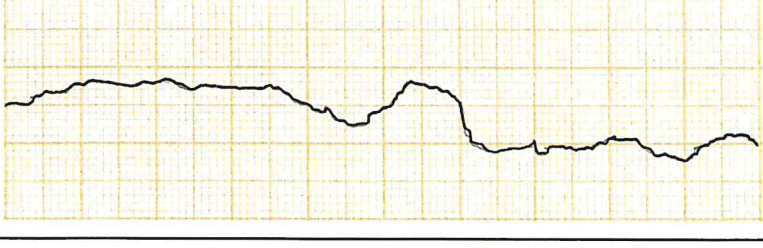
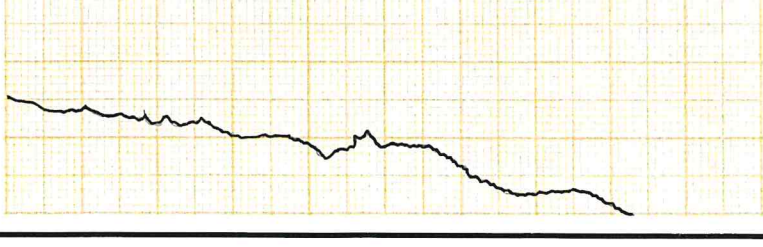
Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)

0 22	280 0	500 20	805 12
80 30	300 3	580 2	840 25
115 24	335 0	620 12	880 18
155 28	440 23	690 0	935 19
180 18	450 14	755 17	1000 28

PRILOG 2-1

RGNF			
Objekt	KANFANAR - JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SLOJNA PLOHA		
Profil	P-45	Relativni kut (°)	45°

Valovitost	JAKO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	2
Zaglađenost	HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2
Faktor hrapavosti pukotina jR		4	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	334/8		20-22
2	40/3		20-22
3	24/8		18-20
4	255/6		24-26
5	204/13		18-20



Broj	Orientacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	114/8		28-30
7	223/5		24-26
8	220/10		26-28
9	210/5		12-14
10	240/1		14-16

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC<sub>10</sub>

12-30

Duljina profila L (mm)

1 000

Amplituda hrapavosti (mm)

29

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC

14

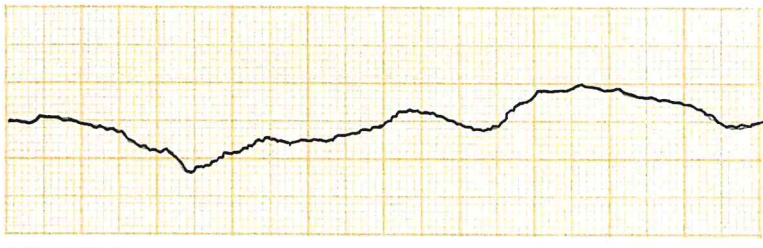
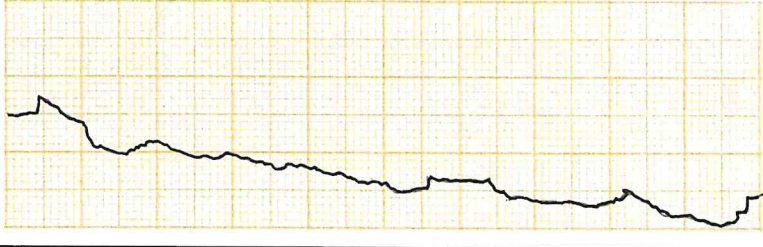
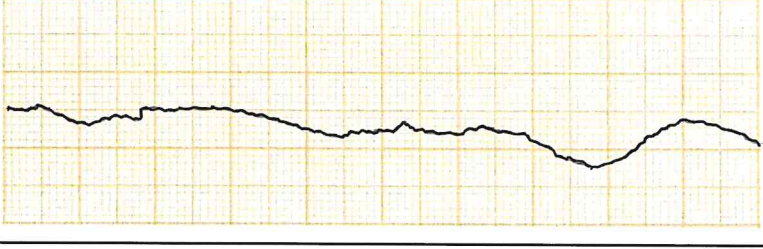
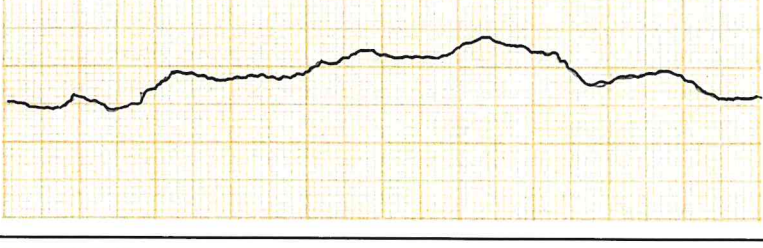
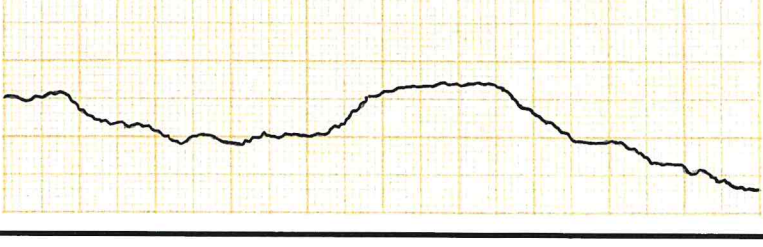
Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)

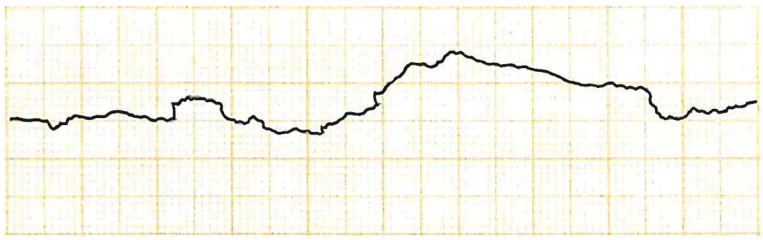
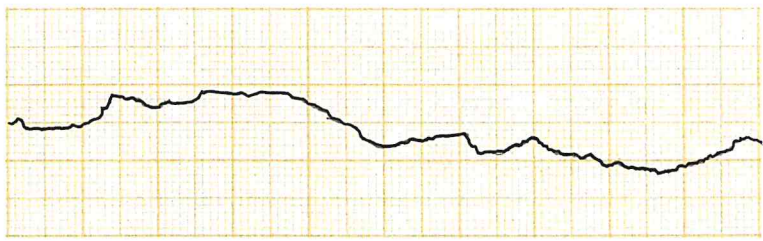
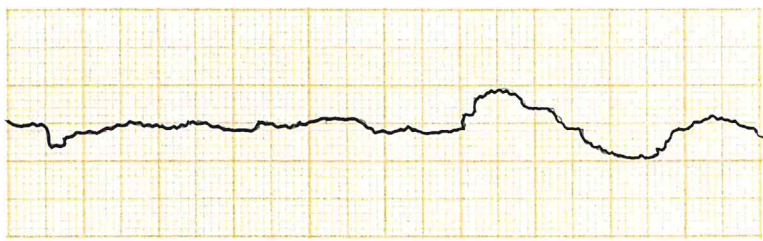
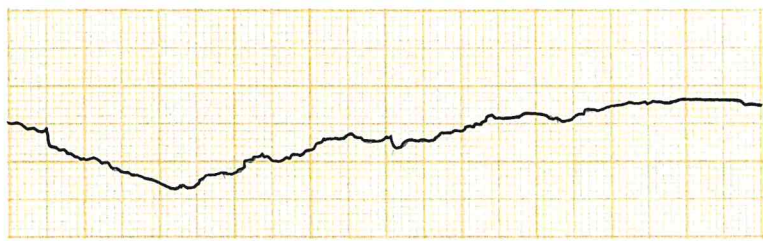
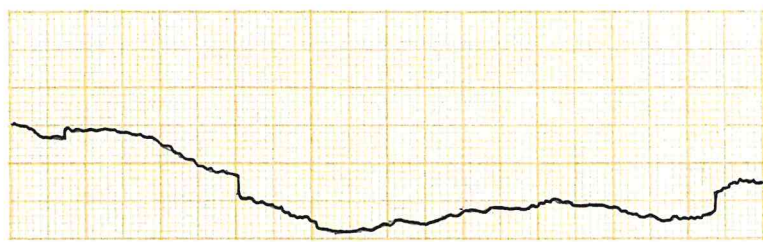
0/24	245/0	500/21	880/26
45/29	265/8	580/0	1000/26
90/21	310/0	670/3	
125/28	350/0	770/8	
180/16	450/8	810/30	

PRILOG 2-2

RGNF			
Objekt	KANFANAR- JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SLOJNA PLOHA		
Profil	P-90	Relativni kut (°)	90°

Valovitost	JAKO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	2
Zaglađenost	JAKO HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	3
Faktor hrapavosti pukotina jR		6	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	96/12		20-22
2	155/12		18-20
3	60/8		18-20
4	40/13		16-18
5	218/9		24-26

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	80/12		24-26
7	125/2		18-20
8	75/3		18-20
9	298/11		18-20
10	276/12		24-26

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC<sub>10</sub>

16-26

Duljina profila L (mm)

1 000

Amplituda hrapavosti (mm)

35

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC

16

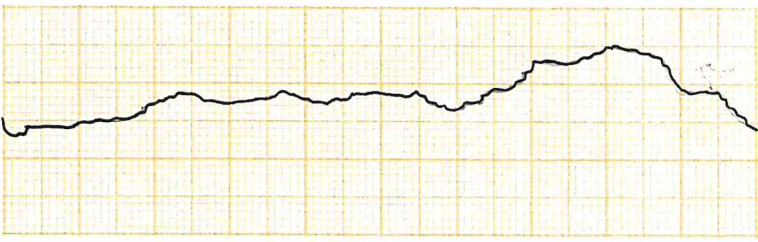
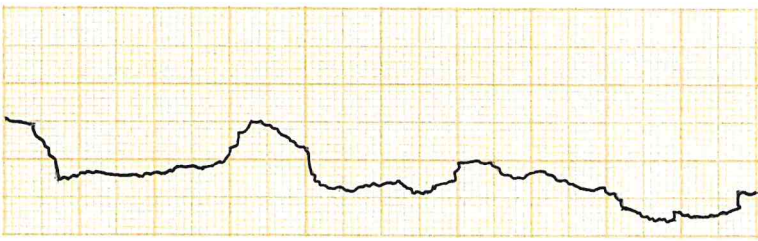
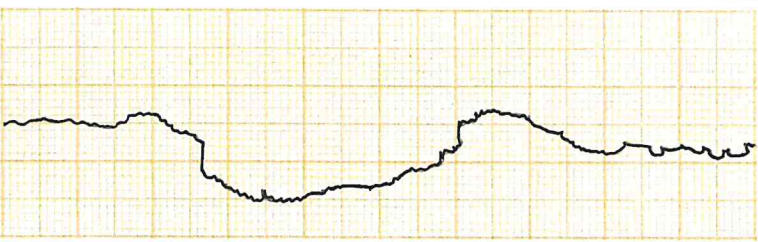
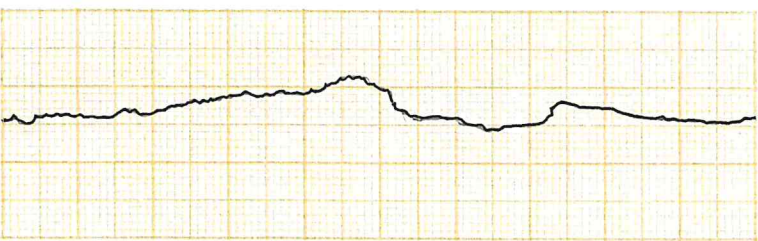
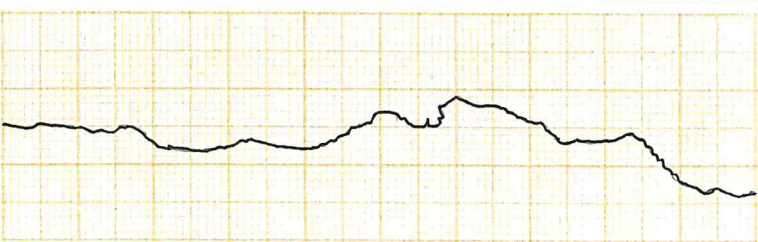
Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)

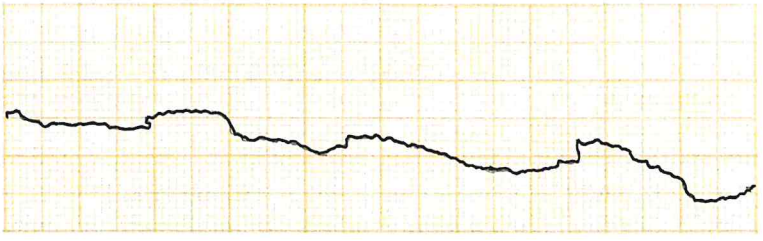
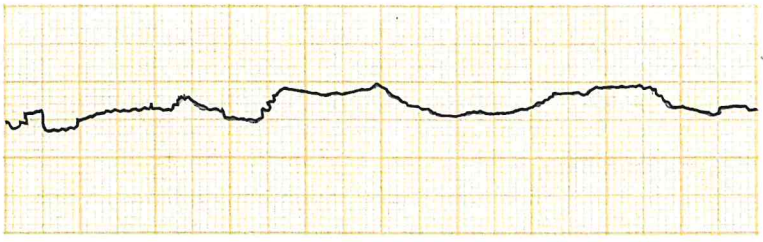
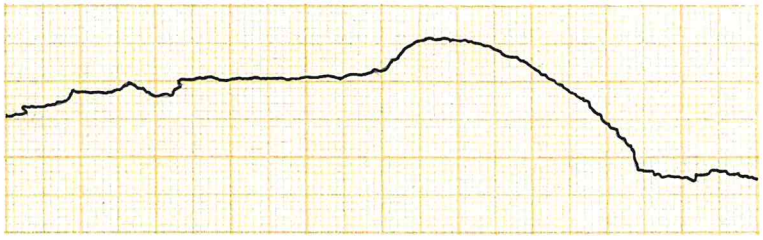
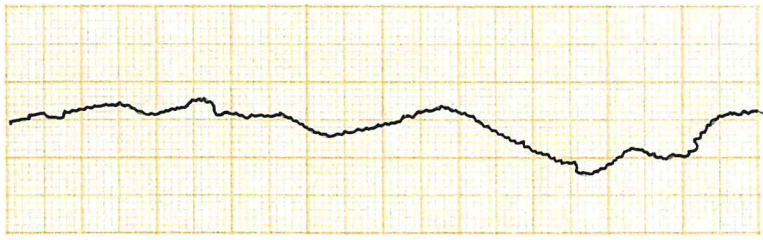
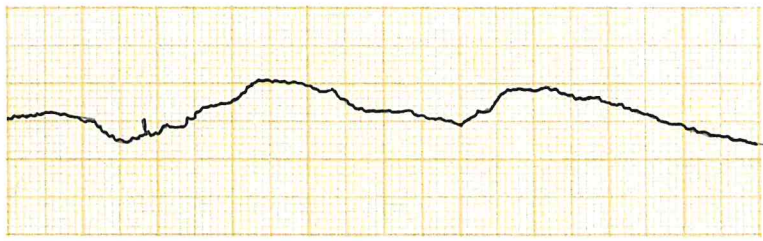
0/38	460/0	770/0	1000/8
85/19	500/16	800/0	
200/33	550/0	820/8	
370/0	640/0	880/0	
430/18	685/9	950/14	

PRILOG 2-3

RGNF			
Objekt	KANFANAR - JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SLOJNA PLOHA		
Profil	P-135	Relativni kut (°)	135°

Valovitost	STEPENIČASTA	Faktor valovitosti jw	2.5
Zaglađenost	JAKO HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	3
Faktor hrapavosti pukotina jR		7.5	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	302/16		24-26
2	162/6		26-28
3	22/12		28-30
4	5/3		18-20
5	102/2		24-26

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	24 16		24-26
7	298 4		24-26
8	310 5		28-30
9	125 7		26-28
10	155 4		26-28
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		18-30	

Duljina profila L (mm)	1 000	Amplituda hrapavosti (mm)	32
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		14	

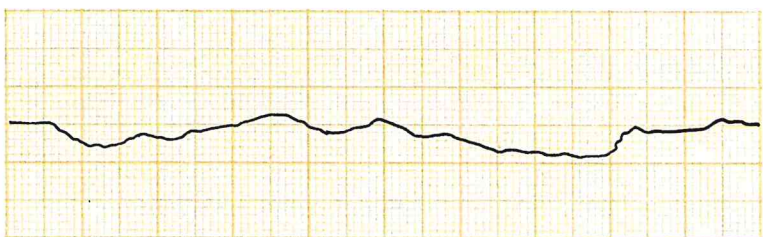
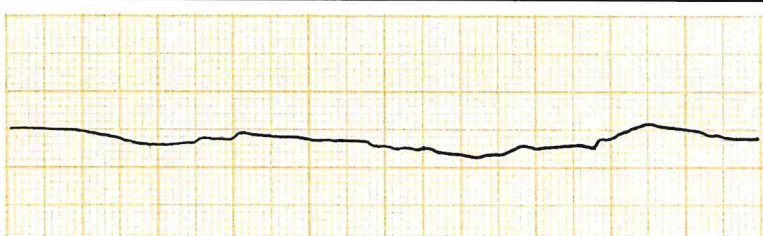
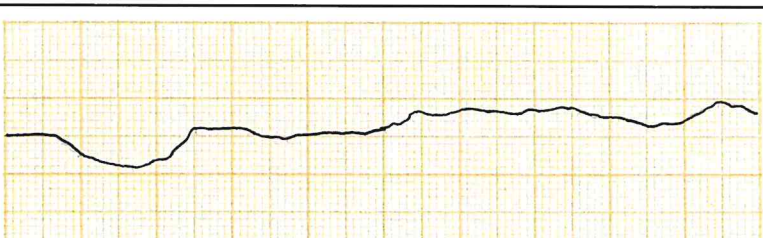
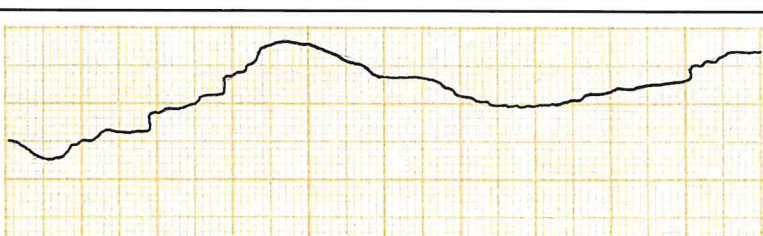
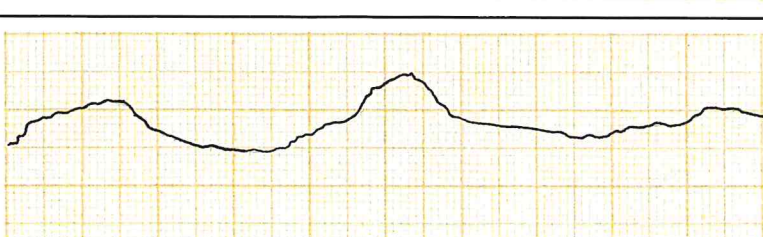
Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)

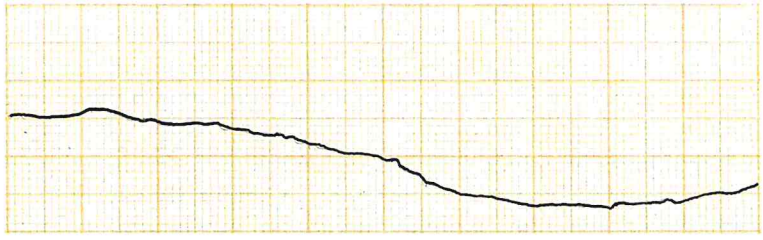
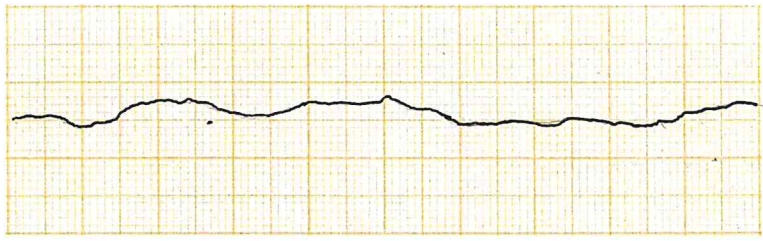
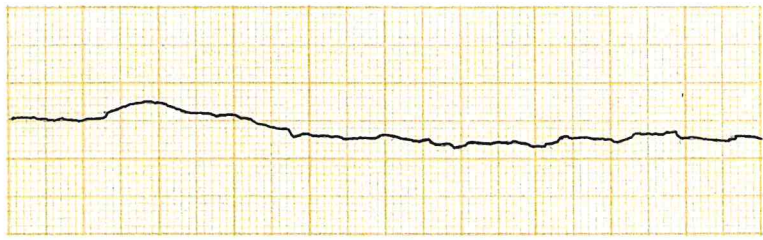
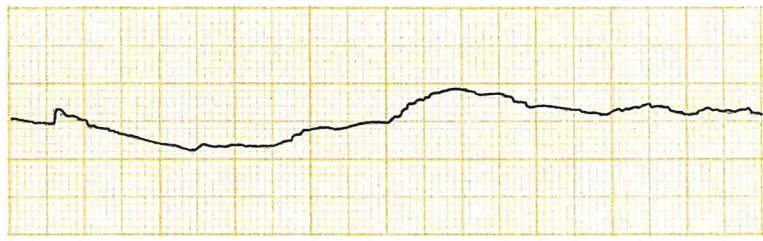
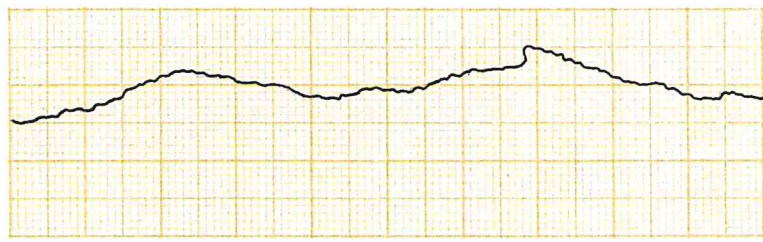
0 32	405 0	800 13
90 14	435 8	875 19
240 30	500 16	900 14
270 14	710 1	935 9
350 0	760 0	1000 13

PRILOG 2-4

RGNF			
Objekt	KANFANAR - JUG	Lokacija	PS - 1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	PRIMARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-0	Relativni kut (°)	0°

Valovitost	BLAGO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	1.5
Zaglađenost	HRAPAVA DO JAKO HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2-3
Faktor hrapavosti pukotina jR		3-4	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	242/85		10-12
2	60/87		8-10
3	72/82		14-16
4	70/85		28-30
5	61/84		22-24

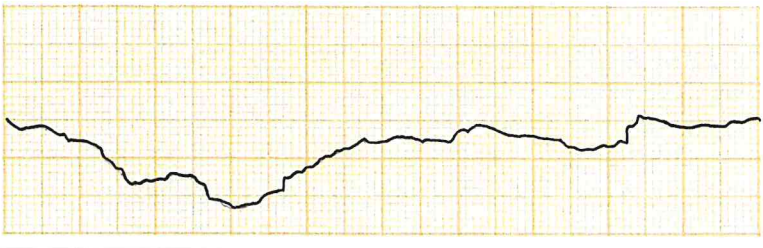
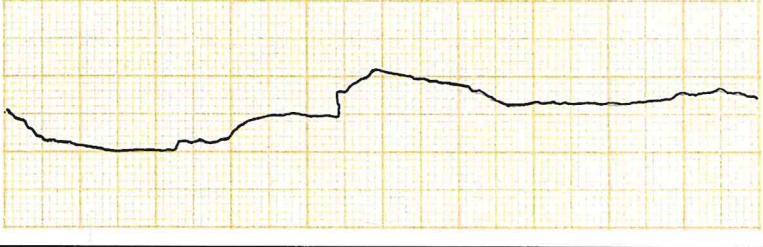
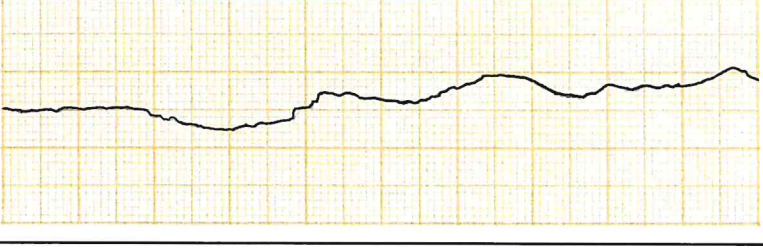
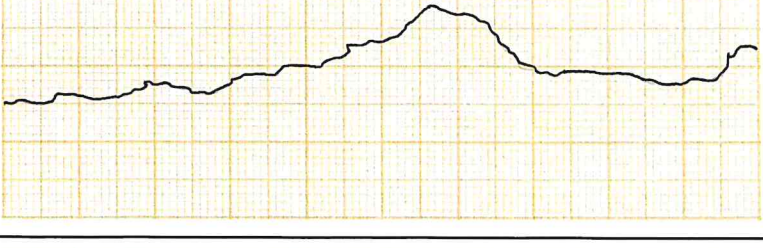
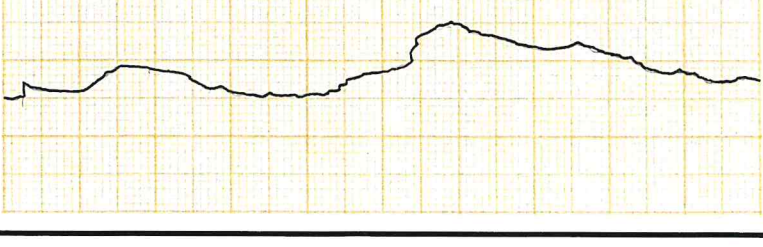
Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	44/85		14-16
7	68/84		14-16
8	56/79		14-16
9	62/72		16-18
10	70/79		18-20
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		8-30	

Duljina profila L (mm)	1000	Amplituda hrapavosti (mm)	47
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		20	

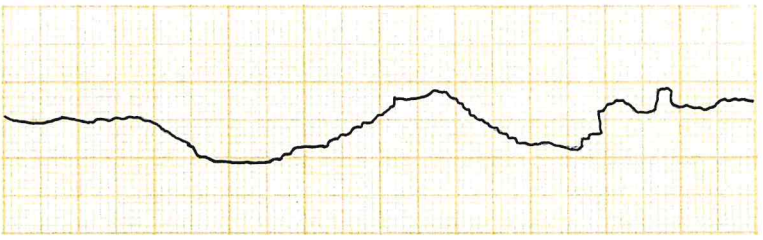
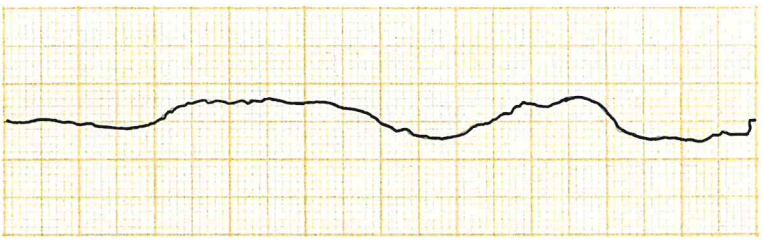
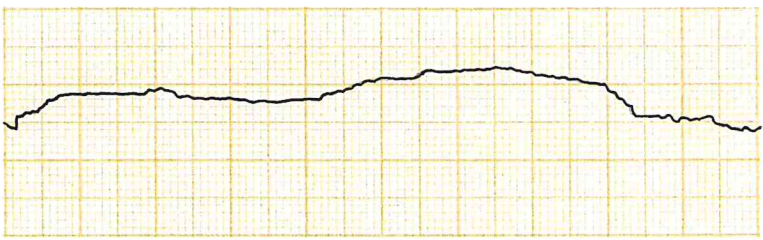
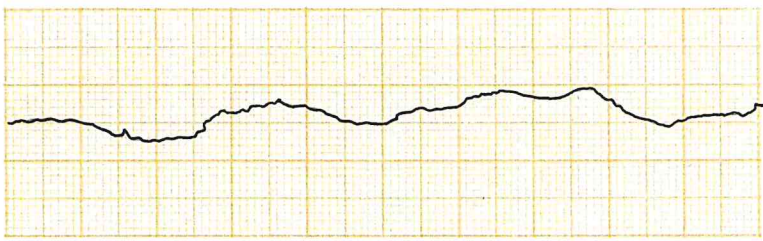
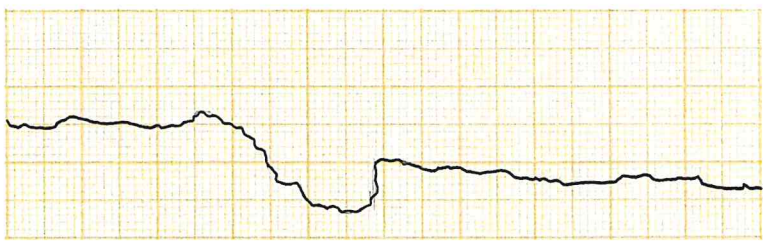
Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)			
0/52	405/4	622/13	896/11
95/42	425/11	680/15	928/11
215/42	447/1	715/11	975/0
340/13	500/4	835/21	1000/0
370/12	578/19	864/11	
			PRILOG 2-5

RGNF			
Objekt	KANFANAR - JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	PRIMARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-45	Relativni kut (°)	45°

Valovitost	STEPENIČASTA	Faktor valovitosti jw	2.5
Zaglađenost	JAKO HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	3
Faktor hrpavosti pukotina jR		7.5	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrpavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	68/68		22-24
2	68/76		20-22
3	67/84		16-18
4	52/84		24-26
5	62/83		24-26



Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	50/78		26-28
7	60/84		14-16
8	244/85		14-16
9	246/90		16-18
10	227/88		28-30
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		14-30	

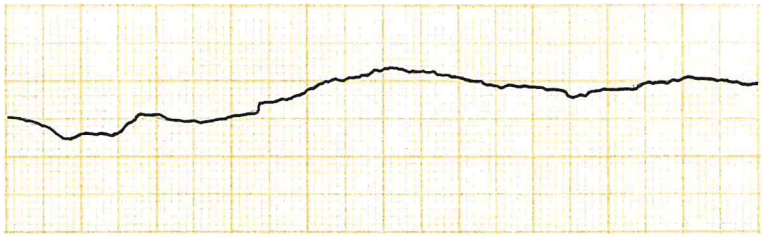
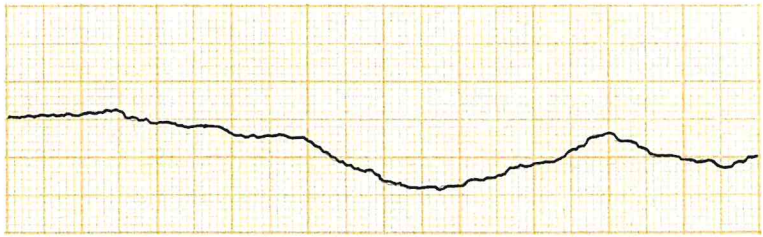
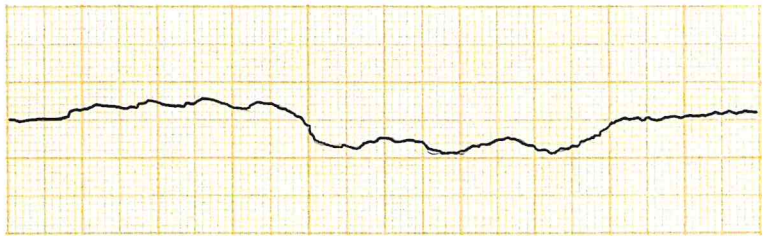
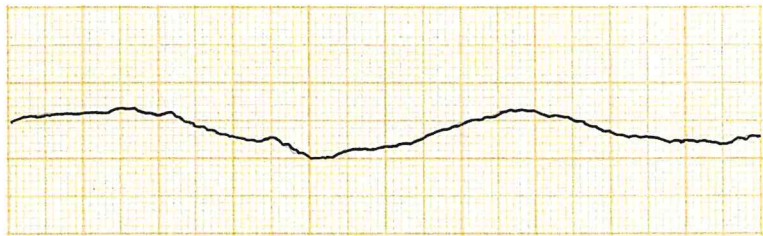
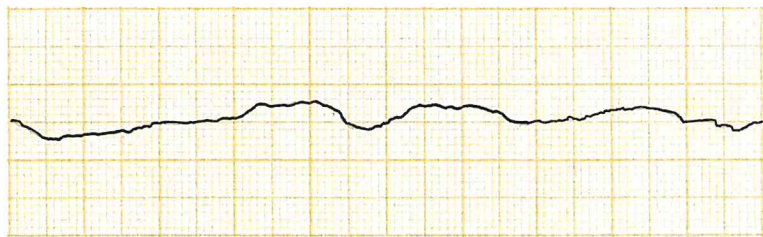
Duljina profila L (mm)	1000	Amplituda hrapavosti (mm)	58
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		≈ 24	

Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)					
0/58	230/16	435/6	575/11	690/6	875/8
50/42	270/9	455/0	600/4	720/3	890/13
90/41	330/4	500/7	640/4	760/0	925/6
140/22	350/0	535/12	660/6	780/0	980/9
190/14	400/4	555/4	680/3	820/13	1000/10
					PRILOG 2-G

RGNF			
Objekt	KANFANAR-JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	PRIMARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	p-90	Relativni kut (°)	90°

Valovitost	JAKO DO BLAGO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	1.5 - 2
Zaglađenost	HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2
Faktor hrapavosti pukotina jR		3-4	

Broj	Orijentacija (°°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	56/75		14-16
2	67/82		20-22
3	67/86		16-18
4	58/88		16-18
5	56/84		18-20

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	64/86		12-14
7	254/86		14-16
8	64/85		18-20
9	63/76		14-16
10	57/82		16-18

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC<sub>10</sub>

12-22

Duljina profila L (mm)

1000

Amplituda hrapavosti (mm)

26

Koeficijent hrapavosti pukotina JRC

12

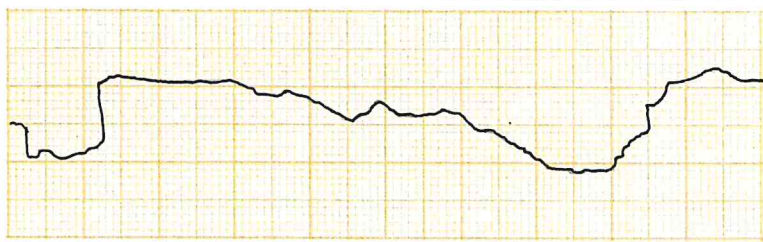
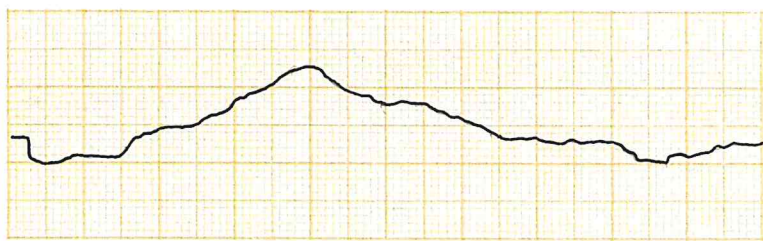
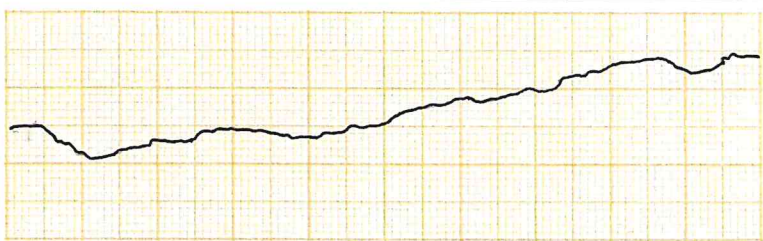
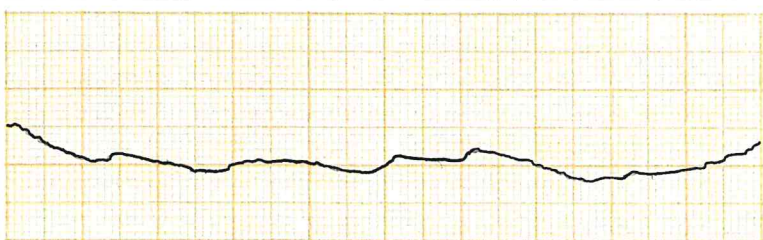
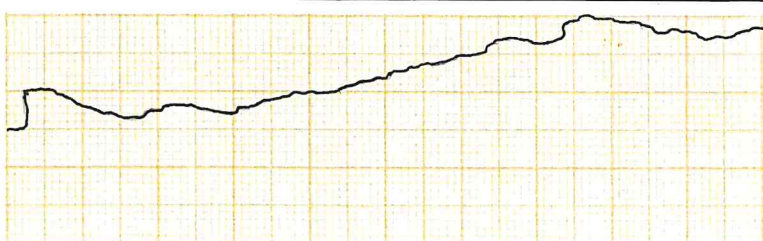
Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)

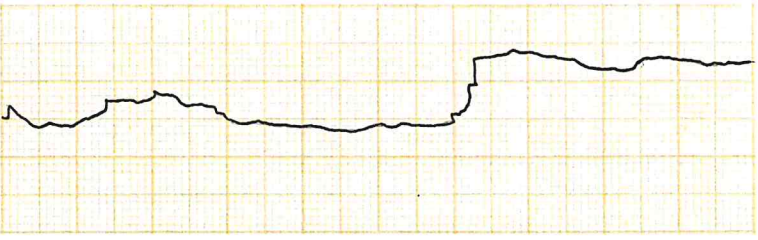
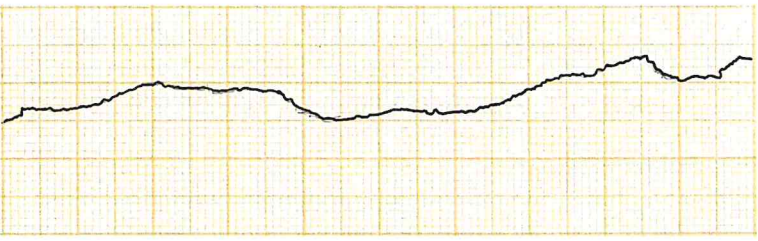
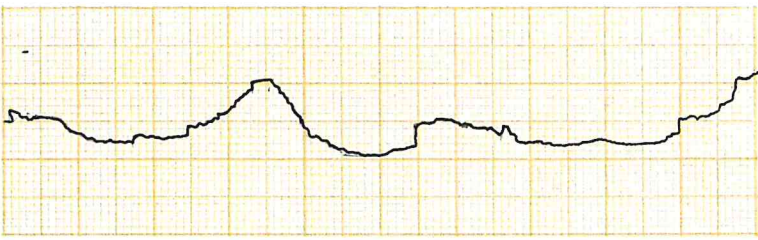
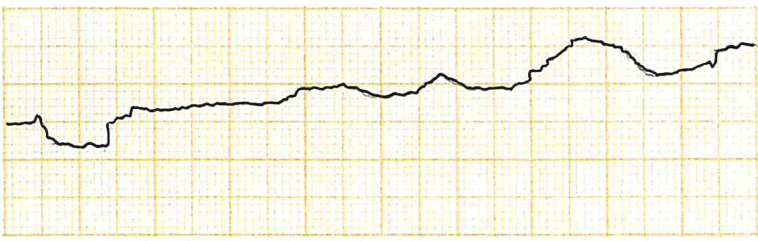
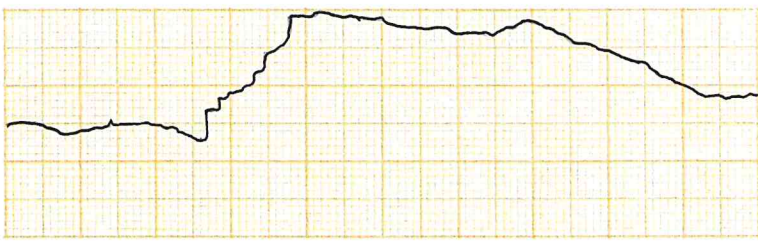
0/27	252/6	400/3	502/9	770/25	1000/1
120/0	300/2	415/5	540/3	820/14	
161/0	335/7	425/0	610/4	870/9	
198/16	355/3	460/4	685/12	910/8	
220/9	390/5			945/0	

PRILOG 2-7

RGNF			
Objekt	KANFANAR-JUG	Lokacija	PS-1/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	PRIMARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-135	Relativni kut (°)	135°

Valovitost	JAKO VALOVITA DO STEPENIČASTA	Faktor valovitosti jw	2-2.5
Zaglađenost	JAKO HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	3
Faktor hrapavosti pukotina jR		6-7.5	

Broj	Orijentacija (°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	58/90		28-30
2	247/76		26-28
3	66/86		16-18
4	237/89		16-18
5	50/86		18-20

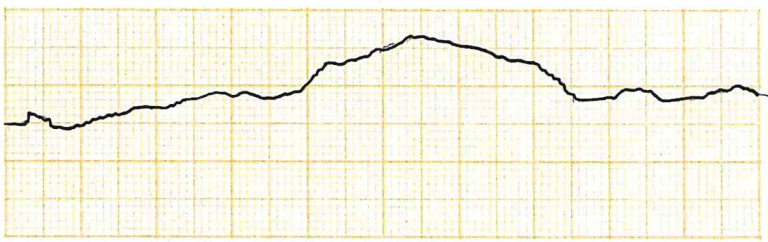
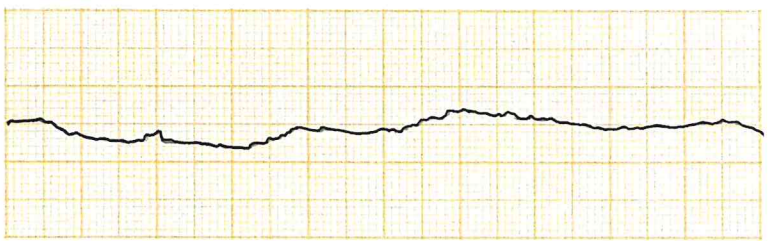

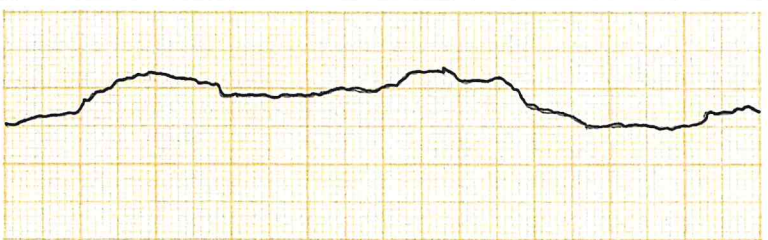
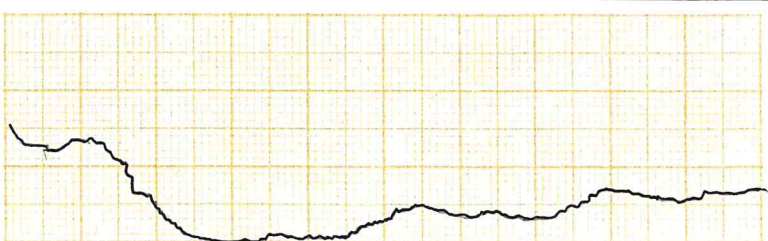
Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	54/88		24-26
7	247/86		16-18
8	58/88		26-28
9	60/81		18-20
10	62/76		28-30
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		16-30	

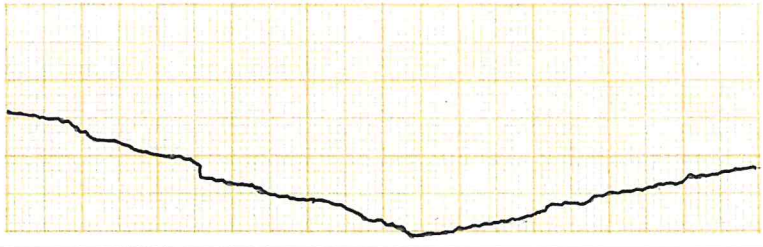
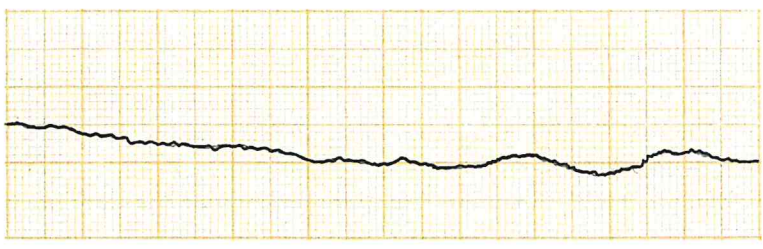
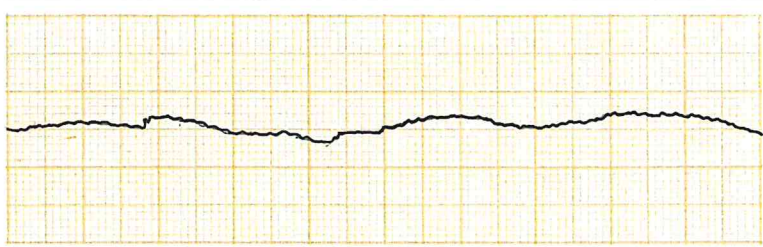
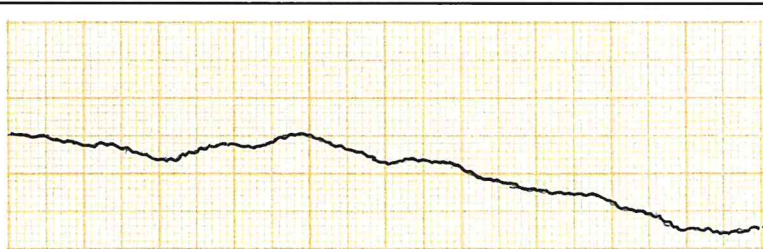

Duljina profila L (mm)	1000	Amplituda hrapavosti (mm)	24
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		10	

Zapis profila hrapavosti: Udajenost (mm) / Amplituda (mm)					
0/22	250/18	500/11	690/10	815/23	1000/14
15/9	380/24	550/10	735/10	870/10	
80/18	405/18	575/2	750/20	910/9	
140/0	430/18	820/2	765/15	935/9	
190/18	450/13	650/14	795/21	970/0	
					PRILOG 2-8

RGNF			
Objekt	KANFANAR	Lokacija	PS-2/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SEKUNDARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-O	Relativni kut (°)	0°

Valovitost	JAKO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	2
Zaglađenost	HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2
Faktor hrapavosti pukotina jR		4	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	175/88		26-28
2	4/78		12-14
3	140/86		28-30
4	325/77		18-20
5	327/78		22-24

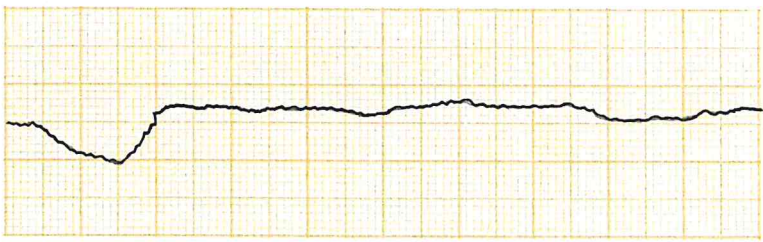
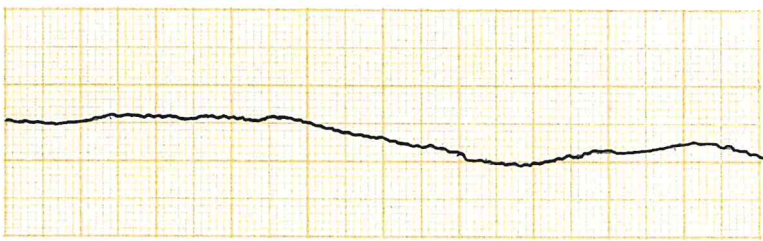
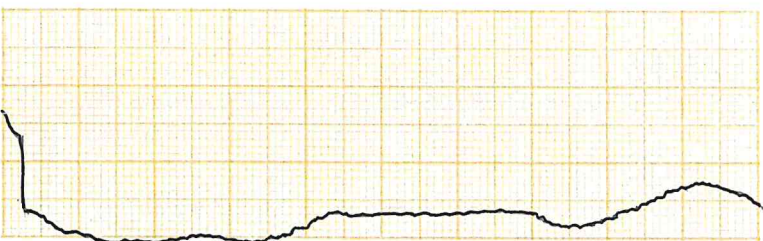
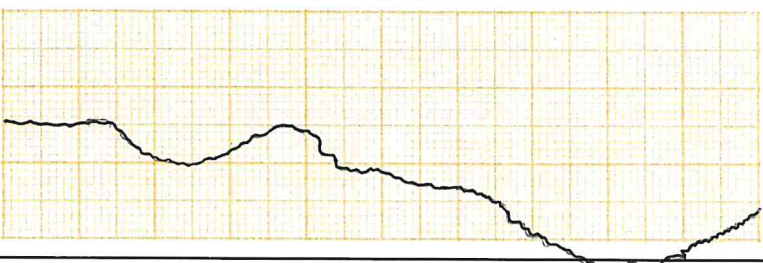
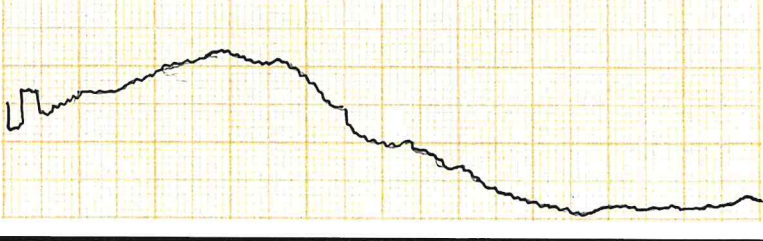
Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	175/82		22-24
7	186/80		8-10
8	182/82		6-8
9	158/85		14-16
10	160/88		12-14
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		6-28	

Duljina profila L (mm)	1000	Amplituda hrapavosti (mm)	82
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		≈ 32	

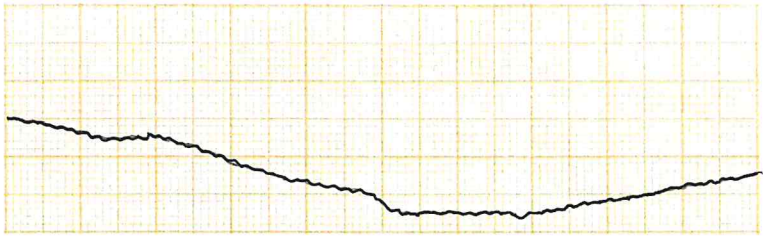
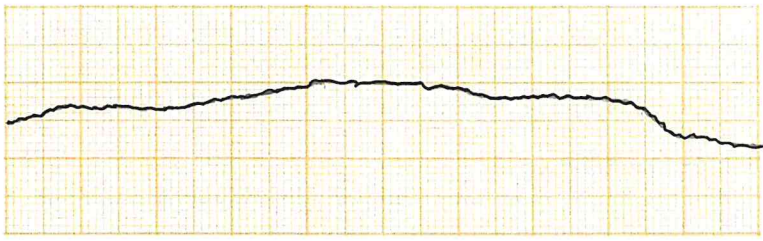
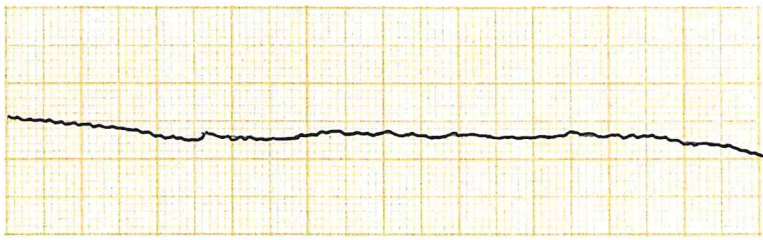
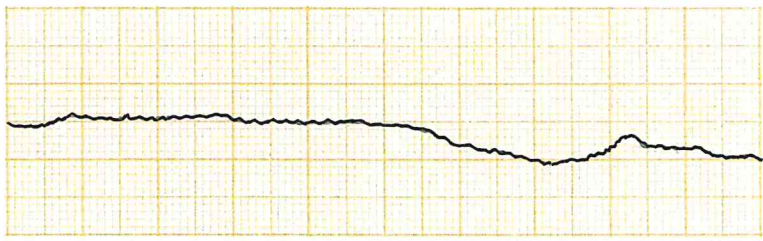

Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)				
0/48	240/0	410/61	720/26	995/29
60/32	260/38	425/77	810/0	1000/28
125/31	285/40	500/83	845/4	
180/12	325/30	550/86	900/23	
220/1	385/40	600/64	945/22	
				PRILOG 2-9

RGNF			
Objekt	KANFANAR	Lokacija	PS-2/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SEKUNDARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-45	Relativni kut (°)	45°

Valovitost	STEPENIČASTA	Faktor valovitosti jw	2.5
Zaglađenost	HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2
Faktor hrapavosti pukotina jR		5	

Broj	Orijentacija (°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	166 88		12-14
2	336 89		10-12
3	150 86		20-22
4	320 89		26-28
5	320 85		28-30



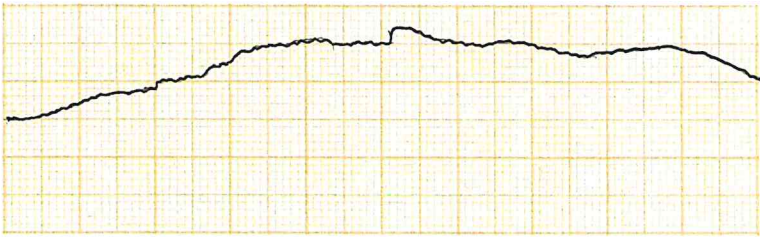
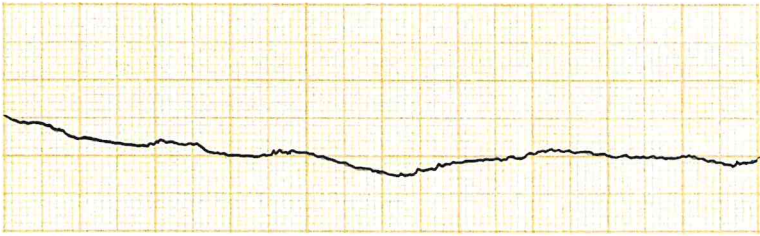
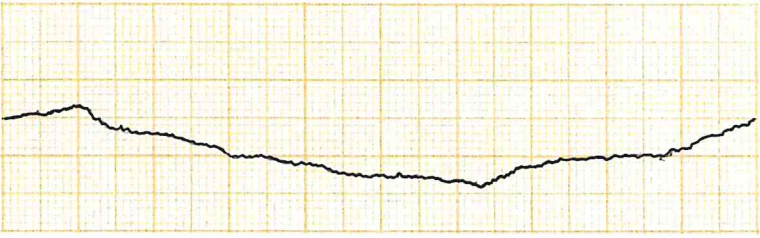
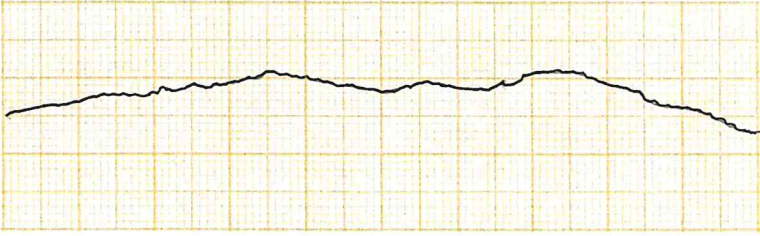
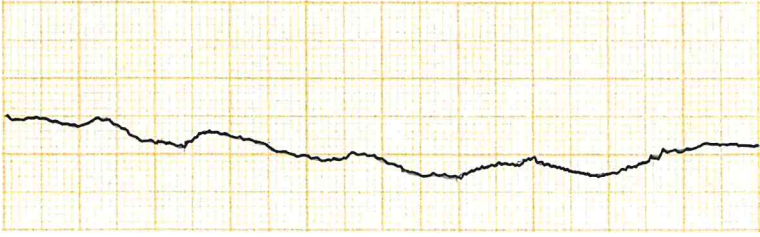
Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	352/89		14-16
7	4/85		12-14
8	10/86		6-8
9	177/87		8-10
10	334/65		24-26
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		6-30	

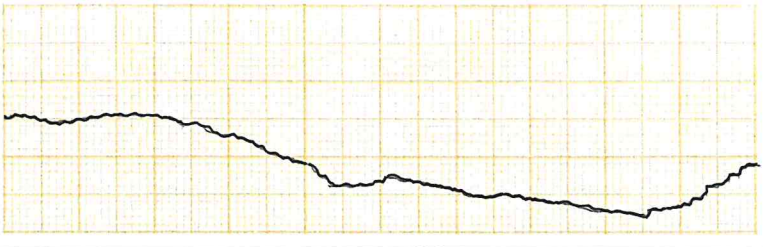
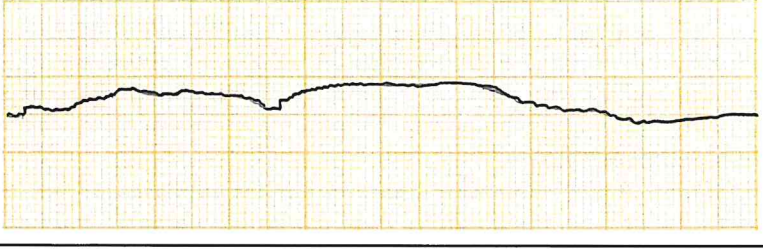
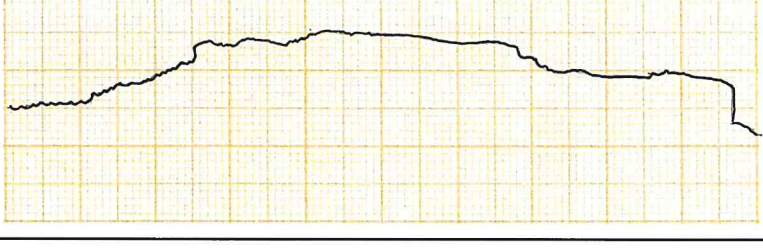
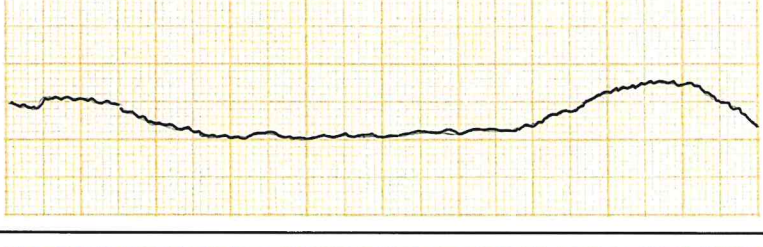
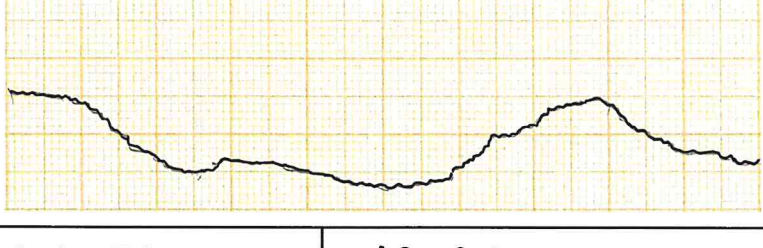
Duljina profila L (mm)	1000	Amplituda hrapavosti (mm)	73
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		≈ 26	

Zapis profila hrapavosti: Udajenost (mm) / Amplituda (mm)			
0/9	295/16	475/72	715/48
100/1	340/31	500/94	860/11
160/3	380/58	570/75	900/0
195/0	415/49	615/57	950/26
205/18	440/47	665/48	1000/47
			PRILOG 2-10

RGNF			
Objekt	KANFANAR	Lokacija	PS-2/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SEKUNDARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-90	Relativni kut (°)	90°

Valovitost	JAKO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	2
Zaglađenost	HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2
Faktor hrapavosti pukotina jR		4	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	170/88		18-20
2	170/89		16-18
3	350/88		16-18
4	148/88		16-18
5	327/88		16-18

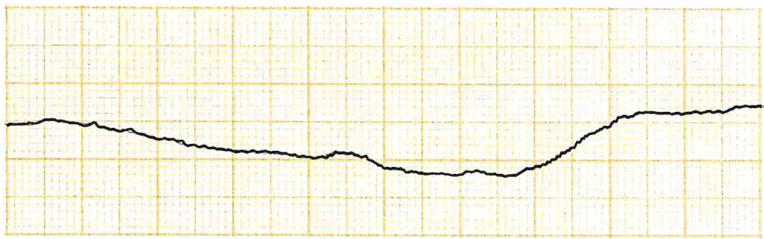
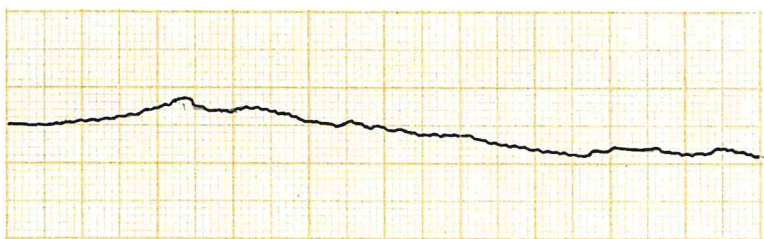
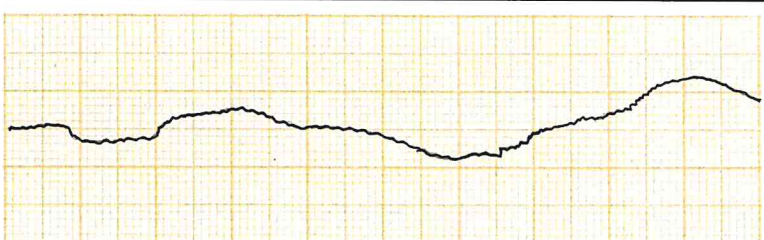
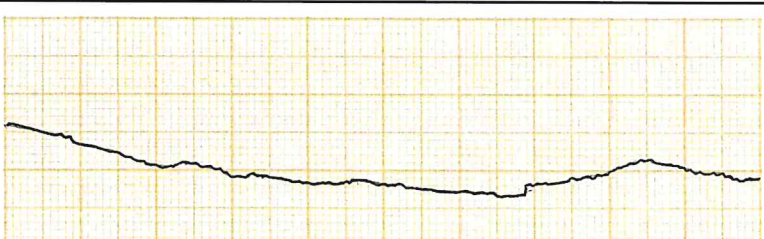
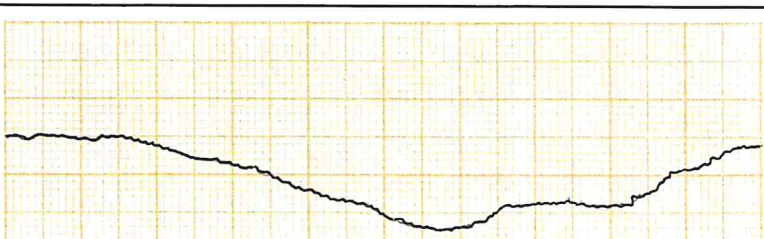
Broj	Orientacija (°/°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	156 86		18-20
7	338 88		12-14
8	338 78		28-30
9	318 88		14-16
10	138 86		26-28
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		12-30	

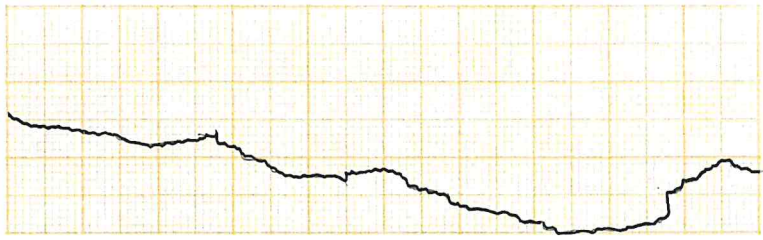
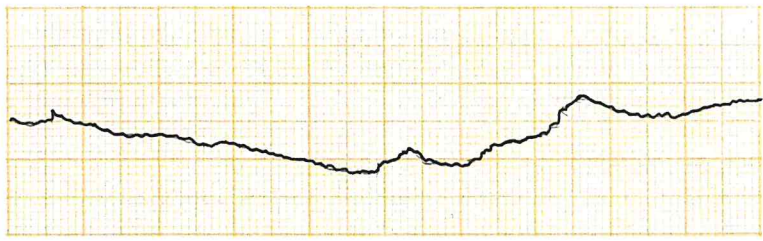
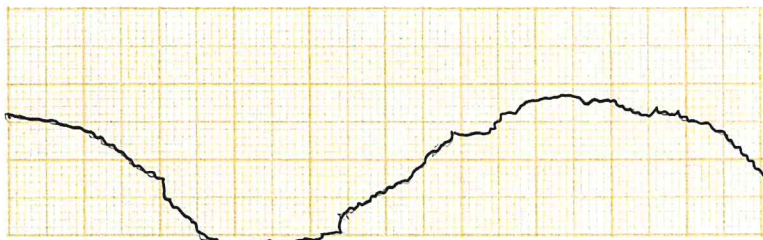
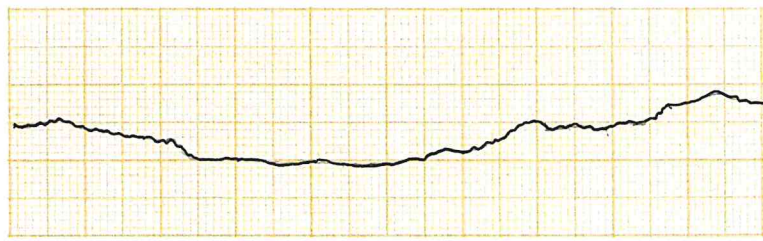
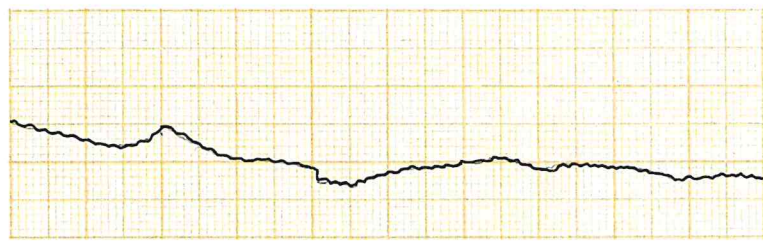
Duljina profila L (mm)	1000	Amplituda hrapavosti (mm)	36
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		16	

Zapis profila hrapavosti: Udajenost (mm) / Amplituda (mm)				
0 9	255 19	480 19	650 18	870 22
40 1	325 3	520 13	675 11	910 34
95 9	365 0	550 20	730 0	940 35
140 9	410 8	590 21	760 8	960 24
190 0	450 18	610 22	815 20	1000 32
				PRILOG 2-11

RGNF			
Objekt	KANFANAR	Lokacija	PS-2/20
Stijena	MASIVNI OKRŠENI VAPNENAC		
Diskontinuitet	SEKUNDARNI PUKOTINSKI SUSTAV		
Profil	P-135	Relativni kut (°)	135°

Valovitost	JAKO VALOVITA	Faktor valovitosti jw	2
Zaglađenost	HRAPAVA	Faktor zaglađenosti js	2
Faktor hrpavosti pukotina jR		4	

Broj	Orijentacija (°/°)	Profil hrpavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
1	163/89		10-12
2	176/87		8-10
3	171/84		18-20
4	180/84		12-14
5	345/83		14-16

Broj	Orijentacija (°)	Profil hrapavosti duljine 10 cm	JRC <sub>10</sub>
6	337 87		24-26
7	335 82		26-28
8	135 81		28-30
9	150 89		16-18
10	338 84		16-18
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC <sub>10</sub>		8-30	

Duljina profila L (mm)	1 000	Amplituda hrapavosti (mm)	48
Koeficijent hrapavosti pukotina JRC		≈ 22	

Zapis profila hrapavosti: Udaljenost (mm) / Amplituda (mm)					
0 2	210 15	390 33	610 32	840 16	950 7
10 0	235 13	455 42	660 40	895 4	975 2
65 10	260 20	480 45	680 29	900 5	1000 2
80 3	290 12	500 43	740 37	920 7	
130 0	370 34	560 46	780 10	930 3	
					PRILOG 2-12



KLASA: 602-04/20-01/236  
URBROJ: 251-70-03-21-2  
U Zagrebu, 02.02.2021.

**Klara Pelivan, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/236, UR. BROJ: 251-70-14-20-1 od 30.10.2020. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

### ODREĐIVANJE ZNAČAJKI DISKONTINUITETA U MASIVNIM VAPNENCIMA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu dr. sc. Petar Hrženjak, izvanredni profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

**Voditelj**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Petar Hrženjak

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i  
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)