Erozija ogolina u flišu središnje Istre

Gulam, Vlatko

Doctoral thesis / Disertacija

2012

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:169:592679

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Vlatko Gulam

EROZIJA OGOLINA U FLIŠU SREDIŠNJE ISTRE

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2012.

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF MINING, GEOLOGY
AND PETROLEUM ENGINEERING

Vlatko Gulam

THE EROSION OF FLYSCH BADLANDS IN THE CENTRAL ISTRIA

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Vlatko Gulam

EROZIJA OGOLINA U FLIŠU SREDIŠNJE ISTRE

DOKTORSKI RAD

Mentori:
Doc. dr. sc. Davor Pollak
Prof. dr. sc. Dunja Aljinović

Zagreb, 2012.

Mentori:

Dr. sc. Davor Pollak
Znanstveni suradnik pri Hrvatskom geološkom institutu, te naslovni docent pri Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu.

Dr. sc. Dunja Aljinović
Izvanredni profesor pri Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu.

Zahvala

…prof.dr.sc. Vladimiru Juraku na vrlo zanimljivoj temi;

…komentorici dr.sc. Dunji Aljinović i članovima komisije dr.sc. Ranku Žugaju i dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas na korisnim sugestijama i savjetima u kratkom vremenskom roku;

…dr.sc. Miroslavu Andriću na ustupljenim geofizičkim profilima;

…dr.sc. Željki Brkić i dr.sc. Renatu Buljanu na ukazanom povjerenju i podršci;

…dr.sc. Dubravku Gajskom na fotogrametrijskim izmjerama;

…studenticama Rudarsko-geološkog-naftnog fakulteta Ivani i Moniki na pomoći u laboratoriju;

…svim djelatnicima Hrvatskog geološkog instituta koji su doprinijeli mojem stručnom i znanstvenom usavršavanju, a posebno Laciju, Tihomiru, Nedeljku, Stanislavu, Nikolini, gđi. Vlasti, Mariju, Tomi, Dražu, Andreju, Hrvoju, Kseniji na nesebičnoj pomoći;

...mentoru dr.sc. Davoru Pollaku na savjetima, strpljenju i požrtvovnosti;

…roditeljima i sestri na podršci i poticajima;

…Nedeljki zbog koje sve ovo ima smisla.

SAŽETAK

Predmet ovog rada su ogoline koje na području središnje Istre predstavljaju izolirane reljefne jedinice. One nastaju u nepostojanom flišnom kompleksu na kojemu se razvija vrlo erozivni površinski tok vode. Ogoline uglavnom obilježava vrlo oskudan vegetacijski pokrivač te visoki godišnji iznosi denudacije. Također ih označava vrlo zamršen splet egzogenih procesa. Istraživanja prezentirana u ovom radu su imala za cilj određivanje najvažnijih čimbenika nastanka ogolina, te određivanje prosječnog godišnjeg iznosa denudacije na njima. Dostizanje navedenih glavnih ciljeva uvjetovalo je podjelu istraživanja na razinu uzorka, izdanka i regije (sliva). Najvažniji egzogeni proces izučavan na razini izdanka je fizičko trošenje, tj. otpornost na fizičko trošenje – postojanost. Zaključeno je da na postojanost najveći utjecaj imaju uvjeti kojima je na površini terena stijena bila izložena tijekom dužeg vremena. Na razini izdanka je određivan prosječni iznos denudacije i to pomoću tri metode (analogna i digitalna fotogrametrija, profilometarska mjerenja). Utvrđeno je da se on kreće od 1 do 4 cm na godinu, te da je veći tijekom intenzivnih kišnih pljuskova kojima je prethodilo dugotrajno sušno razdoblje. Najvažniji segment regionalnih istaživanja je izrada katastra ogolina kojim je utvrđeno da 2% od ukupne površine istraživanog prostora čine ogoline. Prostornim analizama u kombinaciji s različitim laboratorijskim istraživanjima je utvrđeno da nastanak i opstanak ogolina na području središnje Istre u prvom redu ovisi o pojavi koncentriranog površinskog toka u podnožju strmih padina. Kao krajnji produkt svih analiza provedenih u radu načinjena je karta podložnosti formiranju ogolina. Uz navedenu kartu preporučene su i administrativne mjere zaštite za svaku od na njoj prostorno definiranih kategorija osjetljivosti.

Ključne riječi: ogoline, erozija, postojanost, denudacija, razvoj reljefa, fliš, Istra

ABSTRACT

The topic of this thesis is badlands which in the central Istria area (west Croatia) represent isolated relief units. They are created in the volatile flysch complex on which surface water flow of high erosivity is developed. Badlands are mainly characterized by a very scanty vegetation cover and high annual amounts of denudation. They are also characterized by very complex exogenetic processes. High amounts of denudation, i.e. high sediment load productions cause problems in the form of filling in of Botonega artificial lake (water supply), and the low durability of flysch sediment causes *dispersion* of road cuttings and incisions, which often leads to blockage of drainage channels.

Research works presented in this paper were aimed to determinate the most important factors for badlands development and the average annual amount of denudation on them. Achieving these major objectives conditioned the division of research into the level of sample, outcrop and region (catchment area).

At the level of the sample researches were conducted in the laboratory and in the field. Mineral composition was determined together with physical and mechanical properties of flysch complex. Considering the badlands, the most important feature on the level of sample is the durability which represents resistance to physical weathering. It was determined in the laboratory on 223 samples and it was found that the growth of the ice crystals is the most devastating physical weathering process. It was also determined, indirectly through the mineral composition analysis, that the conditions, under which the rock is on the surface, are the most important factor that influences its durability.

Research at the outcrop level was primarily aimed at determining the amount of denudation and the identification of the climatic factors influencing denudation the most. Regarding that, four experimental plots (Šterna, Sv. Donat, Botonega and Boljun) were established in the field. On them, several parameters were monitored: the amount of denudation by 3 methods (analogue and digital photogrammetry and profilometric measurements), the air temperature and the amount and intensity of rainfall using automated measuring instruments (logger). The mentioned researches found out that the average amount of denudation in the central Istria on badland area ranges from 1 to 4 cm per year, and that the greatest amounts of denudation are the result of intense rainfalls (rains/showers), which were preceded by long dry periods.

Regional researches, i.e. researches on the level of the catchment area, began by defining the badlands spatial distribution. With this aim the badland cadastre was made by using digital orthophoto maps, scale 1:5000. It was found that in the research area (487 km^2) 2% of the area (10.7 km^2) is covered by badland. The map of bare surface was obtained from the badland cadastre, which has shown that the catchment areas with mouth in eastern, more tectonically active, part of the Istrian peninsula (catchment areas of Boljunšćica and Raša) are characterized by a larger share of the badlands than the catchment area of Mirna with mouth at tectonically less active western part of Istria. This is explained by the difference in relief development, which is conditioned by slower lowering of erosion base of the catchment areas in the eastern part than the ones in the western part of the Istrian peninsula.

Regional studies in combination with various laboratory techniques have yielded the definition of four basic engineering geological units in the explored area and the definition of four badland types on them. By different spatial analysis and field reconnaissance it was found that the concentration of the erosive water flow at the base of the steep slopes is the most important factor in the emergence and survival of badlands in central Istria. It was noted also that the thicker layers of impermanent marl facilitate the emergence of highly erosive Hortonian flow and therefore more frequent emergence of badlands on the parts of the terrain made of such layers. Thick layers of breccias, conglomerates and calcarenites condition the formation of cuesta below which the possibility of badland formation is greater.

As the end product of all analyses conducted in the thesis the map of susceptibility to badland formation was created. Four categories were defined on the map: very small, small, medium and large susceptibility to badland formation. Together with this map an administrative control measures were recommended for each of the spatial defined categories of sensitivity.

Keywords: badland, erosion, durability, denudation, relief development , flysch, Istria

SADRŽAJ

1 UVOD 1

1.1 SVRHA ISTRAŽIVANJA 2

1.2 CILJEVI ISTRAŽIVANJA 2

1.3 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA 3

2 TEORIJSKE OSNOVE 4

2.1 SISTEMATIZACIJA I DEFINICIJE EGZOGENIH PROCESA 4

2.2 TROŠENJE 5

2.3 DENUDACIJA 11

2.3.1 Erozija 12

2.3.1.1 Vrste i sistematizacija erozije 14

2.3.1.2 Pokretači erozije 16

2.3.1.2.1 Klima 16

2.3.1.2.2 Tlo i stijena 18

2.3.1.2.3 Reljef 19

2.3.1.2.4 Iskorištenost zemljišta 22

2.3.1.3 Procesi erozije 24

2.3.2 Pokreti masa (stijene ili tla) 25

2.3.2.1 Klizanje u stijeni 26

2.3.2.2 Odroni 27

2.4 TALOŽENJE ILI AKUMULACIJA 30

3 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 32

3.1 SVJETSKA ISTRAŽIVANJA OGOLINA 32

3.1.1 Pokretači nastanka ogolina 33

3.1.2 Iznos denudacije na svjetskim ogolinama 37

3.1.3 Procesi i reljefni oblici karakteristični za ogoline 39

3.2 PREGLED ISTRAŽIVANJA EROZIJE U HRVATSKOJ 43

3.2.1 Pregled istražiavanja erozije na području Istre 44

3.2.1.1 Pokusno polje Abrami 44

3.2.1.2 Istraživanje erozije na području središnje Istre (Siva Istra) 48
3.2.1.3 Istraživanje erozije na području sjeverne Istre (jugozapadna Slovenija) 52

4 ZNAČAJKE ŠIREG ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 57

4.1 GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTARSKOG POLUOTOKA 57

4.2 OSNOVNE GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTARSKOG POLUOTOKA 62
4.2.1 Stratigrafske jedinice Istarskog poluotoka 62
4.2.2 Tektonske jedinice Istarskog poluotoka 63

4.3 ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 64
4.3.1 Globigerinski lapori 67
4.3.2 Fliš 67

5 METODE ISTRAŽIVANJA 69

5.1 METODE ISTRAŽIVANJA NA UZORCIMA (MJERILO UZORKA) 69
5.1.1 Metode određivanja mineralnog sastava 70
5.1.1.1 Kalcimetrija 70
5.1.1.2 Rendgenska difrakcija 71
5.1.1.3 Mikropetrografska analiza 72
5.1.2 Fizikalne značajke stijenskog materijala 72
5.1.2.1 Određivanje postojanosti uzoraka 72
5.1.2.2 Indeks plastičnosti 75
5.1.2.3 Prirodna vlažnost 76
5.1.3 Mehaničke značajke 77
5.1.3.1 Određivanje čvrstoće u točki 77
5.1.3.2 Određivanje Schmidtovog odskoka 77

5.2 METODE ISTRAŽIVANJA VEZANE UZ MJERILO IZDANKA 79
5.2.1 Određivanje udjela litoloških komponenti 79
5.2.2 Mjerenje klimatskih veličina 81
5.2.2.1 Temperatura zraka 81
5.2.2.2 Količina oborina (kiše) 82
5.2.3 Mjerenje iznosa denudacije 83
5.2.3.1 Mjerenje razlike u težini 85
5.2.3.2 Mjerenje promjena u razini površine terena 85
5.2.3.2.1 Erozijski klinovi 85
5.2.3.2.2 Profilometri 86

5.2.3.2.3 Fotogrametrijske metode 89
5.2.3.3 Skupljanje sedimenta s pokusnih parcela i slivova 94

5.3 METODE PROSTORNE ANALIZE (REGIONALNO MJERILO) 94

6 REZULTATI ISTRAŽIVANJA 96

6.1 INŽENJERSKOGEOLOŠKE JEDINICE ISTRAŽIVANOG PROSTORA 96
6.1.1 Inženjerskogeološka jedinica 1 99
6.1.2 Inženjerskogeološka jedinica 2 103
6.1.3 Inženjerskogeološka jedinica 3 107
6.1.4 Inženjerskogeološka jedinica 4 114

6.2 POKUSNE PARCELE 120
6.2.1 Ogolina Šterna 121
6.2.1.1 Čvrstoća globigerinskih lapora na ogolini Šterna 122
6.2.1.2 Iznos uzmicanja bokova jaruga na pokusnoj parceli Šterna 124
6.2.2 Ogolina Sv. Donat 125
6.2.2.1 Odnos kompetentnih i nekompetentnih slojeva 127
6.2.2.2 Čvrstoća flišnih naslaga na ogolini Sv. Donat 127
6.2.2.3 Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Sv. Donat 129
6.2.2.4 Oborine i temperatura na ogolini Sv. Donat 132
6.2.3 Ogolina Botonega 133
6.2.3.1 Čvrstoća flišnih naslaga na ogolini Botonega 134
6.2.3.2 Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Botonega 136
6.2.3.3 Oborine i temperatura na ogolini Botonega 139
6.2.4 Ogolina Boljun 140
6.2.4.1 Odnos kompetentnih i nekompetentnih slojeva 141
6.2.4.2 Čvrstoća flišnih naslaga na ogolini Boljun 142
6.2.4.3 Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Boljun 144
6.2.4.4 Oborine i temperatura na ogolini Boljun 147

6.3 REGIONALNA ISTRAŽIVANJA 148
6.3.1 Katastar ogolina 148
6.3.2 Prostorna distribucija udjela ogolina 154

7 DISKUSIJA 156

7.1 POSTOJANOST LAPORA 156
7.1.1 Fizičko trošenje 156

7.1.2 Utvrđivanje optimalne metode procjene postojanosti 157
7.1.3 Utjecaj vrste minerala glina na postojanost 160
7.1.4 Postojanost lapora definiranih inženjerskogeoloških jedinica 164

7.2 ISTRAŽIVANJA NA POKUSNIM PARCELAMA 166
7.2.1 Denudacijski faktori na razini izdanka 166
7.2.1.1 Litologija 166
7.2.1.2 Klimatski čimbenici 167
7.2.2 Utvrđivanje optimalne metode mjerenja denudacije 172

7.3 PROSTORNE ANALIZE 174
7.3.1 Nagib terena 174
7.3.2 Energija reljefa 177
7.3.3 Aspekt padina 180
7.3.4 Postojanost lapora 183
7.3.5 Razvoj reljefa 186
7.3.5.1 Sliv 9 190
7.3.5.1.1 Zone razvoja reljefa 192
7.3.5.2 Sliv 6 195
7.3.5.3 Sliv 8 196
7.3.5.4 Sliv 7 198
7.3.5.5 Sliv Botonege 200
7.3.5.6 Sliv Boljunšćice 202
7.3.5.7 Sliv Borutskog potoka 204
7.3.5.8 Sliv Raše 206
7.3.5.9 Sliv Mirne 209
7.3.5.10 Model razvoja reljefa za prostor središnje Istre 210

7.4 FAKTORI NASTANKA OGOLINA 213
7.4.1 Utjecaj litologije na nastanak ogolina 213
7.4.1.1 Debeli paketi lapora 213
7.4.1.2 Energetske stepenice 216
7.4.1.3 Orijentacija sloja 220
7.4.2 Meandriranje tokova viših redova 222
7.4.3 Čovjek kao inicijator nastanka ogolina 223

7.5 KARTA PODLOŽNOSTI FORMIRANJU OGOLINA 226

7.6 TIPOVI OGOLINA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE 230
7.6.1 TIP 1 - Zavjesasti tip ogolina 230

7.6.2 TIP 2 - Ogoline amfiteatralnog tipa 232
7.6.3 TIP 3 - Ogoline lepezastog tipa u IG jedinici 2 i 4 233
7.6.4 TIP 4 – Ogoline lepezastog tipa u IG cjelini 3 235

7.7 INŽENJERSKI ASPEKTI EROZIJE 240
7.7.1 Zone trošenja 240
7.7.1.1 Zone trošenja u IG jedinici 2 i 4 240
7.7.1.2 Zone trošenja u IG jedinici 3 243
7.7.2 Usporedba GSI vrijednosti definiranih IG jedinica 245
7.7.3 Mjere zaštite od erozije ogolina na području središnje Istre 247
7.7.3.1 Preporuke zaštite od denudacije na ogolinama 249
7.7.3.1.1 Spriječavanje uzmicanja energetskih stepenica 250
7.7.3.1.2 Spriječavanje uzmicanja ogolina nastalih na meandrima 253
7.7.3.1.3 Pošumljavanje ogolina u zoni 1 254
7.7.3.2 Administrativne mjere za zaštitu od denudacije 255

8 ZAKLJUČAK 258

9 LITERATURA 263

POPIS SLIKA

SLIKA 1 – DIJAGRAM SISTEMATIZACIJE EGZOGENIH PROCESA 5
SLIKA 2 – FIZIČKO TROŠENJE UZROKOVANO, IZMEĐU OSTALOG, RASTOM KORIJENJA 10
SLIKA 3 – PROCES NASTANKA STIJENA (PLUMMER I DR., 2005) 13
SLIKA 4 – SISTEMATIZACIJA EROZIJE 15
SLIKA 5 - A) OBLICI PADINA; B) RASPODJELA EROZIJE I TALOŽENJA NA RAZLIČITIM OBLICIMA PADINA (TOY I DR. 2002) 20
SLIKA 6 - DIJELOVI RELJEFA S RAZLIČITIM REŽIMIMA EROZIJE (TOY I DR., 2002) 21
SLIKA 7 - UTJECAJ POVRŠINSKOG POKRIVAČA NA EROZIJU IZAZVANU UDAROM KIŠNIH KAPI I POVRŠINSKIM TEČENJEM (TOY I DR., 2002) 24
SLIKA 8 - VEZA IZMEĐU KOLIČINE NOŠENOG MATERIJALA, KAPACITETA TRANSPORTA KOLIČINE ODVAJANJA I TALOŽENJA (TOY I DR., 2002) 25
SLIKA 9 – RAVNI LOM 27
SLIKA 10 – OSIPAVANJE U LAPORIMA (LOKACIJA ŠTERNA) 28
SLIKA 11 – ISPADANJE (PREVRTANJE) BLOKOVA U FLIŠU (LOKACIJA BRUS) 29
SLIKA 12 – ODRONJENI BLOKOVI U SUHOM KORITU JARUGE (LOKACIJA ŠIRE PODRUČJE GRIMALDE) 30
SLIKA 13 – TALOŽENJE MATERIJALA NASTALOG TROŠENJEM I EROZIJOM LAPORA (LOKACIJA ISTOČNO OD BOLJUNA) 31
SLIKA 14 – A) DINOSAUR PROVINCIAL PARK; B) HENRY MOUNTAINS 32
SLIKA 15 – INKREMENTALNI EKSPERIMENT TROŠENJA NA GLINJACIMA IZ DINOSAUR PARKA, ALBERTA, KANADA (KASANIN-GRUBIN I BRYANA, 2007) 35
SLIKA 16 - MEHANIZAM VERTIKALNOG PRODUBLJIVANJA JARUGA 40
SLIKA 17 – PUNJENJE BRAZDI VODOM KROZ PUKOTINE NASTALE FIZIČKIM TROŠENJEM (IMESON I VERSTRAREN, 1988) 41
SLIKA 18 – KONCEPTUALNI PRIKAZ RELJEFA NA OGOLINAMA S KARAKTERISTIČNIM POJAVAMA I PROCESIMA (CAMPBELL, 1997) 43
SLIKA 19 – SHEMA PREKLAPANJA TEMATSKIH KARATA (BOGUNOVIĆ, 2000) 44
SLIKA 20 - ISTRAŽIVAČKA PARCELA 1 (PETRAŠ I DR., 2008) 46
SLIKA 21 - POKUSNE PARCELE NA POLJU ABRAMI (PETRAŠ I DR., 2008) 47
SLIKA 22 - PRIKAZ EROZIJSKE PRODUKCIJE U M^3/KM^2/GOD NA PARCELI BR.2 ZA RAZDOBLJE 2003-2007. G. (ZA ISKAZIVANJE PRODUKCIJE U M^3/KM^2/GOD USVOJENA JE ZAPREMINSKA MASA NANOSA PZ=1,2 T/M^3) (PETRAŠ I DR., 2008) 47
SLIKA 23 - METODOLOGIJA KARTIRANJA OBORINAMA PROUZROČENE EROZIJE U MEDITERANSKOM OBALNOM PODRUČJU (HUSNJAK, 2001) 49
SLIKA 24 - HVATANJE NANOSA POMOĆU PREGRADA NA STRMIM FLIŠNIM OGOLINAMA JUGOZAPADNE SLOVENIJE (ZORN, 2009) 53
SLIKA 25 - PRODUKCIJA NANOSA NA STRMIM FLIŠNIM OGOLINAMA PO MJESECIMA (ZORN, 2009) 53

SLIKA 26 - PREGRADNO MJESTO U JARUGI (ZORN, 2009) 54
SLIKA 27 - SEZONSKI TRANSPORT FLIŠNOG MATERIJALA U JARUGAMA (ZORN, 2009) 55
SLIKA 28 - IZNOS EROZIJE NA RAZLIČITIM POVRŠINAMA U SLIVU RIJEKE DRAGONJE (PREMA ZORNU, 2009) 55
SLIKA 29 - PREGLEDNA KARTA ISTARSKOG POLUOTOKA 58
SLIKA 30 - A) SREDNJA GODIŠNJA KOLIČINA OBORINA (GAJIĆ-ČAPKA I DR. 2003); B) SREDNJA GODIŠNJA TEMPERATURA ZRAKA (ZANINOVIĆ I DR. 2004) 59
SLIKA 31 - ISKORIŠTENOST ZEMLJIŠTA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA PREMA CORINE-U (2006) 60
SLIKA 32 – KARTA RAŠČLANJENOSTI RELJEFA ISTRE 61
SLIKA 33 – PRIKAZ STRATIGRAFSKIH JEDINICA ISTARSKOG POLUOTOKA (VELIĆ I DR., 2003) 63
SLIKA 34 – TEKTONSKE JEDINICE ISTARSKOG POLUOTOKA (POLŠAK I ŠIKIĆ, 1973) 64
SLIKA 35 – KARTA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 65
SLIKA 36 - SHEMATSKI GEOLOŠKI STUP PROFILA KOTLI U SREDIŠNJOJ ISTRI (BERGANT I DR., 2003) 66
SLIKA 37 - PRIJELAZNE NASLAGE S RAKOVICAMA KAO EROZIONA BAZA JARUGE NA LOKALITETU ŠTERNA 66
SLIKA 38 - SHEMATSKI PRIKAZ BOUMINE SEKVENCIJE (TIŠLJAR, 2004.) 68
SLIKA 39 - RASPROSTRANJENOST FLIŠNIH FACIJESA (MARINČIĆ, 1981) 68
SLIKA 40 – IZDVAJANJE ODLOMAKA MANJIH OD 1 CM U TESTU ODREĐIVANJA POSTOJANOSTI 73
SLIKA 41 – FOTOGRAFIRANJE UZORAKA PODVRGNUTIH TESTU ODREĐIVANJA POSTOJANOSTI 74
SLIKA 42 – PLASTIČNOST UZORAKA U FUNKCIJI GLAVNOG MINERALA GLINA (HAJJAJI I DR., 2010) 76
SLIKA 43 – TESTIRANJE SCHMIDTOVIM ČEKIĆEM NA TERENU 79
SLIKA 44 – KOMPETENTNI I NEKOMPETENTNI SLOJEVI NA OGOLINI SV. DONAT 80
SLIKA 45 - MJERENJE DEBLJINE SLOJEVA LAPORA I PJEŠČENJAKA NA OGOLINI BOLJUN 80
SLIKA 46 – UREĐAJ ZA MJERENJE TEMPERATURE ZRAKA POSTAVLJEN NA TERENU 81
SLIKA 47 – KIŠOMJER MARKE HOBO 82
SLIKA 48 – POSTAVLJANJE KIŠOMJERA – A) NA KLIN; B) NA STUP OD OGRADE 83
SLIKA 49 – A) PROFILOMETAR NA PRINCIPU MOSTA (TOY, I DR., 2002); B) PROFILOMETAR S FOTOAPARATOM (MCCOOL I DR., 1981) 87
SLIKA 50 - PROFILOMETAR 87
SLIKA 51 - POSTAVLJANJE I MJERENJE NULTOG PROFILA POMOĆU PROFILOMETARA NA OGOLINI BOLJUN 88
SLIKA 52 - SHEMATSKI PRIKAZ CENTRALNE PROJEKCIJE S PRIKAZOM VANJSKOG I UNUTARNJEG KOORDINATNOG SUSTAVA (KRAUS, 2006) 90
SLIKA 53 – NORMALAN SLUČAJ STEREORESTITUCIJE 91
SLIKA 54 - RASPORED TERENSKIH TOČAKA NA ISTRAŽIVANOM PROSTORU 98
SLIKA 55 – KARBONATNI MEGASLOJ UNUTAR FLIŠNE SERIJE NASLAGA (BERGANT I DR., 2003) 99
SLIKA 56 – ODNOS IG JEDINICE 1, 2 I 3 (LOKACIJA – 1.5 KM ISTOČNO OD GRIMALDE) 100
SLIKA 57 – IZDANAK IG JEDINICE 1 S RAZVIJENIM I DEBRITNIM I TURBIDITNIM INTERVALOM (LOKACIJA 1 KM ISTOČNO OD GRIMALDE) 101
SLIKA 58 - GUSTO ZBIJENI, DOBRO SORTIRANI BIOKALKRUDIT (KOLOKVIJALNI NAZIV "FORAMINIFERSKA MIKROBREČA") 102

SLIKA 59 - IZDANAK IG JEDINICE 2 (LOKACIJA - VRH) 103
SLIKA 60 – RENDGENOGRAM UZORKA DV-45 – IG JEDINICA 2 104
SLIKA 61 – RENDGENOGRAM ORIJENTIRANOG UZORKA DV-45 (IG JEDINICA 2) 105
SLIKA 62 – GSI VRIJEDNOSTI ZA IG JEDINICU 2 (GSI DIJAGRAM PREMA MARINOS I HOEK, 2001) 107
SLIKA 63 - IZDANAK IG JEDINICE 3 (LOKACIJA – 2.5 KM JUGOZAPADNO OD LUPOGLAVA) 108
SLIKA 64 - DOBRO SORTIRANI KALKLITIT/LITOARENITI 109
SLIKA 65 - RENDGENOGRAM UZORAKA – A) DV-54 I B) DV-13 – IG JEDINICA 3 111
SLIKA 66 - RENDGENOGRAMI ORIJENTIRANIH UZORAKA – A) DV-54; B) DV-13 (NEKOMPETENTNI ČLANOVI IG JEDINICE 3) 112
SLIKA 67 - GSI VRIJEDNOSTI ZA IG JEDINICU 3 (GSI DIJAGRAM PREMA MARINOS I HOEK, 2001) 114
SLIKA 68 – TERENSKE TOČKE S GLOBIGERINSKIM LAPORIMA 115
SLIKA 69 – NASLAGE GLOBIGERINSKIH LAPORA I PJEŠČENJAKA U BLIZINI MJESTA ŠUMBER 116
SLIKA 70 - RENDGENOGRAM UZORKA S-159-7-9 - IG JEDINICA 4 117
SLIKA 71 - RENDGENOGRAM ORIJENTIRANOG UZORKA S-159-7-9 (IG JEDINICA 4) 118
SLIKA 72 – GSI VRIJEDNOSTI ZA IG JEDINICU 4 (GSI DIJAGRAM PREMA MARINOS I HOEK, 2001) 120
SLIKA 73 - ORTOFOTO SNIMKA OGOLINE ŠTERNA I ŠIRE OKOLICE 121
SLIKA 74 - POZICIJA OGOLINE ŠTERNA NA LISTU OGK TRST (PLENIČAR I DR., 1965) 122
SLIKA 75 - PRIKAZ MJESTA NA KOJIMA SU UZETI UZORCI ZA PLT ANALIZU TE MJESTA NA KOJIMA JE IZVRŠENO TESTIRANJE SCHMIDTOVIM ČEKIĆEM NA OGOLINI ŠTERNA 123
SLIKA 76 - ORTOFOTO SNIMKA OGOLINE SV. DONAT I ŠIRE OKOLICE 126
SLIKA 77 - POZICIJA OGOLINE SV. DONAT NA LISTU OGK TRST (PLENIČAR I DR., 1965) 126
SLIKA 78 - PRIKAZ MJESTA NA KOJIMA SU UZETI UZORCI ZA PLT ANALIZU TE MJESTA NA KOJIMA JE IZVRŠENO TESTIRANJE SCHMIDTOVIM ČEKIĆEM NA OGOLINI SV. DONAT 128
SLIKA 79 – ISTRAŽIVAČKA PARCELA NA OGOLINI SV. DONAT 130
SLIKA 80 - ORTOFOTO SNIMKA OGOLINE BOTONEGA I ŠIRE OKOLICE 133
SLIKA 81 - POZICIJA OGOLINE BOTONEGA NA LISTU OGK ROVINJ (POLŠAK I ŠIKIĆ, 1963) 134
SLIKA 82 – TESTIRANJE SCHMIDTOVE ČVRSTOĆE NA RAZLIČITIM DUBINAMA OGOLINE BOTONEGA 135
SLIKA 83 - POLOŽAJ DETALJA NA OGOLINI BOTONEGA 137
SLIKA 84 - ORTOFOTO SNIMKA OGOLINE BOLJUN I ŠIRE OKOLICE 140
SLIKA 85 – POZICIJA OGOLINE BOLJUN NA LISTU OGK LABIN (ŠIKIĆ I DR., 1967) 141
SLIKA 86 - PRIKAZ MJESTA NA KOJIMA SU UZETI UZORCI ZA PLT ANALIZU TE MJESTA NA KOJIMA JE IZVRŠENO TESTIRANJE SCHMIDTOVIM ČEKIĆEM NA OGOLINI BOLJUN 143
SLIKA 87 - ISTRAŽIVAČKA PARCELA NA OGOLINI BOLJUN 145
SLIKA 88 – PRIMJERI OGOLINA RAZLIČITIH KATEGORIJA 150
SLIKA 89 – PROSJEČNA POVRŠINA I BROJ POLIGONA POJEDINIH KATEGORIJA OGOLINA 151
SLIKA 90 – RAZDIOBA KATEGORIJA POVRŠINA OGOLINA 152
SLIKA 91 – KATASTAR OGOLINA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE 153
SLIKA 92 – KARTA UDJELA OGOLJELIH POVRŠINA 155

SLIKA 93 – UTJECAJ RAZLIČITIH FIZIČKIH PROCESA TROŠENJA NA POSTOJANOST UZORAKA 157
SLIKA 94 – OVISNOST POSTOJANOSTI LAPORA O DRUGIM PARAMETRIMA: A) POSTOJANOST – PRIRODNA VLAŽNOST; B) POSTOJANOST – INDEKS PLSTIČNOSTI; C) POSTJANOST – UDIO KALCITA; D) POSTOJANOST – SCHMIDTOV ODSKOK 158
SLIKA 95 – DIJAGRAM INDEKS PLASTIČNOSTI – PRIRODNA VLAŽNOST - POSTOJANOST 160
SLIKA 96 – OVISNOST POSTOJANOSTI O VRSTI MINERALA GLINA 162
SLIKA 97 – OGOLINE S RAZLIČITIM INTENZITETOM DENUDACIJSKIH PROCESA; A) OGOLINA S VISOKIM IZNOSIMA UZMICANJA BOKA JARUGE; B) OGOLINE OBRASLE VEGETACIJOM U IG JEDINICI 3 163
SLIKA 98 – PROSJEČANA POSTOJANOST NEKONPETENTNIH ČLANOVA IG JEDINICA ZA SVE PROVEDENE SERIJE TESTIRANJA 164
SLIKA 99 – STANDARDNA DEVIJACIJA POSTOJANOSTI NEKOMPETENTNIH ČLANOVA IG JEDINICE ZA SVE PROVEDENE SERIJE TESTIRANJA 165
SLIKA 100 – USPOREDBA POSTOJANOSTI UZORAKA LAPORA I VRIJEDNOSTI UZMICANJA BOKOVA BRAZDI DOBIVENIH RAZLIČITIM METODAMA 167
SLIKA 101 – USPOREDBA VRIJEDNOSTI UZMICANJA BOKOVA JARUGA I VAŽNIJIH KLIMATOLOŠKIH FAKTORA. 170
SLIKA 102 – KOLIČINA I INTENZITET OBORINA NA OGOLINI SV. DONAT A) RAZDOBLJE OD 15.4.2009 DO 15.9.2009; B) RAZDOBLJE OD 15.4.2010 DO 15.9.2010 171
SLIKA 103 – HISTOGRAM RAZDIOBE KATEGORIJA NAGIBA I UDJELA OGOLINA U POJEDINOJ KATEGORIJI 175
SLIKA 104 – KARTA NAGIBA TERENA NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU 176
SLIKA 105 - HISTOGRAM RAZDIOBE KATEGORIJA ENERGIJE RELJEFA I UDJELA OGOLINA U POJEDINOJ KATEGORIJI 177
SLIKA 106 - KARTA ENERGIJE RELJEFA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 179
SLIKA 107 – PROSTORNA DISTRIBUCIJA ASPEKTA PADINA I ASPEKTA OGOLINA NA ISTRAŽIVANOM PROSTORU 181
SLIKA 108 - KARTA ASPEKTA PADINA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 182
SLIKA 109 – KORELACIJA UDJELA OGOLINA I POSTOJANOSTI LAPORA IZ IG JEDINICE 3 184
SLIKA 110 – PROSTORNI RASPORED KRUŽNICA S PRIPADAJUĆOM KATEGORIJOM POSTOJANOSTI NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU (SAMO LAPORI IZ IG JEDINICE 3) 185
SLIKA 111 – MODEL SUKCESIVNIH STADIJA RAZVOJA RELJEFA NAKON TRENUTNOG SNIŽAVANJA EROZIONE BAZE (HOWARD, 1994) 186
SLIKA 112 – PREGLEDNA KARTA VEĆIH I MANJIH SLIVOVA NA ISTRAŽIVANOM PROSTORU 189
SLIKA 113 – PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA ZA SLIV 9 191
SLIKA 114 – ZONE U RAZLIČITOM STADIJU RAZVOJA RELJEFA NA SLIVU POTOKA SPOD GRAČIŠĆA 194
SLIKA 115 – PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA ZA SLIV 6 196
SLIKA 116 - PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA ZA SLIV 8 197
SLIKA 117 – MEGASLOJ NA SLIVU 7: A) BREČE I KALKARENITI (IG JEDINICA 1); B) LAPORI (IG JEDINICA 2) (LOKACIJA OKOLICA GRIMALDE) 198
SLIKA 118 - PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA ZA SLIV 7 199

SLIKA 119 - PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA ZA SLIV BOTONEGE 201
SLIKA 120 - PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA ZA DIO SLIVA BOLJUNŠČICE 203
SLIKA 121 - PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA SLIV BORUTSKOG POTOKA 206
SLIKA 122 - PROSTORNA ANALIZA RAZVOJA RELJEFA SLIVA RAŠE 208
SLIKA 123 – SHEMATSKI PRIKAZ RAZVOJA RELJEFA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE 212
SLIKA 124 – LEPEZASTI TIP OGOLINA U IG JEDINICI 2 215
SLIKA 125 – POVRŠINSKI TOK NA KALKARENITIMA IZ IG JEDINICE 1 (EROZIJSKO POPLOČENJE U SLIVU KURBUNSKOG POTOKA) 216
SLIKA 126 – MIKRO ENERGETSKE STEPENICE U IG JEDINICI 3 (OGOLINA U SLIVU VLAŠKOG POTOKA) 217
SLIKA 127 – IG JEDINICA 1 KAO MAKRO ENERGETSKA STEPENICA (PODRUČJE IZMEĐU PAZA I BOLJUNA) 218
SLIKA 128 – ENERGETSKA STEPENICA NA KONTAKTU KALKARENITA I LAPORA (ŠIRE PODRUČJE GRIMALDE) ... 219
SLIKA 129 – ASPEKT OGOLINA NA SLIVU BOLJUNŠĆICE 220
SLIKA 130 – NAPREDOVANJE DENUDACIJE KAO POSLJEDICA NAGIBA OSNOVNOG STRUKTURNOG SKLOPA 221
SLIKA 131 – STVARANJE OGOLINA NA VANJSKIM OBODIMA MEANDARA 223
SLIKA 132 - OGOLINE BLAGOG NAGIBA U IG JEDINICI 3 225
SLIKA 133 - MAKADAMSKI PUTEVI KAO UZROK NASTAJANJA OGOLINA 226
SLIKA 134 – KARTA PODLOŽNOSTI (OSJETLJIVOSTI) FORMIRANJU OGOLINA 229
SLIKA 135 – PRIMJER OGOLINE TIPA 1 (LOKACIJA – SV. DONAT) 231
SLIKA 136 – DETALJ OGOLINE TIPA 1 (LOKACIJA SV. DONAT) 232
SLIKA 137 - PRIMJER OGOLINE TIPA 2 (OKOLICA GRIMALDE) 233
SLIKA 138 – PANORAMA OGOLINE TIPA 2 (LOKACIJA – OKOLICA GRIMALDE) 233
SLIKA 139 - PRIMJER OGOLINE TIPA 3 (LOKACIJA – PAZ) 234
SLIKA 140 - PANORAMA OGOLINE TIPA 3 (LOKACIJA – ŠTERNA) 235
SLIKA 141 - PRIMJER OGOLINA TIPA 4 (LOKACIJA – ZAPADNO OD BORUTA) 236
SLIKA 142 - DETALJ OGOLINE TIPA 4 (LOKACIJA 1 KM JUGOISTOČNO OD CEROVLJA) 237
SLIKA 143 – LANAC EGZOGENIH PROCESA KAO PREDUVJET NASTANKA OGOLINA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE 239
SLIKA 144 – GEOFIZIČKI PROFILI NA OGOLINI BOTONEGA 241
SLIKA 145 - GEOFIZIČKI PROFILI NA OGOLINI ŠTERNA 242
SLIKA 146 – SHEMATSKI PROFIL ZONA TROŠENJA U IG JEDINICI 2 – OGOLINE TIPA 3 242
SLIKA 147 – ZONE TROŠENJA U IG JEDINICI TRI NA OGOLINI TIPA 1 (LOKACIJA – SV. DONAT) 243
SLIKA 148 – PROSTORNI ODNOS ZONA TROŠENJA NA OGOLINAMA TIPA 1 I 2 244
SLIKA 149 - PROSTORNI ODNOS ZONA TROŠENJA NA OGOLINAMA TIPA 4 244
SLIKA 150 – GSI VRIJEDNOSI DEFINIRANIH IG JEDINICA 247
SLIKA 151 – MJERE ZAŠTITE OD EROZIJE NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE – A) PRELJEV; B) RETENCIJA 249
SLIKA 152 – NEZAŠTIČENA ENERGETSKA STEPENICA U SLIVU 9 251
SLIKA 153 – NEZAŠTIČENA ENERGETSKA STEPENICA NA SLIVU 9 252

SLIKA 154 – PRIJEDLOG ZAŠTITE ENERGETSKE STEPENICE PODGRADOM OD SLAGANIH PJEŠČENJAČKIH BLOKOVA 253
SLIKA 155 – PRIJEDLOG TEHNIČKIH MJERA ZAŠTITE NA MEANDRIMA JARUGA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE 254
SLIKA 156 – PRIJEDLOG SANACIJE OGOLINA U ZONI 1 RAZVOJA RELJEFA 255

POPIS TABELA

TABELA 1 – SNIŽAVANJE POVRŠINE TERENA NA OGOLINAMA IZMJERENO POMOĆU EROZIJSKIH KLINOVA (WINWRIGHT I BRAZIER, 2011) 38
TABELA 2 - PRIKAZ SREDNJE KOLIČINE SPIRANJA TLA I KOEFICIJENTA OTJECANJA U PERIODU 1971-1977. GODINE (PETRAŠ I DR., 2008) 45
TABELA 3 - USPOREDBA REZULTATA MJERENJA I PRAĆENJA EKSCESIVNE EROZIJE (JURAK I DR., 2002) 50
TABELA 4 - USPOREDBA PRODUKCIJE NANOSA (JURAK I FABIĆ, 2000) 51
TABELA 5 – ODREĐIVANJE POSTOJANOSTI – UVJETI TESTIRANJA I BROJ UZORAKA 75
TABELA 6 – OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA UDJELA KALCITA U IG JEDINICI 2 104
TABELA 7 – OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA SCHMIDTOVOG ODSKOKA – IG JEDINICA 2 105
TABELA 8 – OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA POSTOJANOSTI LAPORA IG JEDINICE 2 105
TABELA 9 – OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA INDEKSA PLASTIČNOSTI LAPORA IG CJELINE 2 106
TABELA 10 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA SCHMIDTOVOG ODSKOKA – KOMPETENTNI ČLANOVI IG JEDINICE 3 110
TABELA 11 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA POSTOJANOSTI KOMPETENTNIH ČLANOVA IG JEDINICE 3 110
TABELA 12 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA UDJELA KALCITA U NEKOMPETENTNIM ČLANOVIMA IG JEDINICE 3 111
TABELA 13 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA SCHMIDTOVOG ODSKOKA – NEKOMPETENTNI ČLANOVI IG JEDINICE 3 112
TABELA 14 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA POSTOJANOSTI NEKOMPETENTNIH ČLANOVA IG JEDINICE 3 112
TABELA 15 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA INDEKSA PLASTIČNOSTI NEKOMPETENTNIH ČLANOVA IG CJELINE 3 113
TABELA 16 – OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA DEBLJINE KOMPETENTNIH I NEKOMPETENTNIH SLOJEVA IG JEDINICE 3 113
TABELA 17 – MINERALNI SASTAV GLOBIGERINSKIH LAPORA NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU (PLENIČAR I DR., 1973; POLŠAK I ŠIKIĆ, 1973; ŠIKIĆ I PLENIČAR, 1975; ŠIKIĆ I POLŠAK, 1973) 116
TABELA 18 – OSNOVNI STATISTIČKI POKAZATELJI ZA UDIO KALCITA U GLOBIGERINSKIM LAPORIMA 117
TABELA 19 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA SCHMIDTOVOG ODSKOKA – IG JEDINICA 4 118
TABELA 20 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA POSTOJANOSTI LAPORA IG JEDINICE 4 119
TABELA 21 - OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA INDEKSA PLASTIČNOSTI LAPORA IG CJELINE 4 119
TABELA 22 - NORMALIZIRANI INDEKS ČVRSTOĆE ($IS_{(50)}$) ZA UZORKE UZETE S OGOLINE ŠTERNA 123
TABELA 23 – REZULTATI TESTIRANJA SCHMIDTOVIM ČEKIĆEM NA POKUSNOJ PARCELI ŠTERNA 124
TABELA 24 - ODNOS PJEŠČENJAKA I LAPORA NA ISTRAŽIVAČKOJ PARCELI SV. DONAT 127
TABELA 25 - NORMALIZIRANI INDEKS ČVRSTOĆE ($IS_{(50)}$) ZA UZORKE UZETE S OGOLINE SV. DONAT 128
TABELA 26 – SCHMIDTOVA ČVRSTOĆA NA OGOLINI SV. DONAT 129
TABELA 27 - IZNOS UZMICANJA BOKOVA BRAZDI NA OGOLINI SV. DONAT ODREĐEN DIGITALNOM FOTOGRAMETRIJSKOM METODOM U KRUPNOM MJERILU 131

TABELA 28 - IZNOS UZMICANJA BOKOVA JARUGA NA OGOLINI SV. DONAT ODREĐEN ANALOGNOM FOTOGRAMETRIJSKOM METODOM U SITNOM MJERILU 131
TABELA 29 - IZNOS UZMICANJA BOKOVA JARUGA NA OGOLINI SV. DONAT ODREĐEN PROFILOMETRIMA 132
TABELA 30 – KIŠOMJERNI PODACI 132
TABELA 31 – PODACI IZ LOGERA ZA MJERENJE TEMPERATURE 133
TABELA 32 – REZULTATI MJERENJA SCHMIDTOVE ČVRSTOĆE NA OGOLINI BOTONEGA 135
TABELA 33 - IZNOS EROZIJE NA OGOLINI BOTONEGA ODREĐEN FOTOGRAMETRIJSKOM METODOM 138
TABELA 34 - IZNOS UZMICANJA JARUGA NA OGOLINI BOTONEGA ODREĐEN PROFILOMETRIMA 139
TABELA 35 - KIŠOMJERNI PODACI 139
TABELA 36 - PODACI IZ LOGERA ZA MJERENJE TEMPERATURE 139
TABELA 37 - ODNOS PJEŠČENJAKA I LAPORA NA ISTRAŽIVAČKOJ PARCELI BOLJUN 141
TABELA 38 - NORMALIZIRANI INDEKS ČVRSTOĆE ($IS_{(50)}$) ZA UZORKE UZETE S OGOLINE BOLJUN 143
TABELA 39 - REZULTATI MJERENJA SCHMIDTOVE ČVRSTOĆE NA OGOLINI BOLJUN 144
TABELA 40 - IZNOS UZMICANJA BOKOVA JARUGA NA OGOLINI BOLJUN ODREĐEN FOTOGRAMETRIJSKOM METODOM 145
TABELA 41 - IZNOS UZMICANJA BOKOVA JARUGA NA OGOLINI BOLJUN ODREĐEN ANALOGNOM FOTOGRAMETRIJSKOM METODOM U SITNOM MJERILU 146
TABELA 42 - IZNOS UZMICANJA BOKOVA JARUGA NA OGOLINI BOLJUN ODREĐEN PROFILOMETRIMA 147
TABELA 43 - KIŠOMJERNI PODACI 147
TABELA 44 - PODACI IZ LOGERA ZA MJERENJE TEMPERATURE 147
TABELA 45 – KATEGORIJE OGOLJELIH POVRŠINA 149
TABELA 46 – RAZDIOBA POVRŠINA PO KATEGORIJAMA OGOLINA 151
TABELA 47 – UDIO MINERALA I POSTOJANOST UZORAKA LAPORA 161
TABELA 48 – ANALIZA OPTIMALNOSTI POJEDINIH METODA ODREĐIVANJA UZMICANJA BOKOVA JARUGA 173
TABELA 49 - STADIJ RAZVOJA RELJEFA ZA VEĆE SLIVOVE NA ISTRAŽIVANOM PROSTORU 211
TABELA 50 – BODOVANJE FAKTORA NAGIBA PADINA 227
TABELA 51 - BODOVANJE FAKTORA ASPEKTA PADINA 227
TABELA 52 - BODOVANJE FAKTORA UDALJENOSTI OD HIDROGRAFSKE MREŽE 228
TABELA 53 – TIPOVI OGOLINA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE 238

1 UVOD

Voda nagriza planine i ispunjava doline.

(Leonardo da Vinci, Codex Atlanticus, 1452-1519)

Reljef predstavlja plohu kontakta različitih prirodnih sustava: litosfere, pedosfere, hidrosfere, biosfere i atmosfere (Mihljević, 1995). Oblik te plohe i intenzitet procesa koji se događaju na njoj izravno ovise o stabilnosti svakog pojedinog sustava. Kako reljef između ostalog predstavlja površinu na kojoj čovjek provodi cijeli svoj životni vijek, a obzirom na činjenicu da se on teško prilagođava intenzivnim promjenama svoga okoliša logičnim se čini njegova potreba da reljef učini stabilnim u vremenu i prostoru. Navedene sustave destabiliziraju mnogi faktori od kojih neke čovjek može kontrolirati (velika većina egzogenih procesa), a na neke čovjek ne može utjecati (endogeni procesi). Izučavanjem svakog pojedinog sustava te njihovih međusobnih veza i interakcija istraživači mnogih znanstvenih disciplina ljudskoj zajednici stavljaju na raspolaganje potrebne spoznaje za očuvanje stabilnosti reljefa, čime daju svoj doprinos boljem životu ljudske vrste.

Predmet istraživanja ovog rada predstavljaju vrlo zanimljivi i nepostojani reljefni oblici nazvani **ogoline** (*eng. badland*). Intenzivni egzogeni procesi koji se odvijaju na njima posljedica su kombinacije različitih faktora koji doprinose brzim i spektakularnim promjenama izgleda površine terena. Na ogoline utječu gotovo sve vrste egzogenih procesa (trošenje, denudacija – erozija i pokreti masa, taloženje), izrazito nepostojana geološka podloga (lapori, šejlovi, glinjaci i sl.), vrlo razvijen drenažni sustav te u pravilu oskudan vegetacijski pokrivač. Svakako najvažniji egzogeni proces koji uvjetuje nastanak i opstanak ogolina je erozija (Bryan i Yair, 1982) zbog čega je ona i istaknuta u naslovu ovog rada.

Na području Republike Hrvatske pojavljivanje ogolina se gotovo isključivo veže za područje središnje Istre koje je izgrađeno od vrlo nepostojanog kompleksa naslaga koje nazivamo **fliš**. Kako je fliš vrlo čest na području Vanjskih Dinarida, isključivo pojavljivanje ogolina na području središnje Istre predstavlja posljedicu specifične kombinacije geoloških, klimatskih, a ponekad i antropogenih utjecaja. U ovom radu se upravo pokušalo odrediti koji od tih utjecaja predstavlja dominantan faktor u pogledu formiranja i opstojanja ogolina.

1.1 SVRHA ISTRAŽIVANJA

U većini znanstvenih publikacija koje se bave istraživanjima erozije na području središnje Istre naglašava se da to područje karakteriziraju vrlo intenzivni erozijski procesi, pri čemu se ogoline označavaju kao mjesta ekscesivne (pretjerane) erozije (Jurak i Fabić, 2000) s produkcijom nanosa 8000 puta većom od produkcije nanosa s područja prekrivenih bilo kakvom vrstom vegetacije. Visoka produkcija nanosa s ogoljelih flišnih površina u kombinaciji s intenzivnim površinskim tokovima (fliš označavaju niski iznosi infiltracije i brzo formiranje površinskih tokova) vrlo često uzrokuju velike probleme u obliku zatrpavanja umjetnih akumulacijskih jezera, retencijskih brana te kanala izgrađenih u podnožju cestovnih zasjeka i usjeka.

1.2 CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi istraživanja su bili fokusirani na tri veličinska područja i to na nivo uzorka, nivo izdanka te nivo regije. Definirani su na sljedeći način:

1) Izrada katastra ogolina;
2) Određivanje kvalitete stijenske mase karakterističnih litoloških kompleksa, tj. definiranje karakterističnih inženjerskogeoloških (IG) jedinica;
3) Definiranje erodibilnosti i postojanosti pojedinih IG jedinica kao i pojedinih litoloških članova koji ih izgrađuju;
4) Na odabranim pilot područjima (pokusnim parcelama) odrediti iznose denudacije na pojedinim IG jedinicama u prirodnim uvjetima te istovremeno pratiti klimatološke parametre;

5) U vezi s ciljem 4 definirati najutjecajnije klimatološke faktore na iznos denudacije na razini izdanka;
6) Definiranje optimalne metode određivanja iznosa denudacije na sličnim ogolinama;
7) Određivanje utjecaja relevantnih sedimentno-petroloških značajki na fizičke i mehaničke značajke litoloških kompleksa;
8) Određivanje ovisnosti nastanka ogolina i brzine denudacije o relevantnim geološkim, geomorfološkim, klimatskim i ostalim parametrima.

1.3 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Definirani ciljevi u kombinaciji sa zdravom inženjerskom logikom iznjedrili su hipoteze:

1) Iznos denudacije ovisi o litologiji stijenskog materijala koji izgrađuje ogolinu;
2) Erodibilnost i postojanost različitih litoloških kompleksa ovisi o udjelu kompetentnih i nekompetentnih slojeva te o razdiobi debljina slojeva unutar IG jedinica;
3) Erodibilnost i postojanost lapora ovisi o njegovom sastavu i strukturi;
4) Od ne-geoloških parametara iznos denudacije najviše ovisi o intenzitetu kiše;
5) Nastanak i razvoj ogolina vezan je uz površinske vodotokove.

Kako su denudacijski procesi na području središnje Istre praktički nezaustavljivi, nije moguće očekivati da će rezultati u nastavku prikazanih istraživanja riješiti sva otvorena pitanja vezana uz navedene procese. Oni će svakako ukazati na žarišta problema, a to će u kombinaciji s preporukama za njihovo rješavanje, predstavljati dobru bazu za još detaljnija i opsežnija istraživanja.

2 TEORIJSKE OSNOVE

Koncepcija i sadržaj ovog poglavlja imaju za cilj prije svega definiranje i razradu osnovnih egzogenih procesa koji predstavljaju bazu za razumijevanje procesa koji se događaju na istraživanim ogolinama središnje Istre. Prilikom pregleda literature vezane uz definiranje navedenih osnovnih pojmova uočen je veliki broj preklapanja, nedorečenosti i kontradiktornosti u definiranju egzogenih procesa pa je stoga ovdje iskorištena prilika da se na neki način utvrdi razlog, opravdanost i neopravdanost navedenih pojava te da se prikaže sistematizacija egzogenih procesa s inženjerskogeološkog stajališta, odnosno da se prikaže sistematizacija kakva je korištena u ovom radu.

Nakon prikaza i opisa osnovnih egzogenih procesa, faktora koji utječu na njih te osnovnih mjernih tehnika, u poglavlju 3 izvršen je pregled svjetske literature na temu ogolina te pregled domaće literature uglavnom vezane uz eroziju tla.

2.1 SISTEMATIZACIJA I DEFINICIJE EGZOGENIH PROCESA

Suvremene geološke i geomorfološke procese na Zemlji pokreću dvije vrste sila:

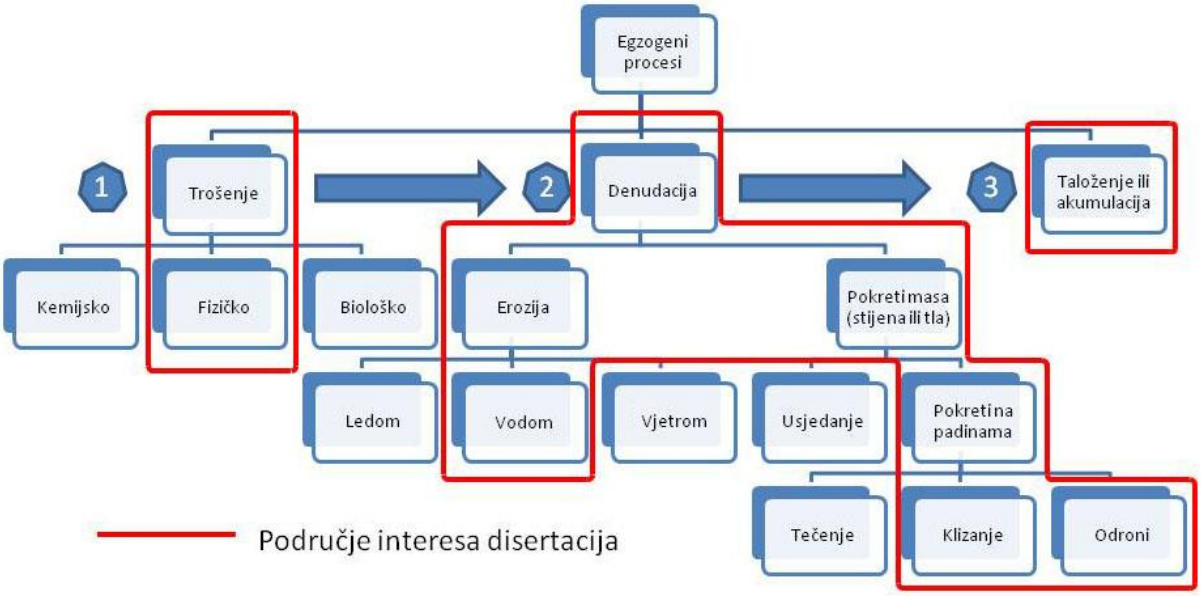
1) Unutrašnje ili endogene te
2) Vanjske ili egzogene.

Navedene vrste sila potiču procese koji se prema Panjukovu (1965) nazivaju:

1) Endogeni procesi su posljedica djelovanja sila kojima je izvor u unutrašnjosti Zemlje. Oni se kao takvi ne mogu regulirati inženjerskim radovima;
2) Egzogeni procesi su posljedica djelovanja vanjskih Zemljinih omotača, atomosfere i hidrosfere. Oni se mogu regulirati i/ili mijenjati inženjerskim zahvatima.

Trošenje i erozija su procesi koje uzrokuju egzogene sile te su kao takvi proučavani od strane mnogih znanosti modernog društva s različitih točaka gledišta, iz različitih pobuda i u različitim dijelovima svijeta (Toy i dr., 2002). Vjerojatno je upravo to razlog zašto se u domaćoj i svjetskoj literaturi ta dva pojma vrlo često zamjenjuju i međusobno preklapaju ili

čak preklapaju s preostalim procesima iz egzogene grupe kao što su na primjer denudacija, taloženje te pokreti masa (stijena ili tla). Kako bi se izbjegli nesporazumi i definirali osnovni pojmovi koji se koriste u radu, u nastavku je ukratko prikazana njihova sistematizacija, pregled definicija različitih struka pronađenih u literaturi te dijagram (Slika 1) koji prikazuje kako su u ovom radu tretirani i sistematizirani trošenje i erozija te ostali njima srodni procesi.



Slika 1 – Dijagram sistematizacije egzogenih procesa

Najlogičnija podjela egzogenih procesa načinjena je prema redoslijedu događanja ovih procesa u prirodi (Slika 1): **trošenje** (*eng. weathering*), **denudaciju** (*eng. denudation*) i **taloženje** (*eng. deposition*). Ovakvu sistematizaciju nije bilo moguće naći ni u jednom literaturnom izvoru već ona predstavlja kompilaciju sistematizacija egzogenih procesa koja je izvedena s ciljem cjelovitog i preciznog definiranja pojava i procesa s geološkog i inženjerskogeološkog stanovišta. Ujedno se smatra da takvo viđenje zadovoljava velik broj ostalih znanstvenih disciplina kojima su navedeni procesi u polju interesa.

2.2 TROŠENJE

Proces trošenja čini planet Zemlju pogodnom za život (Plummer i dr., 2005). Naime, nastajanje tla je u izravnoj vezi s procesom trošenja, a tlo uz sunčevu energiju i vodu predstavlja glavni izvor hrane za većinu živih bića na našoj planeti. Upravo činjenica da je trošenje proces koji "hrani" Zemlju, a erozija, koja se u pravilu nadovezuje, ona koja je

"izgladnjuje", nameće potrebu da se bolje izuče navedeni procesi i prouče njihove međusobne veze.

Geomorfologija definira trošenje kao grupu procesa odgovornih za raspad materijala na ili blizu Zemljine površine (Dixon, 2006), pri čemu se tradicionalno trošenje dijeli na (Slika 1):

1) Fizičko;
2) Kemijsko;
3) Biološko.

U praksi je navedene podgrupe trošenja vrlo teško odijeliti, jer na primjer biološki procesi trošenja unutar nekog sustava mogu uzrokovati i fizičke i kemijske promjene (Pope i dr. 1995), pa se ta vrst trošenja vrlo često u literaturi svrstava kao podgrupa i fizičkog i kemijskog trošenja.

Kemijsko trošenje – uključuje sve procese koji dovode do kemijskih i/ili mineralnih transformacija na ili ispod površine Zemlje. Kako je proces kemijskog trošenja, na području kojim se bavi ovaj rad, puno sporiji, pa u tom smislu i manje interesantan od fizičkog trošenja, u ovom radu neće biti detaljnije izučavan.

Fizičko trošenje - stijena podrazumijeva njihovo razaranje u manje komadiće pri čemu ne dolazi do promjene niti kemijskog niti mineralnog sastava. Dakle stijenski materijal se usitnjava kao rezultat sila unutar stijenske mase. Fizičko trošenje kao glavni proces trošenja područje je interesa ovog rada te će u nastavku biti detaljnije razrađeno.

Geološka znanost vrlo slično definira trošenje i to kao dezintegraciju i raspadanje stijena i sedimenata i to različitim mehaničkim i kemijskim procesima na površini ili plitko ispod površine terena (Kearey, 2001). Također, često se nailazi na definicije koje konstatiraju da se prilikom trošenja odvojeni ili alterirani materijal malo ili uopće ne transportira (Bates i Jackson, 1984).

Inženjerskogeološka definicija trošenja mora sadržavati i osvrt kako se procesi trošenja odnose na fizičke i mehaničke značajke tla i stijena pa se tako ono može definirati kao prilagodba minerala od kojih su izgrađene stijene na uvjete koji prevladavaju na površini Zemlje (Bell, 2007). Ta prilagodba je uzrokovana fizičkom dezintegracijom, kemijskom

dekompozicijom i biološkom aktivnošću te kao takva u pravilu dovodi do **oslabljenja** mehaničkih značajki primarnih stijena.

Za sve navedene struke može se reći da vrlo slično opisuju pojam trošenja, no vrlo često se miješaju pojmovi erozije i trošenja što dovodi do zabune. Vrlo je važno naglasiti da se prilikom trošenja ne događa nikakav ili vrlo mali transport. Ako se, dakle, trošenje shvati kao *in situ* proces, onda on kao takav prethodi eroziji, tj. tijekom njega se događa "priprema" materijala stijene ili tla za proces erozije.

Svi do sada navedeni podaci govore o trošenju kao o procesu koji se događa kroz geološku povijest i koji, uz eroziju oblikuje Zemljin reljef. Takvi procesi su u pravilu jako spori, skoro da se može reći, oku neprimjetni, no u nekim geološkim sredinama i situacijama proces trošenja je vrlo brz te kao takav izaziva velike probleme u inženjerskom smislu. Tako se i ovaj rad bavi materijalima koji su u inženjerskom vremenu izrazito nepostojani, tj. brzo se troše. Stoga je ovdje vrlo važno definirati postojanost (*eng. durability*) kao jedan od najvažnijih pojmova kada se o trošenju govori u inženjerskom vremenu. On se definira kao sposobnost stijena da se odupru degradaciji kroz određeni vremenski period (Fookes i dr. 1988), a osim o značajkama materijala ovisi o nekoliko vanjskih parametara:

- Zatečenom stanju trošnosti stijene;
- Iznosu naprezanja tijekom izvođenja radova u stijeni;
- Klimi;
- Topografskim i hidrološkim značajkama okoline.

Postojanost se može ispitivati na terenu i u laboratoriju, a o detaljima takvih postupaka biti će više riječi u jednom od poglavlja ovog rada.

Već je rečeno da je fizičko trošenje dominantan proces trošenja na području koje izučava ovaj rad. Stoga je u nastavku prikazan pregled osnovnih vrsta fizičkog trošenja te su posebno naznačeni najučestaliji među njima. Tako se u literaturi najčešće spominju sljedeći uzročnici fizičkog trošenja:

- Insolacija (*eng. Insolation*);
- Rasterećenje i folijacija (*eng. unloading, sheeting*);
- Hidratacija (*eng. hydration*);
- Vlaženje i sušenje (*eng. wetting and drying*);

- Rast ledenih kristala (*eng. congelifraction*);
- Kristalizacija soli;
- Rad organizama.

Insolacija

Trošenje uzrokovano insolacijom se odnosi na razaranje stijena koje proizlazi kao rezultat ekspanzije i kontrakcije uzrokovane čestim temperaturnim promjenama. Kako matična stijena u pravilu ima nisku toplinsku vodljivost, dijelovi stijene izloženi na površini terena se šire više od dijelova stijene dublje ispod površine. Zbog toga dolazi do razlike u naprezanju, koja uzrokuje dezintegraciju stijenske mase. Relativno male temperaturne varijacije u kratkom vremenskom periodu mogu biti prilično efikasne u procesu dezintegracije (Dixon, 2006).

Rasterećenje i folijacija

Ovaj pojam se odnosi na formiranje oslabljene zone koju karakteriziraju učestali diskontinuiteti paralelni površini terena. To nastaje zbog smanjenja litostatskog tlaka koje je uzrokovano erozijom, koje pak opet dovodi do preraspodjele naprezanja i nastanka folijacije.

Hidratacija

U uvodnim rečenicama poglavlja o trošenju je navedeno kako postoje tri vrste trošenja (fizičko, kemijsko i biološko) te kako je među njima ponekad vrlo teško odrediti granicu. Tako hidratacija inicijalno spada u grupu kemijskih procesa trošenja prilikom koje dolazi do apsorpcije vode duž pukotina i ploha kalanja unutar minerala, ali su efekti tog procesa u načelu fizičke prirode. To se očituje u bujanju minerala kao rezultat inkorporacije vodenih molekula u kristalnu rešetku što može dovesti do stvaranja velikih sila prilikom čega dolazi do nastanka velikih razlika u naprezanju. Takvo stanje može uzrokovati dezintegraciju i oslabljivanje stijenske mase.

Sušenje i vlaženje

Ovaj proces fizičkog trošenja se u pravilu može promatrati kao jedna vrst prethodno opisanog procesa hidratacije koji se posebno događa u materijalima koji sadrže minerale

glina. Naime, pozitivno nabijeni krajevi molekule vode privučeni negativno nabijenom površnom minerala glina i koloida, formiraju sloj orijentiranih vodenih molekula. Na taj način vodene molekule ulaze u kristalnu rešetku dotičnih minerala, no sušenjem ne izlaze iz nje. Nadalje ponovnim vlaženjem tog minerala može doći do vezanja još jednog sloja molekula vode čemu se stvara značajno polje naprezanja. Lom u takvoj situaciji u pravilu nastaje tijekom faze sušenja kada je porni tlak najveći.

Rast ledenih kristala

Rast ledenih kristala u pukotinama stijenske mase se dugo vremena smatrao kao jedan od glavnih procesa fizičkog trošenja u područjima utjecanim hladnim klimama. Tradicionalno se smatra da se fizičko trošenje uslijed rasta kristala leda događa kao rezultat nastanka polja naprezanja zbog promijene volumena do kojeg dolazi uslijed kristalizacije vode u led. Realniji model (Dixon, 2006), u novije vrijeme sve prihvaćeniji i također više podkrijepljen empirijskim istraživanjima, kaže da je širenje tijekom rasta ledenih kristala u prvom redu uzrokovano migracijom ne smrznute vode prema rastućim ledenim lećama, a tek u manjoj mjeri je uzrokovano samom promjenom volumena vode tijekom njezine kristalizacije u led (Walder i Hallet, 1986).

Kristalizacija soli

Rast kristala soli u pukotinama stijena uzrokuje sile dovoljne velike da uzrokuju dezintegraciju stijenskog materijala. Proces fizičkog trošenja potaknut rastom kristala soli može biti uzrokovan:

- Isparavanjem vodene otopine što uzrokuje povećanje koncentracije soli;
- Hlađenjem vodene otopine;
- Hidratacijom zbog dodavanja vode u solna ležišta;
- Zagrijavanjem soli.

Svi navedeni procesi kao posljedicu imaju povećanje volumena kristala soli što uzrokuje nastanak polja naprezanja i razaranje stijenske mase.

Ovaj proces fizičkog trošenja nije zamjećen na izučavanom području pa stoga i neće biti posebno razmatran u okviru ovog rada.

Rad organizama

Živi organizmi su također jedan od vrlo efikasnih uzročnika fizičkog trošenja. Fizičko trošenje uzrokovano djelovanjem organizama se nazva biofizičko trošenje, a uzrokovano je rastom korijenja u pukotinama, aktivnostima lišajeva (McCarroll i Viles, 1995; Chen i dr., 2000), algi i bakterija.

Na istraživanom području od navedenih procesa biofizičkog trošenja zamijećen je jedino proces rasta korijena u pukotinama (Slika 2), no i taj proces nije jako rasprostranjen pa će stoga ovdje biti samo naznačen, ali ne i detaljnije izučen.

Slika 2 – Fizičko trošenje uzrokovano, između ostalog, rastom korijenja

Na kraju ovog poglavlja je potrebno naglasiti da se u ovom radu pod pojmom trošenja podrazumjevaju grupu *in situ* procesa odgovornih za raspad materijala na ili blizu Zemljine površine.

2.3 DENUDACIJA

Pod pojmom denudacija se općenito podrazumijevaju svi procesi koji tijekom vremena dovode do snižavanja površine terena. U različitim literaturnim izvorima moguće je naći slijedeće definicije denudacije koje u pravilu kao jedan od procesa denudacije spominju trošenje:

- Zbroj procesa koji rezultiraju odnošenjem materijala ili progresivnim snižavanjem površine terena i to posredstvom trošenja, odnošenja masa (eng. *mass wasting*) i transportiranjem (Bates i Jackson, 1984);
- Uklanjanje materijala procesima trošenja i erozije (Kearey, 2001);
- Sveukupnost procesa koji uzrokuju odnošenje površinskog sloja Zemlje, a koji mogu djelovati kemijski i fizički, pri čemu se kao sinonimi za kemijsku denudaciju mogu smatrati kemijsko trošenje i kemijska erozija (Gaillardet, 2006).

Ako se pod pojmom denudacije podrazumijeva snižavanje terena, a pojam trošenja definira kao *in situ* proces, tada uključivati trošenje u skup denudacijski procesa nije ispravno. Naime, ako se na nekom terenu stijenski materijal ili materijal tla troši bilo kemijski bilo fizički, a pri tome se u cijeli proces ne uključi erozija (proces u kojem dolazi do odvajanja, pokretanja i transportiranja materijala) neće doći ni do snižavanja terena. Iz tog razloga su na slici (Slika 1, str. 5) ova dva procesa odvojena. Ono što svakako valja naglasiti je da trošenje čini denudaciju učinkovitijom (erozija i pokreti masa) pa je zato donekle razumljivo njegovo uvrštavanje u tu grupu procesa.

Kao jedna od prihvatljivijih definicija denudacije, proizašla iz agronomske literature, ovdje može biti spomenuto slijedeće:

- Denudacija je pojam koji se odnosi na velike površine terena (slivove), a kojim se označava prosječno snižavanje površine terena tijekom dužeg vremenskog perioda, pri čemu se zanemaruje varijabilnost u iznosu erozije na manjim površinama unutar izučavanog područja (Toy i dr., 2002).

U ovom radu se pod pojmom denudacije smatra svaki proces koji dovodi do snižavanja razine površine terena. Generalno se taj proces može podijeliti na dvije podgrupe, a to su (Slika 1):

1) Erozija i
2) Pokreti masa.

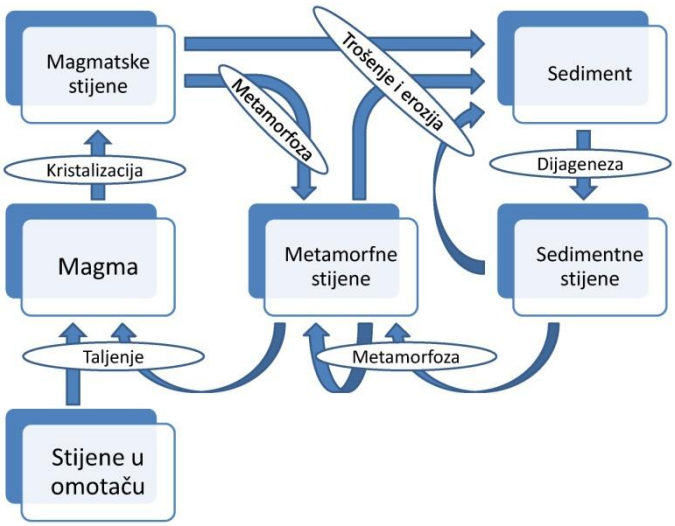
2.3.1 Erozija

Od kada je Zemlje, od tada je i erozije (Kisić i dr., 2005). Ova rečenica ukazuje na činjenicu da je erozija prirodni proces te da kao takva oblikuje Zemljinu površinu od njenih početaka do danas. Tu vrst erozije nazivamo **prirodna erozija**. Razvojem ljudske vrste i društva počinju se primjenjivati sve napredniji načini obrade zemljišta, razvijaju se prometnice te se grade impozantni energetski objekti koji na prirodnu ravnotežu utječu na bezbroj načina. Sve nabrojano stvorilo je, u geološkom vremenu gledajući, novu vrstu erozije – **antropogenu eroziju**.

Općenito se za prirodnu eroziju može reći da nema svoj početak i kraj, već se ona zajedno s procesom trošenja, kontinuirano događa, a jedino što se mijenja u vremenu je njezin intenzitet. Intenzitet erozije se može promijeniti zbog nagle promjene prirodne ravnoteže izazvane kakvim ekstremnim prirodnim događajem ili pak ljudskom aktivnošću. Treba reći da na intenzitet erozije u današnjem vremenu gotovo isključivo utječe čovjek, pa se tako vrlo često događa da područja s niskom, gotovo beznačajnom prirodnom erozijom, postaju žarišta ekscesivne erozije (Gavrilović, 1972) upravo zbog nerazboritog uplitanja čovjeka u prirodnu ravnotežu.

Kako je već više puta spomenuto, erozijom kao prirodno i antropogeno izazvanim procesom se bave mnoge struke i znanstvene discipline pa se stoga i njezina podjela, a i definicije, razlikuju. Riječ erozija dolazi od latinske riječi ***erodare*** što znači odnošenje ili izjedanje, a koja se u starom Rimu koristila za označavanje procesa vezanih za raspadanje i otkidanje površinskih slojeva zemlje (Gavrilović, 1972). U nastavku je prikazan pregled podjela i definicija erozije i to počevši od fundamentalnih znanosti, geologije i geomorfologije, pa do primijenjenih znanosti kao što su inženjerska geologija, hidrotehnika, agronomija i šumarstvo.

Geološka literatura opisuje proces erozije u sklopu discipline koja se naziva fizička geologija. Ona proces trošenja i erozije promatra kroz prizmu nastanka sedimentnih stijena (Slika 3).



Slika 3 – Proces nastanka stijena (Plummer i dr., 2005)

Plummer i dr. (2005) navode da je erozija pokretanje i fizičko premještanje odlomaka stijena posredstvom agensa tekuće vode ili ledenjaka. Treba naglasiti da autori u radu striktno odvajaju trošenje od erozije čime zapravo eroziju svode na proces pokretanja i transportiranja uglavnom već odvojenih odlomaka stijena. Thompson i Turk (1997) definiraju eroziju kao premještanje trošnih dijelova stijena i minerala posredstvom tekuće vode, vjetra, leda i gravitacije. Ova definicija je u načelu prihvatljiva, no postoji zamjerka u pogledu uključivanja gravitacije kao jednog od agensa erozije. Na kraju treba naglasiti da se u geološkoj literaturi nalaze i definicije erozije slične slijedećoj: erozija je proces tijekom kojeg se čestice odvajaju od stijene ili tla, transportiraju na određenu udaljenost i to pod utjecajem agenasa leda, vjetra i vode (Kearey, 2001).

Geomorfološko poimanje na eroziju podrazumijeva sve egzogene procese, osim trošenja i pokreta masa, prilikom kojih se događa pokretanje odlomljenog (potrošenog) materijala nekim mobilnim agensom te pomicanje odlomaka matične stijene posredstvom sudara s transportiranim materijalom (Lupia-Palmieri, 2006). Vrlo slična definicija erozije može se naći i u zemljopisnom rječniku gdje se eroziju definira kao proces odnošenja površinskog sloja terena i to radom prirodnih agenasa, u prvom redu leda, vode i vjetra (Clark, 2003). Ovdje se također izričito iz erozije isključuju procesi trošenja i pokreta masa.

Primijenjene znanosti, kao što su šumarstvo i agronomija, nezantno drukčije definiraju eroziju, te se vrlo često u toj literaturi može naići na konstataciju da se erozija sastoji od dvije faze (Morgan, 2005). Prva se sastoji od odvajanja i pokretanja pojedinih

čestica tla od ostatka mase tla, a druga se faza sastoji od njihova transporta i to posredstvom prirodnih medija vode i vjetra. Ponekad se erozija razlaže i opisuje kao četverofazni proces koji se sastoji od **odvajanja** (odvajanje čestica tla od mase tla), **pokretanja** (prijelaz odvojenih čestica iz stanja mirovanja u stanje gibanja), **transporta** (premještanje čestica stijena) te **taloženja** (prijelaz čestica iz stanja gibanja u stanje mirovanja) čestica tla posredstvom vode i vjetra (Toy, 2002). Također u literaturi navedenih znanosti se vrlo često navode i drugi agensi kao pokretači erozije, kao što su na primjer gravitacija i oranje. Ovdje treba naglasiti da se navedene znanosti uglavnom bave **erozijom pedološkog tla,** što je sasvim logično jer i šume i različite poljoprivredne kulture mogu uspijevati samo na takvom tlu. Stoga je i za očekivati da takve definicije uglavnom spominju tlo, dok se o stijeni ne govori. Također, navedeno suženo gledanje na proces erozije dovodi do česte zabune da se proces trošenja povezuje i/ili izjednačava s procesom odvajanja čestica tla što po definicijama primijenjenih znanosti predstavlja prvu fazu erozije. Kao završni proces erozije primijenjene znanosti često izučavaju, kako je gore navedeno, proces taloženja. Naime procesi erozije i taloženja su, slično kao i procesi trošenja i erozije, vrlo povezani i međusobno isprepleteni, no na slici (Slika 1, str. 5) je proces taloženja izdvojen iz erozijskih procesa zato što se njime događa povišenje reljefa. Prema tome ako se prihvati činjenica da je erozija dio denudacijskih procesa (procesa snižavanja reljefa) jasno je da bi takvo postavljanje stvari bilo kontradiktorno.

Pod pojmom erozija u ovom radu se podrazumijeva proces odvajanja, pokretanja i transporta čestica tla ili stijena i to posredstvom agensa vode, vjetra ili leda. Erozija se ubraja u grupu denudacijskih procesa jer njezino djelovanje uzrokuje snižavanje površine terena.

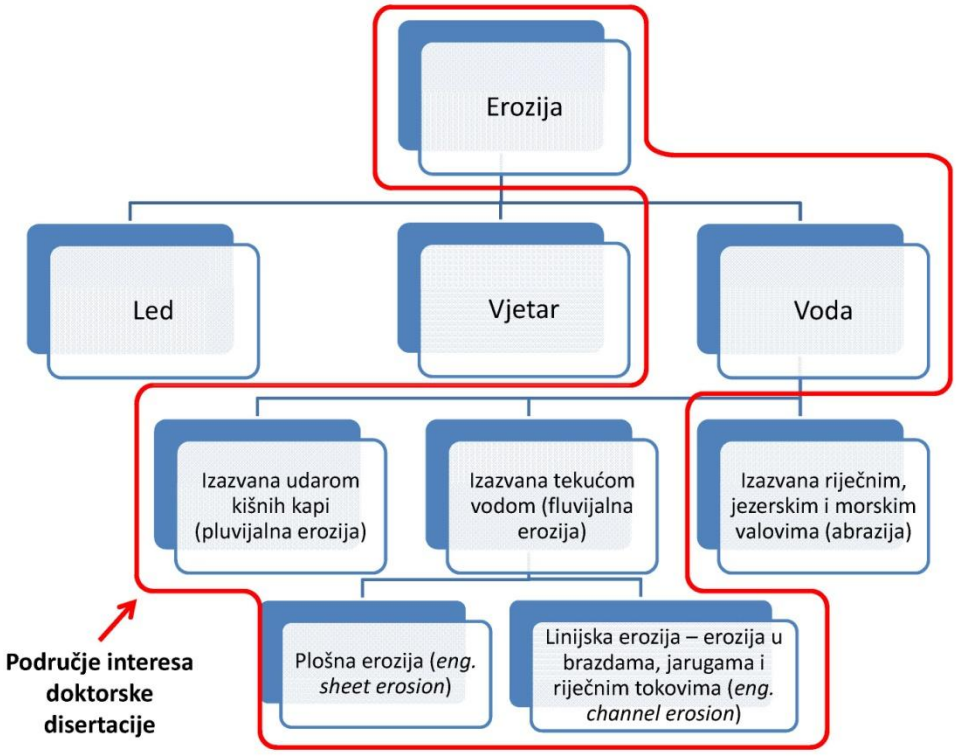
2.3.1.1 Vrste i sistematizacija erozije

Obzirom da je erozija proces koji se događa na cijeloj planeti Zemlji, na koji utječu brojni faktori, koji iza sebe ostavlja različite oblike reljefa te koji se nalazi u polju interesa brojnih znanosti i struka postoji i višestruka sistematizacija. U literaturi se najviše spominje, tj. opće je prihvaćena podjela erozije prema vrsti agensa koji je izaziva. Tako se erozija dijeli s obzirom na njezin uzrok na:

- Eroziju ledom;
- Eroziju vodom;

- Eroziju vjetrom.

Detaljniju sistematizaciju erozije prikazuje slika (Slika 4) na kojoj je ujedno i naznačeno polje interesa ovog rada. Na istraživanom području se, dakle, događa erozija vodom pri čemu se od podvrsta te erozije zatiču erozija izazvana kišnim kapima i tekućom vodom.



Slika 4 – Sistematizacija erozije

Već je prethodno više puta spomenuto da su tri osnovna agensa erozije - **voda**, **vjetar** i **led**. Ti agensi mogu na eroziju utjecati na različite načine i kroz različite procese, a kako će oni utjecati na iznos i tip erozije ovisi o sljedećim primarnim faktorima, a to su redom:

1) Klima;
2) Vrsta stijena ili tla;
3) Reljef;
4) Iskorištenost i pokrivenost terena.

Prije svega treba naglasiti da o navedenim faktorima ovise dva jako važna pojma vezana za eroziju koja izravno utječu na njezin iznos na nekom području, a to su:

- **Erodibilnost** - podložnost nekog materijala da bude pokrenut i translatiran posredstvom nekog od agensa (Bates i Jackson, 1995);

- **Erozivnost** - potencijal nekog erozionog agensa (leda, vode ili vjetra) da izazove eroziju što jasno ovisi o kinetičkoj energiji tog agensa (Kearey, 2001).

Erodibilnost redovito ovisi o koheziji koja karakterizira materijal podvrgnut eroziji, a ako govorimo o nekoherentnom tlu onda također ovisi i o veličini čestica, tj. granulometriji. Ako se na nju gleda s tog stajališta nameće se zaključak da su čvrsto i slabo vezane stijene gotovo neerodibilne, odnosno vrlo slabo erodibilne, jer ih odlikuje visoka kohezija tj. njihovu eroziju mogu prouzrokovati jedino agensi koji posjeduju vrlo visoku erozivnost (visok iznos kinetičke energije), kao što su na primjer ledenjaci ili ekstremno snažni bujični tokovi. Upravo zato se u literaturi erodibilnost kao važna značajka, u pravilu, pripisuje materijalima tla. Erodibilnost također jasno treba razlučiti od donekle sličnog, već spomenutog pojma u okviru trošenja, a to je **postojanost**.

2.3.1.2 Pokretači erozije

Navedene primarne faktore možemo podijeliti na dvije grupe obzirom na to djeluju li oni na erodibilnost tla ili stijene ili pak na erozivnost agensa. Tako klima i reljef izravno djeluju na iznos energije koju će posjedovati neki od erozionih agensa, dok vrsta tla ili stijena te način iskorištenosti i pokrivenost terena vegetacijom izravno imaju utjecaj na iznos erodibilnosti.

2.3.1.2.1 Klima

Klima je definirana kao prosječno stanje atmosfere nad nekim područjem Zemljine površine u određenom razdoblju (Žugaj, 2000). Na eroziju vodom klima može utjecati izravno i neizravno. Izravno djelovanje klime na iznos erozije i procese vezane uz nju se očituje kroz oborine koje erozionom agensu, u ovom slučaju vodi, ovisno o količini i intenzitetu daju različiti nivo erozivnosti. Iz svega se može zaključiti da energija kišnih kapi (erozija izazvana udarom kišnih kapi, Slika 4) te energija površinskih tokova (erozija izazvana površinskim tokovima, Slika 4) izravno ovise o značajkama oborina koje su karakteristične za određeni dio Zemljine površine.

Postoji nekoliko veličina kojima se može opisivati erozivnost oborina. To su prije svega:

- Ukupna količina oborina;
- Kinetička energija;

- Intenzitet oborina.

Najvažnije veličine među spomenutim su svakako ukupna količina oborina te njihov intenzitet, jer su na terenu mjerljive sada već standardnim mjernim tehnikama. Upravo zato se kao praktična mjera erozivnosti kišnih kapi i površinskih tokova vrlo često koriste količina i intenzitet oborina.

Iznos erozije uzrokovane **udarom kišnih kapi** ovisi o erozivnosti kišnih kapi te o erodibilnosti tla o kojeg kišne kapi udaraju. Rečeno je da erozivnost kišnih kapi može biti procijenjena umnoškom količine i intenziteta neke oborine, no da bi se ta procjena još bolje približila stvarnoj vrijednosti erozivnosti potrebno je uzeti u obzir i veličinu kapi. Kinetička energija (erozivnost) jedne kišne kapi ovisi o njezinoj brzini i veličini, pa se tako može reći da je ukupna kinetička energija (erozivnost) jednog kišnog događaja, jednaka sumi kinetičkih energija svake pojedinačne kišne kapi koja sudjeluje u tom događaju. Za ilustraciju može se navesti podatak da je ukupna kinetička energija godišnje oborine od 760 mm na području od 2.6 km^2 ekvivalentna energiji 10.000 t TNT-a (Meyer i Renard, 1991).

Erozivnost **površinskih tokova** je također u direktnoj ovisnosti o klimi, tj. o značajkama oborina (količini i intenzitetu). No slično kao i kod kišnih kapi, erozivnost površinskog toka određuje njegova kinetička energija koja opet ovisi o veličini tog toka te o njegovoj brzini. Ako se dalje ide u razlaganje tog pojma (erozivnosti površinskog toka), lako se može uočiti preplitanje primarnih faktora, jer je količina površinskog toka u izravnoj ovisnosti, uz oborine, i s količinom infiltracije, koja je pak u ovisnosti s primarnim faktorom vrste tla ili stijena. Nadalje, brzina površinskog toka je također ovisna o nagibu terena, dakle o faktoru reljefa.

Kao neizravan utjecaj klime na eroziju može se navesti temperatura zraka. Temperatura, dakle, može utjecati na to u kakvom će obliku oborine dospjeti na površinu terena, a s druge strane utječe na brzinu trošenja matične stijene (vidi 2.2). Za snijeg se može reći da ne posjeduje gotovo nikakvu udarnu kinetičku energiju jer su pahulje vrlo lagane, dok kišne kapi, ovisno o njihovoj veličini, mogu producirati vrlo veliku kinetičku energiju u trenutku dodira s površinom. Nadalje, temperatura može jako utjecati na stanje tla, pa tako ono može biti zaleđeno ili "razmočeno". Snijeg i kiša koji padaju na smrznuto tlo ne produciraju gotovo nikakvu eroziju, ali površinsko tečenje nastalo otapanjem snijega i kiša na razmočeno tlo produciraju vrlo veliku eroziju.

Na kraju treba naglasiti već navedenu činjenicu da je klima "prosječno stanje atmosfere" što znači da postoje određena odstupanja zbog kojih erozija varira od godine do godine što je izravna posljedica različitih vrijednosti oborina. Također iznos erozije na određenom terenu varira od doba godine. Na primjer erozija je veća kada vrhunac erozivnosti oborina korespondira s razdobljem u kojem je površina terena najeksponiranija udarima kišnih kapi, tj. s razdobljem kada je vegetacija najoskudnija.

2.3.1.2.2 Tlo i stijena

Iako su predmet istraživanja ovog rada slabo vezane stijene (fliš i lapori) erozijski agens, voda, ne erodira ih u njihovom primarnom obliku. Već je ranije spomenuto da je erodibilnost takvih materijala niska te da bi se oni stvarno i erodirali, primjerice posredstvom površinskih tokova, potrebna je visoka energija takvih tokova. Kako na promatranom području energija tokova ipak ne prelazi takve velike razine, ovdje je naglasak na eroziji tla.

Naime treba naglasiti da je proces trošenja prvi preduvjet za eroziju flišnih naslaga i globigerinskih lapora jer se upravo procesom trošenja na izučavanim ogolinama stvara tanka površinska zona trošenja koja se po svojim karakteristikama u inženjerskogeološkom smislu svrstava u tlo. Upravo zato će u nastavku biti govora o tlu kao jednom od primarnih medija erozije.

Tlo nastaje različitim procesima trošenja matične stijene, a brzina nastanka, vrsta i značajke samog tla ovise o vrsti matične stijene, klimi, reljefu i sl. Ti faktori određuju svojstva tla u nekom prostoru, a jedno od tih svojstava je svakako erodibilnost. Tako postoje jako erodibilna i slabo erodibilna inženjerska tla. Jako erodibilna tla mogu biti 10 puta podložnija eroziji od slabo erodibilnih tla (Toy i dr. 2002).

Najvažnije značajke tla u pogledu erozije su svakako mineralni i granulometrijski sastav jer upravo te dvije značajke direktno utječu na posmičnu i vlačnu čvrstoću tla za koju se može reći da je najvažnija mjera erodibilnosti. Uz to mineralni i granulometrijski sastav izravno utječu na količinu infiltracije koja, kako je već naznačeno, kontrolira količinu površinskog toka, a time i njegovu erozivnost. Tako se kao primjer mogu navesti tla koja sadrže visok postotak minerala glina i čestica dimenzija glina te kao takva imaju niske vrijednosti erodibilnosti zato što ih karakterizira kohezija (privlačna sila koja djeluje među sitnozrnatim česticama nastala kao posljedica međumolekularnih sila). Upravo ta sila

spriječava odvajanje čestica tla. Tla koja se nalaze na terenima blagog nagiba, a koja karakterizira visoki udio pijeska također nisu visoko erodibilna. Razlog tome je činjenica da pijesak, iako ne posjeduje svojstvo kohezije, ima vrlo visok faktor propusnosti te se na takvim terenima ne može stvoriti površinski tok koji bi svojom kinetičkom energijom lako mogao prouzročiti visoke iznose erozije. Prahovita tla, s druge stane, predstavljaju najerodibilnija tla od svih nabrojanih jer podržavaju vrlo visok iznos površinskog tečenja, a čestice nisu međusobno povezane jakom kohezijom zbog čega se lako odvajaju.

Na erodibilnost tla također jako utječe stvaranje površinske "kore" u obliku stvrdnutog dijela tla koja može nastati u ljetnim mjesecima zbog isušivanja. U zimskim se pak mjesecima površinski sloj može toliko natopiti da predstavlja "brtvu". U oba slučaja taj sloj onemogućava infiltraciju površinske vode čime se povećava površinski tok, tj. povećava se njegova erozivnost.

2.3.1.2.3 Reljef

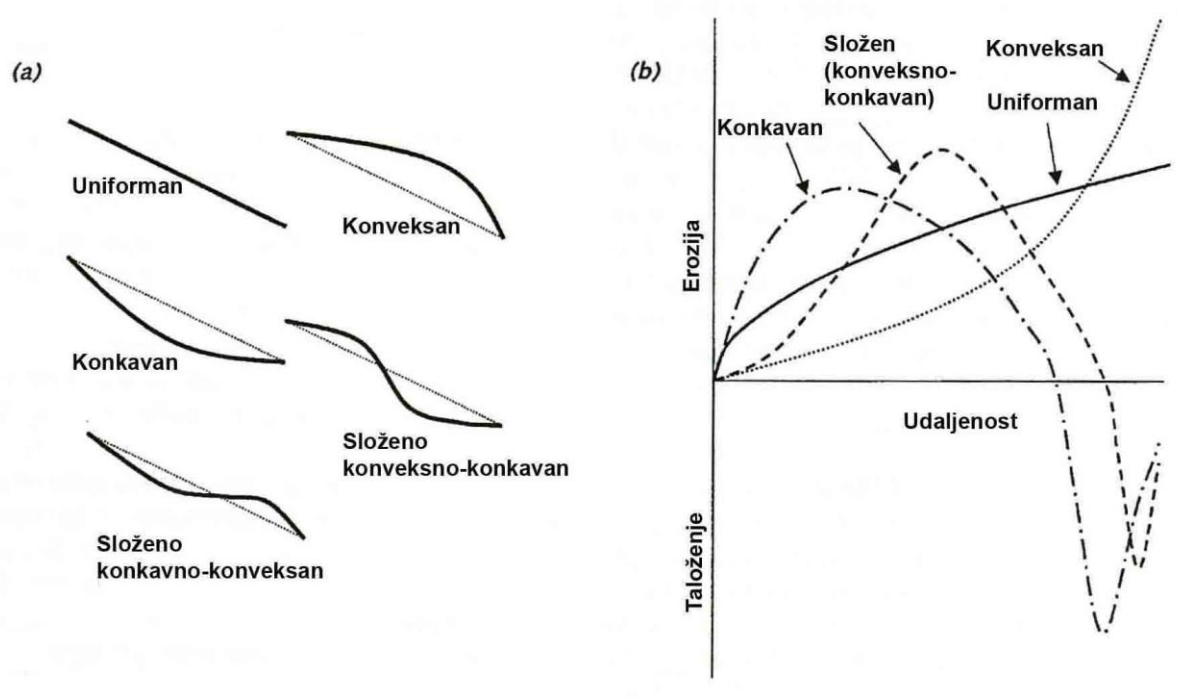
Reljef jednog područja karakterizira sveukupnost oblika koji izgrađuju površinski dio Zemljine kore (Marković, 1983.). Ti oblici svojom geometrijom izravno utječu na energiju vode kao erozionog agensa, a time i na iznos erozije. Najvažnije geometrijske varijable nekog reljefa su dužina i nagib te oblik profila i tlocrta padina.

Povećanje nagiba padine linearno prati povećanje iznosa erozije (Toy i dr. 2002). Ovdje treba naglasiti da nagib više utječe na eroziju izazvanu površinskim tečenjem nego na eroziju izazvanu udarom kišnih kapi (Foster, 1982). Također se generalno može reći da erozija na određenoj točki neke padine ovisi o udaljenosti te lokacije od najniže točke na profilu i od nagiba padine u toj točki (Foster i dr., 1977).

Iz svega navedenog, a u cilju što bolje analize reljefa, potrebno je na nekom istraživanom terenu što bolje izučiti profile reljefa karakteristične za to područje. Stoga su u nastavku ukratko opisani jednostavniji primjeri profila te s tim u vezi ponašanje procesa erozije i taloženja. Na slici (Slika 5) prikazani su karakteristični profili koji se nalaze u prirodi duž putanja tečenja vode niz padinu. Prema obliku profile možemo klasificirati na:

- **Uniformne** – nagib se ne mijenja duž padine;
- **Konveksne** – nagib se povećava duž padine;

- **Konkavne** – nagib se smanjuje duž padine;
- **Složene** (konveksno-konkavne);
- **Složene** (konkavno-konveksne).



Slika 5 - a) Oblici padina; b) Raspodjela erozije i taloženja na različitim oblicima padina (Toy i dr. 2002)

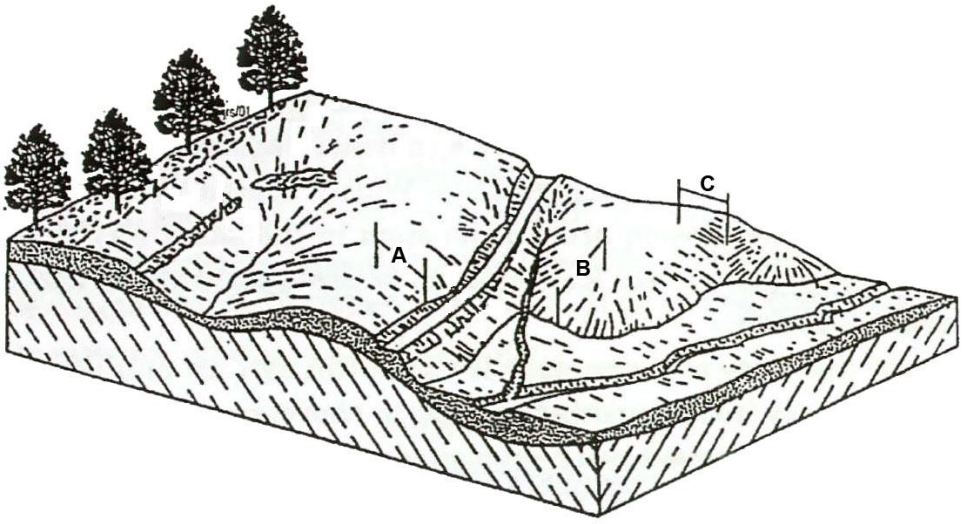
Uniformne padine karakterizira povećanje erozije kako se približavamo kraju padine, a razlog tome je akumulacija površinskog tečenja. Iznos erozije prouzrokovane kinetičkom energijom kišnih kapi i površinskim tečenjem na uniformnoj padini je u funkciji drugog korijena duljine padine (Toy i dr. 2002.). To je aproksimativna funkcija koja ovisi o odnosu erozije izazvane tečenjem i udarom kišnih kapi. Potencija u toj funkciji raste kako se erozija izazvana površinskim tečenjem relativno povećava u odnosu na eroziju izazvanu udarom kišnih kapi.

Konveksne padine su one na kojima se nagib povećava duž padine, a kao što je vidljivo na slici (Slika 5) iznos erozije se također povećava s udaljenošću od najviše točke na nekoj padini.

Konkavne padine su upravo suprotne od konveksnih, a njih karakterizira najmanje površinsko tečenje u području najvećeg nagiba. Maksimalni iznos erozije je nešto manji od maksimalnog iznosa za uniformne padine.

Već je rečeno da je taloženje važan pojam koji ide sukladno s erozijom. U pogledu reljefa taloženje će se dogoditi u trenutku kada količina čestica tla koja se nalazi u transportu preraste kapacitet transporta. Količina čestica stijene koju je moguće transportirati na određenoj točki padine ovisi o količini pokrenutih čestica iznad te točke, a kapacitet transporta je u izravnoj ovisnosti s količinom površinskog tečenja i nagibom padine. Tako na primjer ako se nagib konkavne padine dovoljno ublaži, na donjem dijelu te padine dogoditi će taloženje zbog čega će manje čestica doći do kraja padine, tj. do erozione baze.

Slika (Slika 6) prikazuje dio terena na kojemu su naznačena područja koja karakteriziraju različiti režimi erozije pa se tako može vidjeti da pravocrtni obronak (*eng. valleysides*), na slici prikazan slovom A, ima isti erozijski potencijal na jedinicu širine duž cijele erozione baze koja se nalazi u podnožju padine. Na dijelu terena prikazan slovom B (*eng. noses*) površinski tok divergira pa se tako i erozijski potencijal smanjuje idući prema podnožju padine. Reljefna udubljenja (*eng. hollows*) na slici prikazane slovom C uzrokuju konvergenciju površinskog toka pa se iz to razloga potencijalna erozija duž takve padine povećava.



A - pravocrtni obronak
B - reljefno izbočenje
C - reljefno udubljenje

Slika 6 - Dijelovi reljefa s različitim režimima erozije (Toy i dr., 2002)

Iz do sada navedenog može se zaključiti da horizontalna i vertikalna razvedenost reljefa jako utječe na erozijski potencijal (podložnost nekog područja procesima erozije kao posljedica međusobnog djelovanja primarnih faktora) nekog područja. Zato je prilikom

analize reljefa nekog područja jako važno kvantificirati te dvije veličine te odrediti njihovu prostornu distribuciju jer upravo o tome ovisi i prostorna distribucija erozijskog potencijala.

Reljef također ima indirektne efekte na eroziju slično kao što klima utječe na biljni pokrov nekog terena. Tako se vlažnost povećava idući prema nižim dijelovima nekog terena (Weltz i dr. 1998), čime se pospješuje bujniji rast biljaka i smanjuje erozija. Bujnijim rastom biljaka stvara se veća količina biomase koja također smanjuje eroziju.

2.3.1.2.4 Iskorištenost zemljišta

Pojam "iskorištenost zemljišta" se odnosi na to kojom je vegetacijom neki teren prekriven, kako se i da li se uopće ta vegetacija koristi u bilo kojem vidu ljudske djelatnosti te koje se sve tehnike i tehnologije koriste prilikom iskorištavanja biljnih i mineralnih resursa nekog terena. Ovdje treba naglasiti da je biljni pokrivač najbolja zaštita od erozije te da tip i količina vegetacije koja može uspjevati na nekom području ovisi primarno o klimi, vrsti tla i o načinu upravljanja nad nekim područjem.

U nastavku su navedeni najvažniji aspekti iskorištenosti nekog terena te primjeri na koji način ti aspekti pozitivno ili negativno utječu na eroziju i njene procese. Pri tome treba naglasiti da će se ovdje govoriti o utjecaju vegetacije na eroziju jer se na ogolinama, kao jedinim površinama kojima se bavi ovaj rad, u pravilu ne odvija nikakva ljudska aktivnost niti se provode inženjerski zahvati.

Vegetacija

Utjecaj vegetacije na eroziju može se očitovati kroz više faktora. Tu se prije svega misli na vegetacijski nadzemni "krov" (*eng. canopy*) te biljne stabljike i bazu (korijenski sustav). Čovjek na te faktore može vrlo intenzivno utjecati načinom upravljanja (*eng. menagement*).

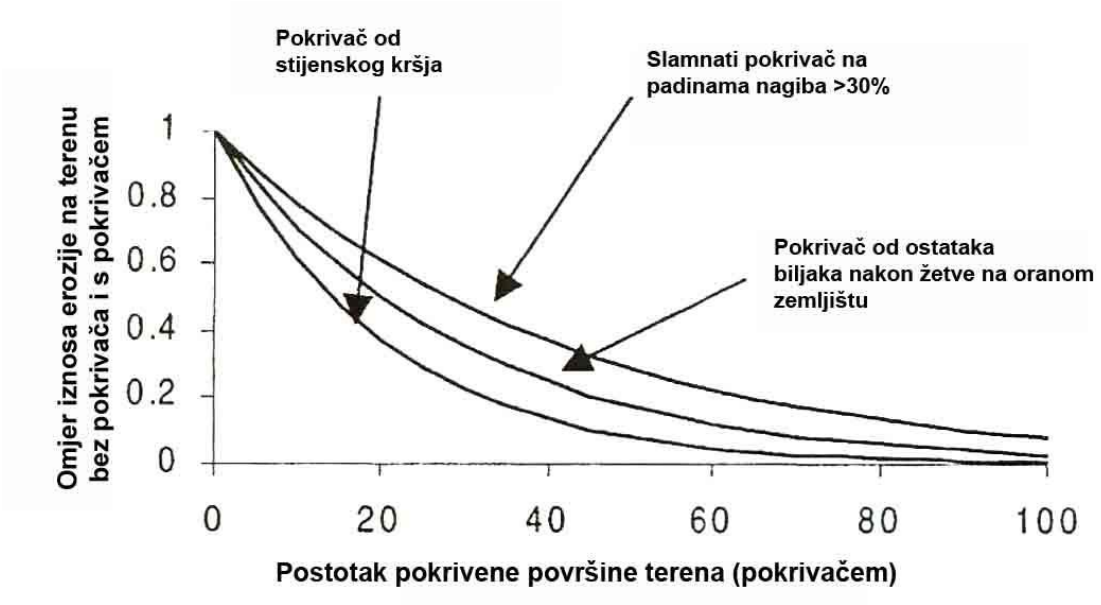
Vegetacijski "krov" je nadzemni dio biljaka koji spriječava udar kišnih kapi o tlo. Dio kiše kojoj se na njenom putu prema površini terena ispriječio vegetacijski "krov" putuje po biljci i moguće je da uopće ne dotakne tlo jer na tom putu može ispariti ili čak izravno oteći u neki vodotok. Na taj način je prije svega gotovo potpuno onemogućena erozija udarom kišnih kapi, a zatim i erozija uzrokovana površinskim otjecanjem. Također je moguće da kiša koja je pala na vegetacijski "krov" potom padne i na tlo. U tom slučaju energija udara ovisi o

visini s koje je ta kap pala, dakle ako je vegetacijski "krov" visok energija udara po iznosu može biti približna energiji koju bi imala i kišna kap, i obrnuto energija udara može biti niža ako je taj "krov" niži. Iz ovog se može zaključiti da vegetacijski "krov" izravno utječe i na eroziju izazvanu udarom kišnih kapi i na eroziju izazvanu površinskim otjecanjem.

Sljedeći važan faktor vegetacije su biljne stabljike i biljna baza (korijenski sustav). Ovi faktori u prvom redu imaju utjecaj na eroziju površinskim tokom. Na primjer gusto raspoređene biljne stabljike usporavaju površinsko tečenje čime se pospješuje infiltracija, a istovremeno smanjuje erozija. Nasuprot tome rjeđe raspoređene biljne stabljike mogu čak ubrzati površinski tok u okolini biljki čime se povećava erozija, upravo slično kako se ubrzava tok vode, a time i njezina erozivnost, oko stupa mosta preko neke rijeke. Nadalje, korijenski sustav predstavlja prirodnu armaturu tla te kao takav sprječava veće iznose erozije. Korijenski sustav ne predstavlja samo armaturu već na eroziju djeluje i kroz druge procese. Tu se prije svega misli na jednogodišnje biljke kod kojih, nakon što uvenu, u zemlji ostane korijen koji se posredstvom vode, mikro i makro organizama raspada. Tijekom toga raspadanja u tlu se povećava poroznost čime se povećava i infiltracija. Povećanjem infiltracije umanjuje se energija, tj. erozivnost površinskih tokova. Generalno možemo zaključiti da aktivnost flore i faune u tlu mijenja strukturu tla i smanjuje eroziju (Toy i dr., 2002.).

Pokrivač

Površinski pokrivač u agronomskom smislu je materijal koji prekriva tlo. On štiti tlo od udara kišnih kapi, a isto tako usporava površinski tok vode. Vegetacijski pokrivač nastaje kao rezultat akumulacije biljnih ostataka u obliku otpalog lišća, uvenulih stabljika trave ili pak neke druge biljke. Pokrivač također može biti postavljen od strane čovjeka i to u obliku nekih umjetnih materijala, a može biti izgrađen od živućih dijelova biljaka koje dodiruju tlo. Utjecaj pokrivača na eroziju varira u ovisnosti o klimi, reljefu i stanju tla (Slika 7).



Slika 7 - Utjecaj površinskog pokrivača na eroziju izazvanu udarom kišnih kapi i površinskim tečenjem (Toy i dr., 2002)

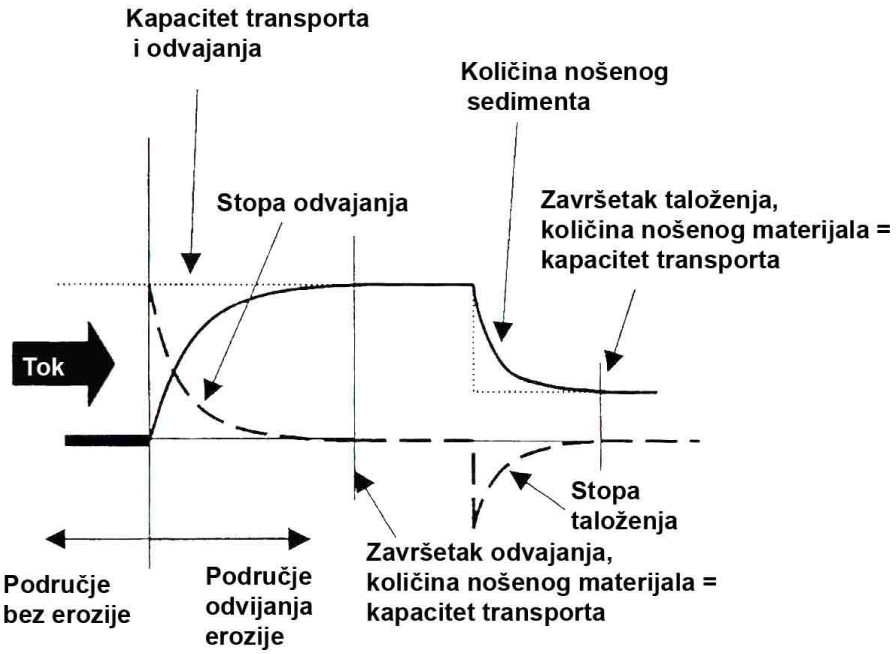
Pokrivač se može sastojati i od kriptogama (tajnocvjetke) u koje spadaju mahovine, alge, lišajevi te mlada trava. Takva organska kora može na nekoliko načina utjecati na eroziju. Prije svega može reducirati infiltraciju i povećati površinsko otjecanje tako da blokira pore kroz koje je prije voda mogla prolaziti. Suprotno tome kriptogame mogu povećati poroznost te na taj način povećati infiltraciju tako što povećavaju sposobnost tla da stvara agregate. Nadalje takva organska kora može biti i armatura koja će štititi tlo od udara kišnih kapi, a isto tako spriječavati eroziju posredstvom površinskog toka.

2.3.1.3 Procesi erozije

Kroz definicije erozije navedene u ovom radu vidljivo je da se erozija sastoji od procesa odvajanja, pokretanja i transporta čestica tla. U stranoj i domaćoj literaturi, zajedno s gore navedenim procesima, proučava se i taloženje, iako je na sistematizaciji koju prikazuje slika (Slika 1, str. 5) ono izdvojeno zasebno, sljedeći logiku da taloženje nije jedan od procesa denudacije (snižavanja terena). Naime prilikom erozije tla (najizučavanije vrste erozije) taloženje i erozija se toliko isprepliću da ih je nužno izučavati zajedno, tj. zasebno izučavanje ne bi imalo smisla. Ovdje treba naglasiti da se na istraživanom prostoru uz navedene procese još upliću mehanizmi fizičkog trošenja i pokreta masa (polje interesa ovog rada; Slika 1, str. 5).

Izučavajući eroziju stručnjaci i znanstvenici s tog polja primijetili su da se na nju mogu primijeniti dva načela koja govore o mehanizmima navedenih procesa i njihovom

međusobnom ispreplitanju. Prvo načelo za razumijevanje erozije glasi: „pokrenuta količina čestica ovisi o količini sedimenta produciranog odvajanjem te o transportnom kapacitetu erozijskog agensa (Toy i dr., 2002)“, dok drugo glasi: „ukupna energija nekog toka (erozivnost toka) usporedno se troši na odvajanje i transport". Oba načela zorno ilustrira slika (Slika 8) na kojoj je vidljivo da, ukoliko se količina pokrenutog sedimenta približava kapacitetu odvajanja/transporta, smanjuje se udio energije koji se može potrošiti na odvajanje, a time se zaista i smanjuje količina odvojenog sedimenta i obrnuto. Nadalje, ako iz nekog razloga padne kapacitet transporta i odvajanja (smanjenje nagiba terena, smanjena energija toka itd.) kao posljedica se događa taloženje sedimenta nošenog erozionim agensom.



Slika 8 - Veza između količine nošenog materijala, kapaciteta transporta količine odvajanja i taloženja (Toy i dr., 2002)

Uz navedena načela potrebno je definirati kapacitet odvajanja i kapacitet transporta. Kapacitet odvajanja predstavlja maksimalnu količinu sedimenta koja može biti odvojena uz određeni tok (vode ili vjetra) i određene značajke tla ili stijene. Ta količina ovisi o erozivnosti toka te o erodibilnosti tla ili stijene. Kapacitet transporta je u funkciji energije i količine toka te pokretljivosti sedimenta koja ovisi o veličini i gustoći čestica sadržanih u tom sedimentu.

2.3.2 Pokreti masa (stijene ili tla)

Iako predmet ovog rada nije razmatranje i definiranje procesa pokreta masa, važno ga je ukratko spomenuti jer se na istraživanom području zajedno s procesima trošenja i

erozije događaju i odroni te klizanja. Odroni i klizanja su procesi koji pripadaju pokretima na padinama, a njihova pojava na izučavanom terenu ubrzava procese erozije na način da veća količina materijala transportira klizanjm i odronjavanjem u brazde i jaruge odakle tok vode takav oslabljeni materijal nosi u niže dijelove sliva.

Pod pojmom pokreta masa podrazumijevaju se svi pokreti materijala na padinama pod izravnim utjecajem **gravitacije** (Bates i Jackson, 1984) te usjedanje. Vrlo često se, posebice u primijenjenim strukama, gravitacija spominje kao jedan od agensa erozije pa se tako govori da postoji **urvinska erozija** (Petraš i Bašić, 1993) koja predstavlja odronjavanje manjih ili većih količina materijala niz strmije padine terena. Geološka znanost takav proces svrstava u pokrete masa, a ne u eroziju.

Pokreti masa na padinama se događaju u matičnoj stijeni i tlu, a prema mehanizmu kretanja Varnes (1978) razlikuje: odrone (*eng. falls*), prevrtanja (*eng. topples*), klizanja (*eng slides*), bočno razmicanje (*eng. lateral spreads*), tečenje (*eng. flaws*) i kompleksne pokrete masa (Varnes, 1978). Od navedenih tipova pokreta masa na ogolinama središnje Istre nailazi se na odrone i klizanja. Na slikama (Slika 9; Slika 10; Slika 11) su u inženjerskom smislu od vrsta lomova u stijenskoj masi prikazani ravni lom, osipavanje te prevrtanje (Afrouz, 1992), tj. oni lomovi koji su tijekom istraživanja bili uočeni na terenu.

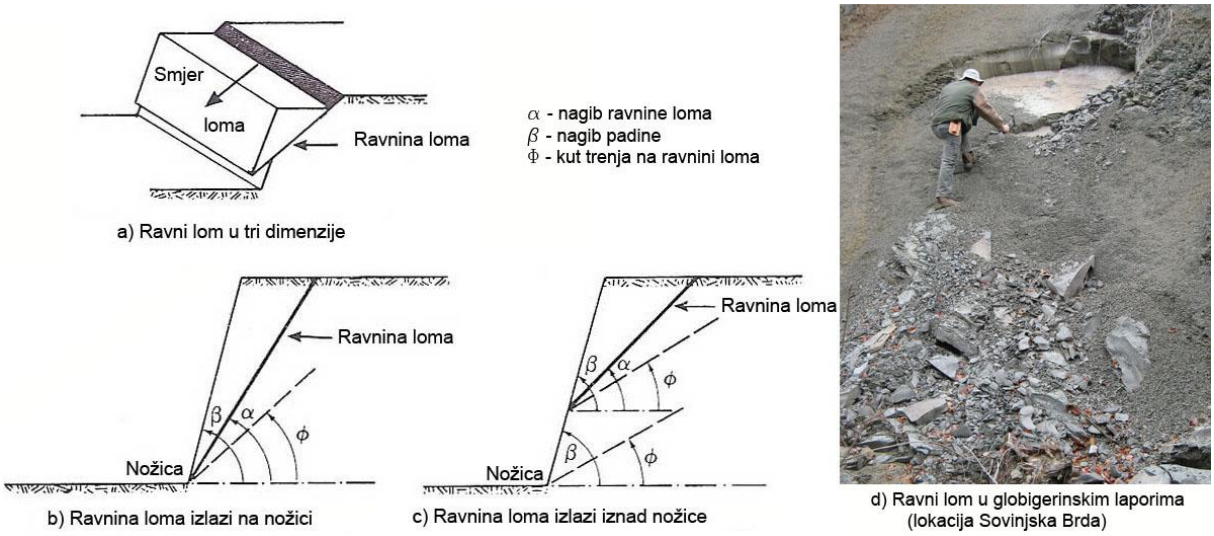
2.3.2.1 Klizanje u stijeni

Ravni lom

Ovaj tip loma pretpostavlja postojanje jedne ravnine po kojoj se događa klizanje bloka, a koja se nalazi subparalelno s ravninom padine. Da bi se dogodio ovaj tip loma moraju biti zadovoljeni određeni preduvjeti:

- Pružanje ravnine loma mora biti subparalelno s pružanjem padine, a nagib obiju ravnina mora biti u istom smjeru;
- Nagib ravnine loma prema horizontali na slici (Slika 9) označen grčkim slovom α mora biti manji od nagiba ravnine padine označenog s grčkim slovom β i veći o kuta trenja označen s grčkim slovom ϕ. Ovisno o položaju ravnine loma njezina

presječnica s ravninom padine može biti vidljiva na samoj nožici zasjeka ili bliže sredini zasjeka



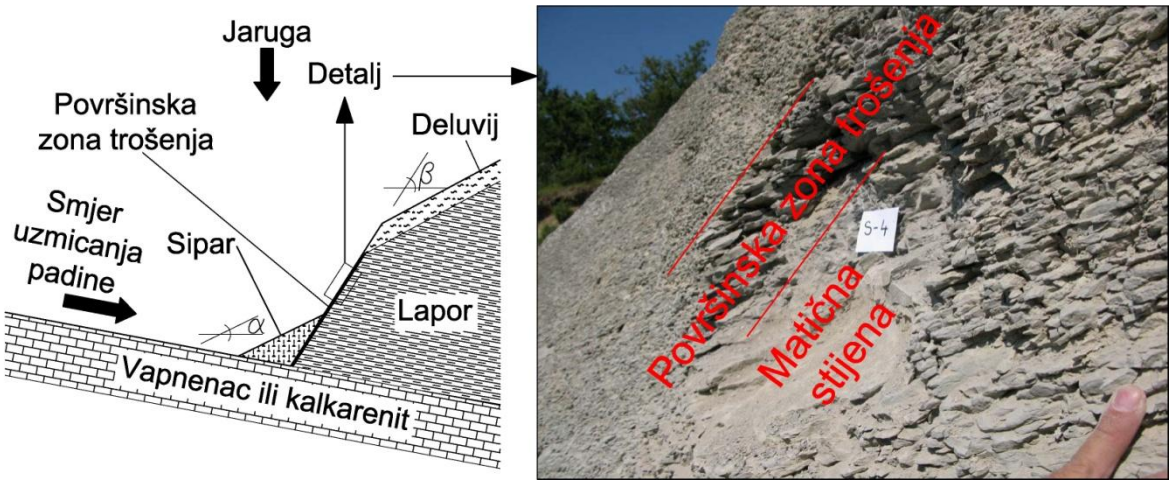
Slika 9 – Ravni lom

Gore prikazanim načinom loma stijenske mase u središte brazda ili jaruga dolazi veća količina oslabljenog materijala koja smanjuje energiju povremenom toku vode. Sve dok se taj materijal ne "očisti" iz osi kanala tok ima nižu erozivnost jer energiju troši na pokretanje i odvajanje akumuliranog materijala (Slika 8, str. 25).

2.3.2.2 Odroni

<u>Osipavanje</u>

Osipavanje nastaje u slabim, jako razlomljenim i/ili dezintegriranim stijenama u kojima, kada se formira padina, veliku ulogu ima trošenje stijene uzrokovano procesima smrzavanja i odmrzavanja vode u pukotinama (Afrouz, 1992). U slučaju da je padina formirana pod kutom β većim od kuta unutarnjeg trenja sipara α (Slika 10) dolazi do odvajanja blokova koji se valjaju ili odskaču od čela padine te bivaju istaloženi u podnožju.

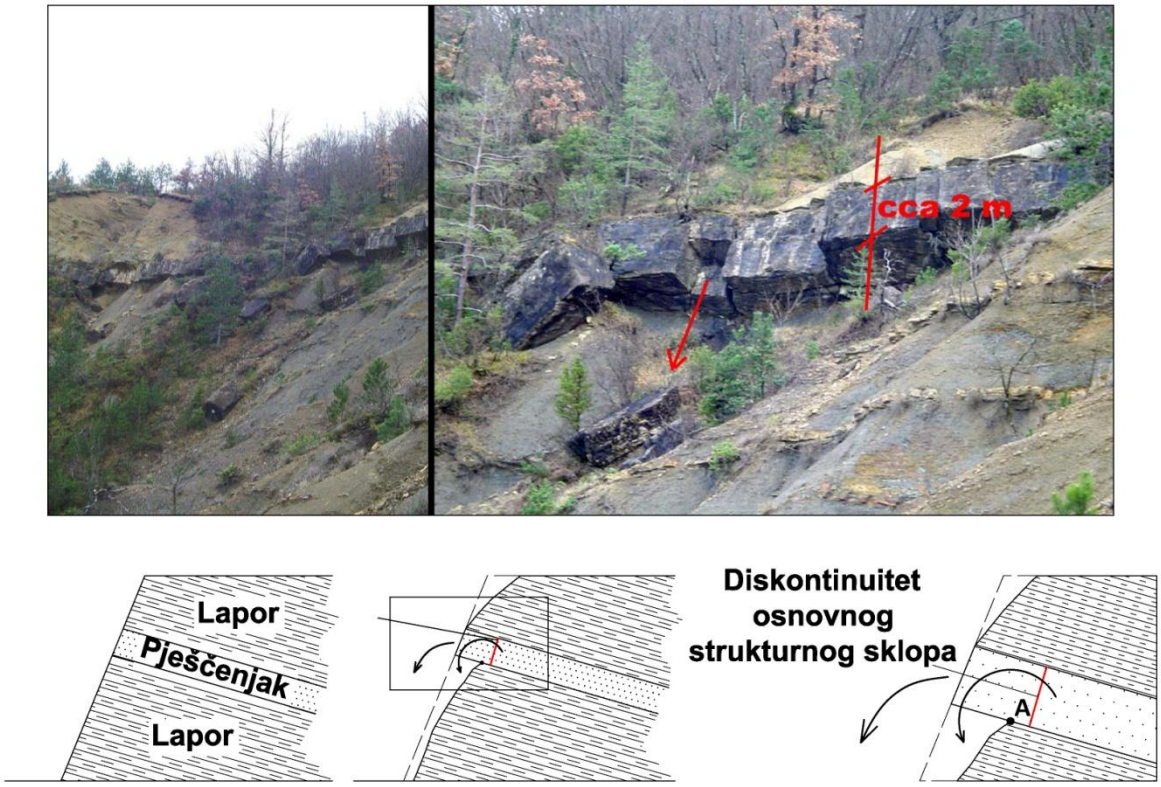


Slika 10 – Osipavanje u laporima (lokacija Šterna)

U slučaju da se u podnožju padine nalazi jaruga s povremenim tokom vode, kao što je to čest slučaj na području fliša središnje Istre (Slika 10), nakupljeni sipar biva odnesen tim tokom, a na padini se stvara nova površinska zona trošenja. Time se zapravo čelo padine u slučaju prikazanom na slici (Slika 10) pomiče u desnu stranu.

Ispadanje blokova

U nastavku prikazani primjer ispadanja blokova nije klasičan primjer kakvoga se može naći u literaturi. On je vezan u pravilu za flišne naslage koje karakterizira izmjena kompetentnih (vapnenci, kalkareniti, pješčenjaci, breče i sl.) i nekompetentnih (lapori, siltiti i sl.) slojeva u inženjerskogeološkom smislu. U prethodnom odlomku je objašnjeno osipavanje za koje se može reći da prethodi ispadanju blokova prikazanom na slici (Slika 11).



Slika 11 – Ispadanje (prevrtanje) blokova u flišu (lokacija Brus)

Naime brzina trošenja lapora je neusporedivo veća od brzine trošenja na primjer pješčenjaka pa zbog toga na prirodnim padinama takvi slojevi pješčenjaka strše i predstavljaju uvjetno stabilne blokove. Daljnjim trošenjem i osipavanjem lapora koji se nalaze u podini kompetentnog sloja isti postaje nestabilan te dolazi do njegovog ispadanja, a ponegdje i prevrtanja oko točke A prikazane na slici (Slika 11). Na taj način blokovi različitih dimenzija (od 0.5 dm^3 do 2 m^3) dospjevaju u brazde i jaruge (Slika 12) u kojima predstavljaju prirodne barijere, koje pak uzrokuju smanjenje energije toka te tako direktno utječu na erozivnost toka, tj. eroziju.

Slika 12 – Odronjeni blokovi u suhom koritu jaruge (lokacija šire područje Grimalde)

2.4 TALOŽENJE ILI AKUMULACIJA

Taloženje kao zadnji u nizu egzogenih procesa prikazanih na slici (Slika 1, str. 5) predstavlja odlaganje (smirivanje) stijenskog materijala pokrenutog bilo kojim prirodnim agensom (Bates i Jackson, 1984). Vrlo često ga se definira i kao transfer pokrenutih čestica iz stanja gibanja u stanje mirovanja (Toy i dr., 2002).

Taloženje vezano uz proces erozije izravno ovisi o energiji agensa erozije što zorno prikazuje slika (Slika 8, str. 25). Energija nekog agensa ovisi o reljefu (u prvom redu nagibu terena), a zatim i o količini pokrenutih čestica iz čega se može zaključiti da su taloženje i erozija jako isprepleteni procesi jer taloženjem čestica ne znači da će one ostati na tom mjestu zauvijek. Potreban je samo agens više erozivnosti i istaložene čestice se ponovno pokreću, a ciklus se nastavlja.

Na taloženje odnosno smirivanje pokrenutog materijala procesima pokreta masa događa se u pravilu kao posljedica utjecaja reljefa (snižavanje nagiba, oblik reljefa i sl.). Tako

je umireni materijal podložan ponovnom pokretanju bilo procesima erozije (ako je materijal u kontaktu s erozivnim agensom) bilo opetovanim procesom pokreta masa zbog promjene naprezanja uzrokovanih erozijom ili promjenom razine podzemne vode.

Na istraživanom području taloženje materijala nastalog djelovanjem procesa erozije i pokreta masa se odvija u jarugama gdje su mjestimice zabilježeni mladi nanosi debljine do 0.5 m (Slika 13). Takvi nalazi izravno potvrđuju činjenicu o sposobnosti flišnih naslaga da produciraju visoke količine nanosa i to u relativno kratkom vremenskom periodu.

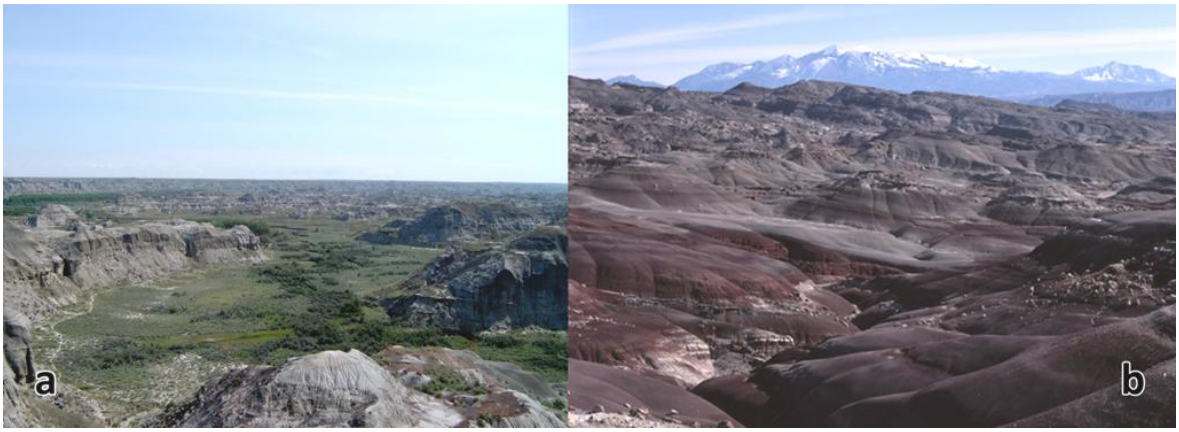
Slika 13 – Taloženje materijala nastalog trošenjem i erozijom lapora (lokacija istočno od Boljuna)

3 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

3.1 SVJETSKA ISTRAŽIVANJA OGOLINA

Dugi vremenski period potreban za stvaranje velike većine reljefa na Zemlji predstavlja problem prilikom mjerenja različitih procesa koji se pri tom stvaranju događaju (Howard i Kerby, 1983). Ogoline predstavljaju oblik reljefa koji može poslužiti kao model (Wainwright i Brazier, 2011), umanjen i na prostornoj i na vremenskoj skali, za izučavanje velikih sistema jer se na njima odvijaju svi prije nabrojani egzogeni procesi. Promjene koje se primjećuju na reljefu su dinamične i mjerljive jer se događaju u inženjerskom vremenu. Navedeni razlozi objašnjavaju brojnost znanstvenih radova kojima je osnovna zadaća detektiranje, opisivanje ogolina te mjerenje različitih pojava i procesa na njima. Brojnost radova također je posljedica učestalosti pojave ogolina na cijelom planetu.

Tako veliki broj Sjevernoameričkih ogoljelih područja predstavlja tipične lokalitete koji su jako dobro istraženi, a posebice ogoline u Dinosaur Provincial Parku, država Alberta u Kanadi (Bryan i dr. 1986) te Henry Mountains, država Utah u SAD (Gilbert, 1877; Howard, 2009, Slika 14).



Slika 14 – a) Dinosaur Provincial Park; b) Henry Mountains

Ogoline su također vrlo rasprostranjen oblik reljefa i na Mediteranskom području (Tunis, De Ploey, 1974. i 1989; Maroko, Imeson i dr., 1982; Winwright i Thornes, 2003), u

Africi (npr. Boardman i dr., 2003; Eriksson, i dr., 2003; Feoli i dr., 2002; Achten i dr., 2008), u Čileu (Maerker i dr., 2008), u Indiji (Joshi i dr., 2009) te u Kini (Liu i dr., 1985).

Engleski naziv za ogoline – *badland* dolazi od ranih francuskih doseljenika u Sjevernu Ameriku koji su nailazili na teren (*eng. land*) koji je bio "loš" (*eng. bad*), ili, još bolje rečeno, težak za prelaženje (Winwright i Brazier, 2011). U literaturi se mogu naći mnoge definicije ogolina, a zajedničko im je da pojam ogolina opisuje reljef bez ili s vrlo oskudnom vegetacijom, strmih nagiba padina, velike gustoće hidrografske mreže, ponegdje tankog regolita, a ponegdje bez njega te s vrlo visokim iznosima erozije. Zadnju konstataciju o visokim iznosima erozije na ogolinama treba uzimati s rezervom jer postoje radovi u kojima se navodi da neke ogoline ili barem njihovi dijelovi mogu biti stabilni u smislu denudacije i erozije nekoliko tisuća godina (Wise i dr., 1982; Wainwright, 1994; Howard, 1997; Díaz-Hernández i Juliá, 2006). Također dvojica možda i najistaknutijih znanstvenika iz tog pordručja Bryan i Yair (1982) ogoline definiraju kao područja na kojima se interaktivno događaju procesi cjevastog ispiranja (*eng. piping*), pokreta masa i fluvijalnih procesa formirajući pri tome razveden, brežuljkast i jaružast reljef.

Radovi koji daju generalan pregled ogolina su napisani od strane nekoliko istaknutih znanstvenika na tom polju, a to su prije svih Bryan i Yair (1982 a i b), zatim Campbell (1989), Howard (1994) te Harvey (2006).

3.1.1 Pokretači nastanka ogolina

Brojni faktori i procesi utječu na stvaranje ogolina kao kompleksnih reljefnih oblika i to u različitim mjerilima izučavanja. Bez obzira na složenost nastanka ogolina može se naznačiti da sve one dijele slične litološke i klimatske značajke (Bryan i Yair, 1982b) pa se prema tome može zaključiti kako upravo ta dva faktora imaju dominantnu ulogu u stvaranju i opstojanju ogolina.

Litologija

Nastanak ogolina je u pravilu vezan za slabokonsolidirane i loše cementirane materijale kao što su šejlovi, lapori i prohovito-glinovite formacije. Također, ogoline mogu

nastati na pjeskovitim konglomeratima s glinovitim matriksom, zatim na pješčenjacima pa čak i na tankom pokrivaču koji nastaje trošenjem granita (Bryan i Yair, 1982b).

Jedan od važnijih procesa trošenja, a koji izravno ovisi o vrsti materijala je vlaženje i sušenje, tj. bubrenje i stezanje. Tako na primjer u blizini Alicante (Španjolska) postoje ogoline izgrađene od laporovitih, glinovitih i pješčenjačkih stijena od kojih prve dvije jako podliježu navedenim procesima bubrenja i stezanja (Cerdà, 2002). Kao rezultat nastaje razlomljena površina i to posebno u sušnim ljetnim mjesecima. U jesenskim mjesecima bogatijim oborinama u navedenim materijalima stvara se površinska kora koja podržava površinski tok, koji opet povećava iznos erozije.

Izmjena različitih litoloških članova može izazvati različiti iznos površinskog toka, a time i različite iznose erozije na vrlo malom prostoru što opet dovodi do nastanka složenih padinskih oblika na ogolinama (Hodges i Bryan, 1982).

Orijentacija osnovnih strukturnih elemenata pojedinih litoloških članova u odnosu na orijentaciju osi i bokova jaruga ima važnu ulogu prilikom pokreta masa na padinama (2.3.2.1) (Howard, 2009).

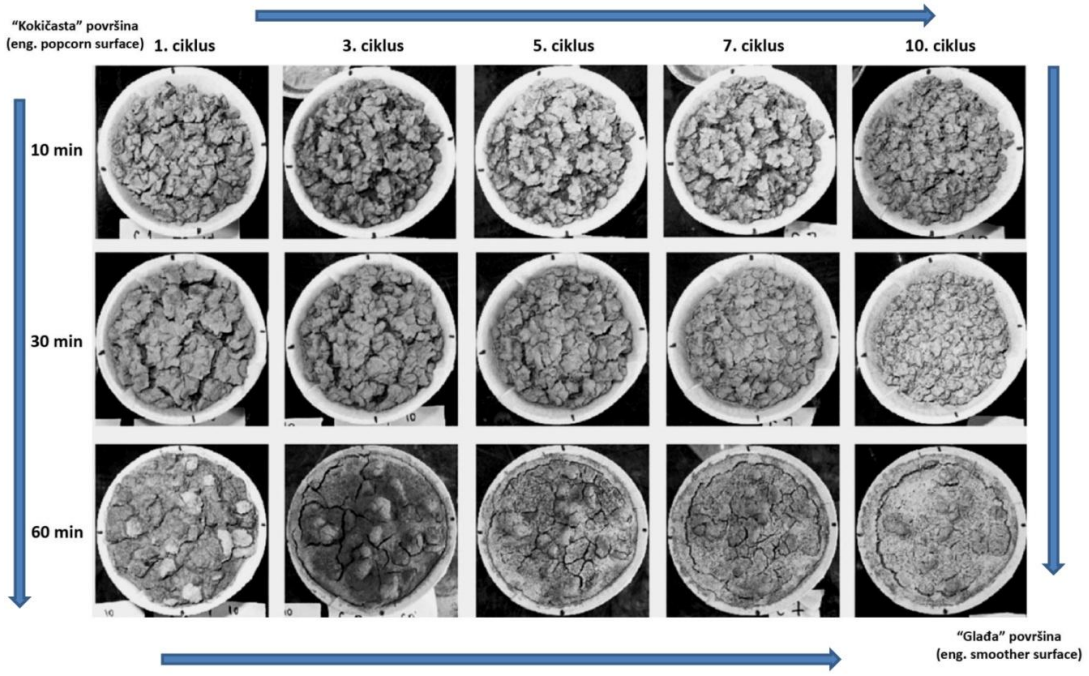
U literaturi se može naći da i strukture nastale dijapirskim prodorima mogu uzrokovati urezivanje glavnih riječnih korita te u vezi s tim uzrokovati jaružanja i formiranje ogolina (Cerdà, 2002; Wainwright, 1996a).

Klima

Klima na određenom području može utjecati na stvaranje i razvijanje ogolina kroz duže (geološko vrijeme) i kraće (ineženjersko vrijeme) vremensko razdoblje. Bryan i dr. (1986) su, izučavajući Dinosaur Provincial Park (Alberta, Kanada), došli do zaključka da je evolucija navedenog ogoljelog terena bila podijeljena u faze kroz koje se događalo produbljivanje i zapunjavanje dolina koje je pak bilo uvjetovano relativno vlažnijim i sušnijim fazama tijekom holocena (slično zaključuju Evans i dr., 2004; Descroix i Gautier, 2002).

U kratkom vremenskom razdoblju klima može utjecati na ogoline kroz proces insolacije i rasta leda koji ovise o orijentaciji, tj. aspektu padina na oglinama. Također klima utječe na sposobnost vegetacije da se održi na određenom prostoru, no najznačajniji utjecaj

klime se svakako ogleda kroz ekstremne događaje kao što su na primjer kišne oluje (Wainwright, 1996b; Cantón i dr., 2001; Oostwoud Wijdenes i Ergeninger, 2003; García-Ruiz i dr., 2008; Francke i dr., 2008). Naime, zbog manjeg površinskog trenja na ogolinama u odnosu na vegetacijom pokriven okolni teren, na njima dolazi do formiranja vrlo brzih površinskih vodenih tokova koji onda doprinose visokim iznosima erozije (Wainwright, 1996a; Torri i dr., 1999). Navedene studije isto tako naglašavaju važnost kada se dogodila, koliko je trajala i koji je intenzitet imala pojedina oluja. S tim u vezi je i rad Kasanin-Grubin i Bryana (2007) u kojem su izučavali sezonsku dinamiku brazdi na području Alberte koja je uzrokovana promjenom uvjeta na površini, a te promjene su opet u funkciji trajanja i intenziteta kiše. Isti autori zaključuju da kratki ciklusi vlaženja dovode do nastanka "kokičaste" strukture površine tla (*eng. popcorn type*) dok duži ciklusi uzrokuju razaranje agregata i stvaranje glatke površine na kojoj se onda javlja brzi površinski tok. Da bi to dokazali provode jednostavan eksperiment u kojem materijal s ogolina podvrgavaju ciklusima vlaženja (pomoću simulatora kiše) u određenom vremenskom razdoblju (10, 30 i 60 min). Na slici (Slika 15) se vidi kako uzorci serije s 10 minutnim ciklusima vlaženja i nakon 10 ciklusa zadržavaju kokičastu strukturu površine, dok uzorci serija sa 60 minutnim vlaženjem već nakon trećeg ciklusa dobivaju zaglađenu površinu.



Slika 15 – Inkrementalni eksperiment trošenja na glinjacima iz Dinosaur Parka, Alberta, Kanada (Kasanin-Grubin i Bryana, 2007)

Iz svega se može zaključiti da prilikom izučavanja ovisnosti erozije i ostalih egzogenih procesa s intenzitetom i trajanjem kišnog događaja na ogolinama nikako ne bi trebalo promatrati samo jednu kišnu oluju, već se svakako mora znati je li izučavani materijal prethodno prošao slične događaje (Wainwright i Brazier, 2011).

Vegetacija

U samoj definiciji ogolina spominje se jedan od važnijih faktora njihova nastanka, a to je nedostatak vegetacije. Vegetacija je već spomenuta kao važan faktor o kojem ovisi iznos erozije (2.3.1.2.4), no ona u pravilu ne djeluje samostalno, tj. ne može se reći da je ona na pojedinim svjetskim lokalitetima jedini faktor nastanka ogolina. Tako je zanimljiv rad u kojima se povezuje pokrivenost terena vegetacijom s aspektom i nagibom padine (Bochet i dr., 2009). Autori u svom radu zaključuju da padine eksponirane prema sjeveru s nagibom iznad 63° nisu u stanju zadržati vegetaciju. Navedeni prag se snižava na 50° za padine eksponirane prema istoku te na 46° za one eksponirane prema zapadu. Najnižu vrijednost nagiba (41°) zabilježili su na padinama koje su izložene prema jugu (slična istraživanja provode Butler i Goetz, 1986, na ogolinama Sjeverne Dakote).

Brojni su i radovi u kojima se nedostatak vegetacije na ogolinama ne veže uz njihov nastanak već uz njihov opstanak. Naime, istraživanja (García-Fayos i dr., 2000; Guàrdia i dr. 2000) pokazuju da se nakon značajne erozijske faze na nekom terenu količina biljnog sjemena (eng. seedbank) brzo smanji ili kompletno potroši. Također se naglašava sposobnost neke biljne zajednice da raspršuje sjeme te sposobnost sjemena neke biljne vrste da opstane u negostoljubivim uvjetima kao važan faktor kolonizacije biljnih vrsta na ogoljelim površinama (Bochet i dr. 2009).

Lišajevi kao posebna vrsta organizama mogu također utjecati na opstanak ogolina i na iznos erozije na njima (2.3.1.2.4) tako što na nekim dijelovima terena predstavljaju važan stabilizacijski mehanizam (Alexander i dr., 1994) i to posebno na padinama eksponiranim prema sjeveru (Pintado i dr., 2005).

Ljudska aktivnost

Na kraju treba spomenuti da čovjek svojim djelovanjem ima vrlo važnu ulogu u formiranju i evoluciji ogolina. Proces nastanka jaruga kao rezultat sječe šuma i općenito

uklanjanja vegetacijskog pokrova vrlo često biva predstavljeno kao pokretač ekscesivne erozije i to od pretpovijesnih do današnjih dana kroz sve geografske širine i dužine (Italija: Torri i dr., 1999; Grčka: Kingi Sturdy, 1994; Francuska: Ballais, 1996; Španjolska; Casstro i dr., 1998; Južna Afrika: Boardman i dr., 2003; Uskršnji Otoci: Mieth i Bork, 2005; Tanzania: Eriksson i dr., 2003). Jaružanje naravno može biti i posljedica drugih faktora, no vrlo često u takvim situacijama čovjek, iako ne pokretač, može biti onaj koji pogoršava prirodno nastalu situaciju (Gonzalez, 2001).

3.1.2 Iznos denudacije na svjetskim ogolinama

Evolucija ogolina, koja se uglavnom očituje u denudaciji kao intenzivnom egzogenom procesu koji se događa na većini spomenutih svjetskih lokaliteta predstavlja veliki izazov u pogledu mjerenja. Naime već je rečeno da se promjene na ogolinama događaju u relativno kratkom vremenskom periodu (inženjerskom vremenu) pa je stoga lako objasniti veliki broj radova koji se bave upravo kvantifikacijom iznosa denudacije. Denudacija, tj. snižavanje reljefa se može mjeriti različitim tehnikama koje se mogu podijeliti na metode sitnijeg i metode krupnijeg mjerila kao što je opisano u poglavlju 5.2.3.

Tablica (Tabela 1) prikazuje pregled svjetskih istraživanja u kojima su se koristili erozijski klinovi za određivanje iznosa denudacije.

Tabela 1 – Snižavanje površine terena na ogolinama izmjereno pomoću erozijskih klinova (Winwright i Brazier, 2011)

Država i mjesto	Lokacija	Prosječno (ili raspon) snižavanje terena [mm]	Standardna devijacija [mm]	Broj mjerenja	Referenca
Central Karoo, Južna Afrika	Hrbat (*eng. interfluves*)	5.6	2.0	10	Keay-Bright i Boardman, 2009
	Kanali (*eng. channels*)	2.6	5.7	10	
	Bokovi jaruga (*eng.*	16.7	9.6	7	
	Podnožje padine (*eng. footslopes*)	4.7	4.4	10	
Tuscany, Italija	Biancane*	60.0	-	-	Della Seta i dr., 2009
	Mlada (*eng. embryonic*)	77.0	-	-	
	Podnožje padine (*eng. footslopes*)	74.0	-	-	
	Plato (*eng. pediment*)	2.8	-	-	
	Brazde (*eng. rill*)	26.0	-	-	
	Calanchi*	55.0	-	-	
	Među brazde bez erozijskog popločenja (*eng. interrill without caprock*)	0.7	-	-	
Južna Tuscany, Italija	Calanchi	20.0	-	-	Ciccacci i dr., 2008
	Biancane	15.0	-	-	
Basilicata, Italija	Biancane	9.1	2.2	10	Clark i Rendell, 2006
	Massa Abate	11.3	4.6	32	
	Pozo Varisana	14.7	5.0	72	
	Serra Pizzuta Massa Soldano	18.7	4.6	15	
	Calanchi	9.7	0.7	20	
	Serra Pizzuta	7.2	3.6	15	
	Mosola dela Zazzara Massa Soldano	9.5	2.2	14	
Basilicata, Italija	Calanchi	5.3-13.6	-	-	Alexander, 1982
	Biancane	22.8-39.7	-	-	
Drôme, Francuska	-	2-14	-	36	Wainwright, 1996
Hautes Alps, Francuska	-	10-20	-	-	Bufalo i dr., 1989
Vallcebre, Pyrenees, Španjolska	-	9.0	-	-	Solé i dr., 1992
Ebro basin, Španjolska	-	5-9	-	-	Benito i dr., 1992
Ebro basin, Španjolska	-	1.0	-	377	Desir i Marín, 2007
Tabernas, Almería, Španjolska	-	12.0	-	-	Lázaro i dr., 2008
Ugijar, Grandada, Španjolska	-	6-27	-	-	Scoging, 1982
Dinosaur Provincial Park, Alberta, Kanada	-	3.4	2.2	-	Campbell, 1982
Badlands National Monument, South Dakota, SAD	-	22.7	5.0	-	Scumm, 1962

3.1.3 Procesi i reljefni oblici karakteristični za ogoline

Najvažniji egzogeni proces na ogolinama je erozija izazvana površinskim tokom, tzv. Hortonovim tokom, koji nastaje kada intenzitet kiše prevlada infiltracijski kapacitet podloge (Horton, 1945). Hortonova teorija konstatira da površinski tok postaje sve dublji s povećanjem udaljenosti od razvodnice sliva. Taj tok u početku, a ovisno o hrapavosti površine, ima laminaran karakter koji u pravilu ne izaziva eroziju. S povećanjem dubine laminaran tok prelazi u turbulentan plošni tok koji uzrokuje eroziju kada njegovo posmično naprezanje kojim djeluje na podlogu prevlada posmičnu čvrstoću podloge. Tako nastala erozija može biti plošna (*eng. sheet erosion*) ili linijska (brazdasta; *eng. rill erosion*). Nizvodnije, površinski tok (i plošni i linearni) dobiva još veću energiju koju troši na produbljivanje brazdi sve do točke na slivu u kojoj plošni i linearni tok prelaze u kanalski tok (*eng. channel flow*), a plošna i brazdasta erozija prelaze u jaružastu eroziju. Ta točka je definirana minimalnom drenažnom površinom (Schumm, 1956) za promatrane uvjete na određenom slivu (litologija, vegetacija, upravljanje zemljištem i sl.). Važno je istaći uvjete potrebne za nastanak Hortonovog toka, a to su:

- Intenzivna kišna oluja;
- Oskudna vegetacija;
- Niski kapacitet infiltracije;
- Visoka erodibilnost materijala na kojem se tok odvija;
- Relativno strme padine.

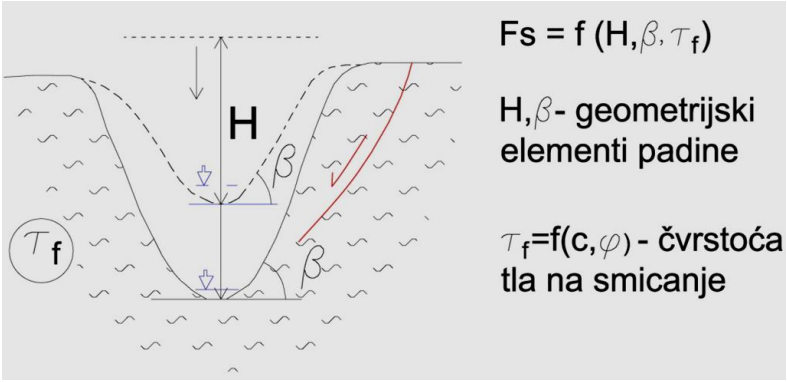
Iz definicija prikazanih u uvodnom dijelu poglavlja 3.1 može se uočiti da ogoline kao krajobrazna pojava zadovoljavaju upravo sve navedene pretpostavke za nastanak Hortonovog površinskog toka.

U gore prikazanom razmatranju navedena su dva vrlo važna reljefna oblika na ogolinama, a to su **brazde** (*eng. rill*) i **jaruge** (*eng. gally*). **Brazde** predstavljaju promjenjive linijske tokove vode (Schumm, 1956, Schumm i Lusby, 1963, Howard i Kerby, 1983), najčešće nagiba istog ili približnog nagibu padine na kojoj se nalaze, dimenzija od nekoliko milimetara – mikrobrazde (Favis-Mortlock, 1998) do nekoliko desetaka centimetara dubine i širine (veličine toliko male da ih se može prijeći terenskim vozilom (Wells, 2006)). Na poljoprivrednom zemljištu brazde se vrlo često zatrpavaju, tj. uklanjaju oranjem pa se na taj

način obuzdava djelovanje koncentriranog toka u njima, dok na prirodnim padinama njihovo postojanje i pravilu nije ugroženo što vremenom u ekstremnim slučajevima može dovest do stvaranja ogolina (Favis-Mortlock, 2006).

Jaruge su veći linijski oblici koncentriranog površinskog toka, krivudavog tlocrta, strmih bokova, u koje je čovjeku teško ući i izići (Favis-Mortlock, 2006). Njihova dužina može biti od desetak do nekoliko stotina metara, a dubina i širina od jednog do nekoliko desetaka metara. Jaruge predstavljaju permanentne linijske površinske tokove nagiba dna u pravilu manjeg od nagiba okolnih padina. Jaružanje slično kao i brazdanje može biti inicijalni mehanizam nastanka ogolina, no isto tako može biti izvor velike količine nanosa (Kirkby i Bull, 2000; Nogueras i dr., 2000). Poesen (2003) ističe da erozija izazvana jaružanjem može doprinositi između 10 i 94 % od ukupne erozije na nekom slivu pa iako se ovdje ne misli na ogoljeli teren, podatak je iznesen kako bi se percipirao utjecaj jaružanja na reljefne sustave.

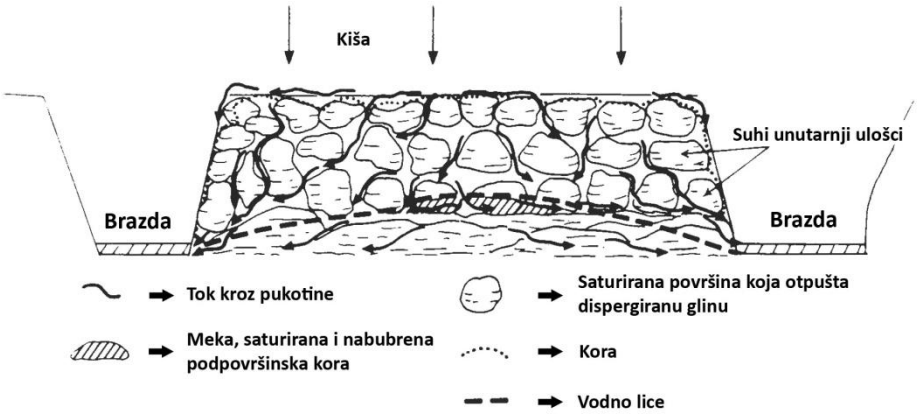
Može se dakle rezimirati da su navedena dva oblika linijskog površinskog toka zanimljiva u razmatranjima erozije jer se u njima odvija koncentrirani tok koji u pravilu ima veću erozivnost od plošnog toka pa samim time producira više erozionog nanosa po jediničnoj površini. To je jako izraženo kod ogolina gdje evolucija reljefa slijedi evoluciju površinske mreže tokova (Howard, 1994). Važnost linijskih tokova i oblika također se očituje u njihovom poticanju drugih egzogenih procesa kao što su na primjer pokreti masa (Slika 16), no o tome je više napisano u poglavlju 2.3.2.



Slika 16 - Mehanizam vertikalnog produbljivanja jaruga

Osim erozije izazvane površinskim tokom na mnogim ogolinama intenzivno djeluje i proces fizičkog trošenja uzrokovan opetovanim vlaženjem i sušenjem materijala te rastom ledenih kristala (2.2). Navedeni procesi mogu uzrokovati povećanje infiltracijskog kapaciteta materijala ili pak mogu uzrokovati razmuljivanje materijala (*eng. slaking*).

Povećanjem infiltracijskog kapaciteta smanjuje se mogućnost za nastanak Hortonovog površinskog toka, čime se opet smanjuje mogućnost nastanka plošne erozije. Naime, voda koja je infiltrirana kroz pukotine nastale navedenim procesima fizičkog trošenja lateralno puni brazde te na taj način pospješuje eroziju u brazdama – linijsku eroziju (Slika 17).



Slika 17 – Punjenje brazdi vodom kroz pukotine nastale fizičkim trošenjem (Imeson i Verstraren, 1988)

Razmuljivanje materijala koji gradi ogoline (glinoviti lapori i šejlovi, gline, siltit i sl.) može uzrokovati pokrete masa manjih i većih dimenzija (Benito i dr., 1993).

Promatrajući veću površinu terena proces trošenja vrlo često tvori trokut međuovisnih procesa: **trošenje-pokreti masa-erozija**. Ovaj trokut je vrlo čest na dijelovima ogolina strmijeg nagiba u podnožju kojih se nalazi povremeni vodotok visoke energije u obliku jaruge. Jedan od mogućih slučajeva navedenog trokuta prikazuje i slika (Slika 10, str. 28).

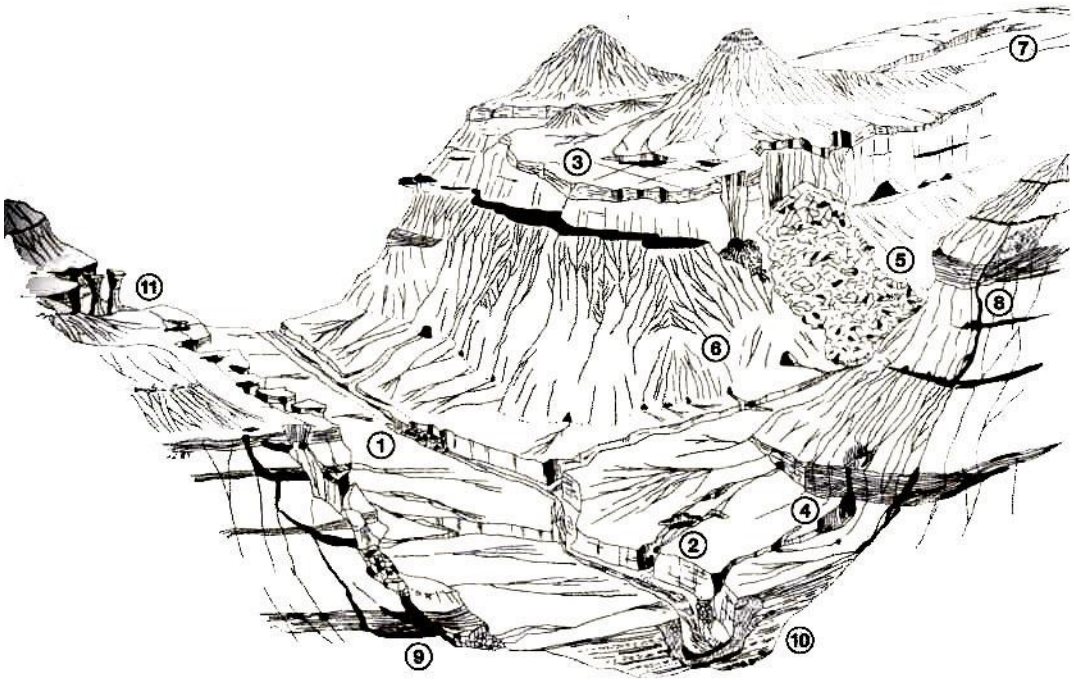
Jedan od važnijih procesa na nekim svjetskim ogolinama je svakako cijevasto ispiranje (*eng. piping*) (Gilman i Newson, 1980; Jones, 1981; Drew, 1982; Slaymaker, 1982; Harvey, 1982; Anderson i Burt; 1982; Jones, 1982). Iako na ogolinama središnje Istre ovaj proces nije zamijećen, u nastavku je ukratko opisan upravo zbog njegove česte pojavnosti na drugim sličnim lokalitetima.

Prirodne cijevi su linearne podzemne praznine formirane tečenjem vode kroz tlo i nekonsolidirane taložine, a mogu biti od nekoliko milimetara do nekoliko metara u promjeru (Jones, 2004). U literaturi se čak može naići na **pseudokrš** kao naziv za gore opisanu pojavu (Halliday, 2007).

Postoje dva tipa podpovršinske erozije kojom nastaje proces cijevastog ispiranja (Bryan i Jones, 1997). Prvi se događa kada voda koja se procjeđuje kroz porozni medij (tlo ili slabu stijenu) producira vlačnu silu dovoljno veliku da pokrene čestice na izlazu iz podzemlja (hidraulički slom tla). Teorijske postavke za nastanak prvog slučaja dali su Terzaghi i Peck (1966). Drugi slučaj se odnosi na proširenje već postojećih podzemnih šupljina kao što su na primjer životinjske jazbine, kanali uz korijenje, pukotine nastale desikacijom ili rasterećenjem i sl. Iako se ovaj proces može činiti beznačajnim u smislu produkcije nanosa, rad Zhu i dr. (2002), u kojem su istraživali proces cijevastog ispiranja u lesu, dokazuje upravo suprotno. Naime oni su tijekom istraživanja naišli na široke raspone koncentracije suspendiranog nanosa u podzemnom (cjevastom) toku, s maksimumom od 893.2 g/L.

Procesi na ogolinama međusobno mogu biti povezani vremenski i prostorno. Vremenska komponenta povezanosti ovisi o iznosu (*eng. rate*) i frekvenciji pojavljivanja određenih procesa. Prostorno procese na ogolinama možemo podijeliti na padinske procese (trošenje, Hortonov površinski tok, pokrete masa, cjevasto ispiranje) te na procese erozionih baza ili dolinske procese. Ovdje treba naglasiti da su padinski i dolinski procesi vrlo često međusobno povezani (Harvey, 2002), i to na već spomenuti način gdje erozija na padinama nagomilava materijal u podnožju istih, a povremeni intenzivni bujični tokovi u dolinama odnose taj materijal. Na taj način dolinski tokovi podržavaju nastavak padinskih procesa (Harvey, 1992).

Iz svega navedenog se može zaključiti da je na ogolinama moguće naići na gotovo sve egzogene procese navedene u poglavlju 2.1 odnosno sve one skicirane na slici (Slika 1, str. 5). Kako su ogoline u znanstvenoj zajednici (posebno u geomorfologiji) proučavane kao zasebne reljefne jedinice tako je vrlo često, u preglednim radovima, moguć nailazak na skice reljefnih jedinica i procesa slične onoj prikazanoj na slici (Slika 18) koja ujedno može predstavljati rezime pojava i procesa na ogolinama. Brojevima na slici (Slika 18) su označena mjesta na ogolinama koja karakteriziraju određeni skup procesa i pojava.



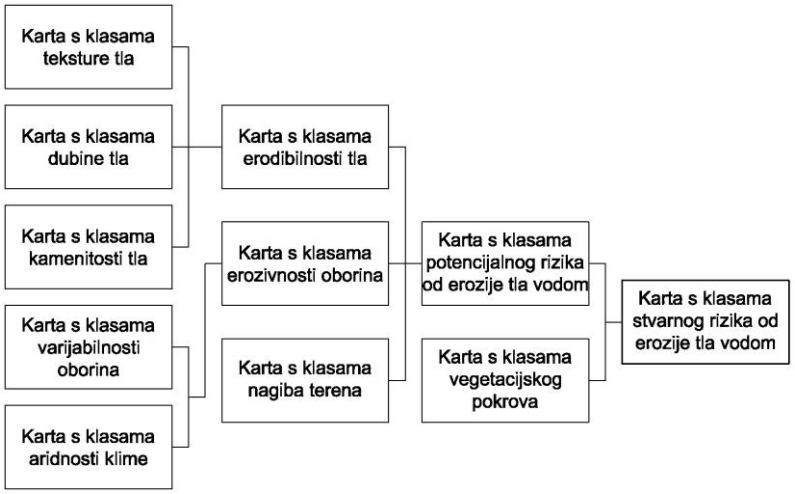
1) Odroni u bokovima jaruga nastalih u aluvijalnom nanosu širokih dolina višeg reda;
2) Propadanje inicirano cjevastim ispiranjem pri čemu nastaju diskontinuirane jaruge;
3) Dreniranje površinskog toka u jezerca i površinske otvore cijevi izazvane diskontinuitetima osnovnog strukturnog sklopa;
4) Jaruge kao pritoke erozionoj bazi prihranjivane konvergentnim tokom iz brazdi;
5) Proces stvaranja cijevi većih dimenzija i to posredstvom lateralnog površinskog toka koje uzrokuje kolaps padine, tj. veće pokrete masa;
6) Pripovršinske mikrocijevi koje uzrokuju saćastu eroziju površine padine i to posredstvom kolapsa brazdi;
7) Bokovi jaruga nižeg reda;
8) Rani stadij nastajanja mezocijevi;
9) Zrela mezocijev kao inicijator sljedećih procesa i oblika: a) padinski kolaps, b) nastajanje velikih jaruga, c) formiranje pritoka erozionoj bazi;
10) Sedimenti višestruko pretaloženi procesom pokreta masa u dolini erozione baze;
11) Erozijski stupovi (eng. hoodoos) nastali raščlanjivanjem rezistentne krovine.

Slika 18 – Konceptualni prikaz reljefa na ogolinama s karakterističnim pojavama i procesima (Campbell, 1997)

3.2 PREGLED ISTRAŽIVANJA EROZIJE U HRVATSKOJ

Iako erozija kao prirodno i antropogeno izazvani egzogeni proces na području teritorija Republike Hrvatske mjestimice predstavlja veliki problem, može se reći da je do nedavno u pogledu znanstvenih istraživanja bila potpuno zapostavljena (Husnjak, 2000). Svakako da je od 1911. godine kada Šandor prvi iznosi općenite podatke i ukazuje na eolsku eroziju tla u Podravini, bilo radova koji su se bavili erozijom i to uglavnom tla, no većina tih radova su uglavnom opisnog karaktera.

Jedan od značajnijih radova koji obrađuje problem erozije na cijelom teritoriju Republike Hrvatske je onaj proizašao iz istraživačko-znanstvenog projekta "Izrada karti s potencijalnim i stvarnim rizikom od erozije tla vodom Republike Hrvatske u mjerilu 1:300 000" (Bogunović i dr., 2000). Grupa autora u radu iznosi rezultate prve faze istraživanja koji su vezani uz erodibilnost tla (u pedološkom smislu). U sklopu te prve faze izrađivane su tematske karte (Slika 19) preklapanjem kojih je dobivena karta erodibilnosti tla. Na taj način je utvrđena dominantna zastupljenost klase koja predstavlja osrednje erodibilna tla, a koja zauzima 72,5% površine. Nadalje klasa s visoko erodibilnim tlima zauzima 17,5%, dok klasa s nisko erodibilnim tlima zauzima svega 10,4% ukupne površine Republike Hrvatske. U okviru navedenog projekta karte su izrađivane prema metodi CORINE koja predstavlja kvalitativnu kartografsku metodu za procjenu rizika od erozije.



Slika 19 – Shema preklapanja tematskih karata (Bogunović, 2000)

3.2.1 Pregled istraživanja erozije na području Istre

3.2.1.1 Pokusno polje Abrami

Prva ozbiljnija stacionarna istraživanja kreću pedesetih godina prošlog stoljeća i to na inicijativu i uz financijsku podršku UN-FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) organizacije. Cilj tih istraživanja je bilo testiranje tadašnjih suvremenih metoda zaštite brdskih zemljišta od erozije, odnosno stjecanja potrebnih iskustava o primjenjivosti tih metoda na istarskom flišu (Rula, 1977). Od niza razmatranih lokacija za provedbu istraživanja odabrana je lokacija Abrami nedaleko grada Buzeta koja se nalazi u slivu bujičnog toka Bračane koji predstavlja desnu pritoku rijeke Mirne. Istraživanja su provođena u fazama

pa je tako u razdoblju od 1957. do 1963. godine (prva faza istraživanja) obavljena priprema 6 pokusnih parcela u smislu zaštite od erozije pri čemu su se koristile različite tehnike zaštite (Tabela 2). Druga je faza istraživanja u razdoblju od 1963. do 1969. godine uključivala vizualno praćenje efekta svake pojedine vrste izvedenih protuerozijskih mjera. Godine 1969. organizirana su istraživanja kvantitativnih pokazatelja intenziteta erozije, što predstavlja treću fazu istraživanja, i to metodom prikupljanja površinske vode zajedno s nanosom. Ukupna količina površinskog toka s ograđenih parcela prikupljala se u velike spremnike poznatog volumena i to za svaki kišni događaj posebno. Nakon što se nanos u spremnicima istaložio višak bistre vode se odstranio, a kruti ostatak se dalje u laboratoriju filtrirao i sušio. Vaganjem se dobila ukupna suha masa nanosa nastalog iz jednog kišnog događaja.

Tabela 2 - Prikaz srednje količine spiranja tla i koeficijenta otjecanja u periodu 1971-1977. Godine (Petraš i dr., 2008)

Erozijske parcele	Stanje biljnog pokrivača i uređenosti zemljišta prilikom osnivanja parcele	Srednja količina spiranja 1971-1977.	Srednji koeficijent otjecanja 1971-1977.
1	Otkrivena flišna podloga na strmoj padini	5380 $m^3/km^2/god$	(nema podataka u dokumentaciji)
2	Golo degradirano zemljište	590 $m^3/km^2/god$	0,221
3	Prirodna rijetka šuma s travom	0.62 $m^3/km^2/god$	0,033
4	Pošumljavanje na gradone s podsijavanjem brnistre	0.62 $m^3/km^2/god$	0,025
5	Zastarčena degradirana rijetka šuma	160 $m^3/km^2/god$	0,170
6	Pošumljavanje borovina na gradone	1.4 $m^3/km^2/god$	0,025

Najveću produkciju nanosa imala je parcela 1 koja je predstavljala otkrivenu flišnu podlogu (ogolinu) koja je, kako je već spomenuto, vrlo česta morfološka pojava na području središnje Istre (Slika 20).

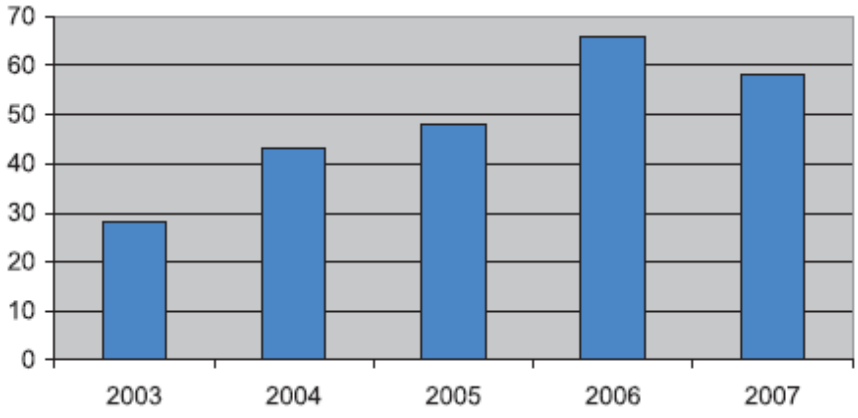
Slika 20 - Istraživačka parcela 1 (Petraš i dr., 2008)

Građevinski fakultet iz Zagreba i Hrvatske vode 2000. godine obnavljaju i pokreću novu seriju istraživanja, a Petraš i dr. 2008. godine objavljuju rad u kojem uz rezultate starih istraživanja daju i one dobivene u razdoblju od 2003. do 2007. godine. Također daju analizu dobivenih rezultata te uspoređuju vrijednosti dobivenih iznosa produkcije nanosa s iznosima dobivenim iz različitih prognostičkih jednadžbi (Rusle 1, Rusle 2, Gavrilovićeva metoda).

U tu svrhu obnavljaju zapuštenu opremu na polju te primjenjujući iste istraživačke metode kao i istraživači u 70-im godinama prošlog stoljeća prate intenzitet erozije na 5 starih i jednoj novouspostavljenoj parceli (Slika 21). Također nastavljaju pratiti eroziju i na parceli broj 1, no to praćenje se provodi fotogrametrijskim metodama. Razlog tome je, kao što se vidi i na slici (Slika 20), toliko intenzivna erozija da su limene ograde parcele mjestimice i 10-ak cm iznad podloge što je obnovu te parcele učinilo gotovo nemogućom, a nastavak mjerenja istom istraživačkom metodom besmislenim.

Slika 21 - Pokusne parcele na polju Abrami (Petraš i dr., 2008)

Na slici (Slika 22) je prikazana količina produkcije nanosa u $m^3/km^2/god$ i to na parceli 2 za razdoblje od 2003. do 2007. godine. Ono što se može zamijetiti je veliki pad produkcije nanosa u odnosu na rezultate prikazane u tablici (Tabela 2). Produkcija nanosa je pala za približno 12 puta što se pripisuje prirodnom razvoju vegetacije na toj parceli od početka 70-tih godina prošlog stojeća kada je parcela bila potpuno ogoljena pa do razdoblja novog mjerenja kada je ta parcela pokrivena osrednje razvijenom vegetacijom. Petraš i dr. nadalje zaključuju da je na svim pokusnim parcelama došlo do pada produkcije nanosa što se u pravilu pripisuje razvoju niske i visoke vegetacije. Na žalost rezultate fotogrametrijskih mjerenja s parcele 1 (ogolina) autori u radu ne prikazuju.



Slika 22 - Prikaz erozijske produkcije u $m^3/km^2/god$ na parceli br.2 za razdoblje 2003-2007. g. (za iskazivanje produkcije u $m^3/km^2/god$ usvojena je zapreminska masa nanosa $\rho z=1,2\ t/m^3$) (Petraš i dr., 2008)

Pernar i dr. 2010. godine objavljuju rad koji predstavlja logičan nastavak istraživanja na polju Abrami jer se u njemu istražuju utjecaji bioloških i tehničkih mjera zaštite tla na svojstva tla i na brzinu njegove regeneracije. Uz polje Abrami istraživanja su provođena na

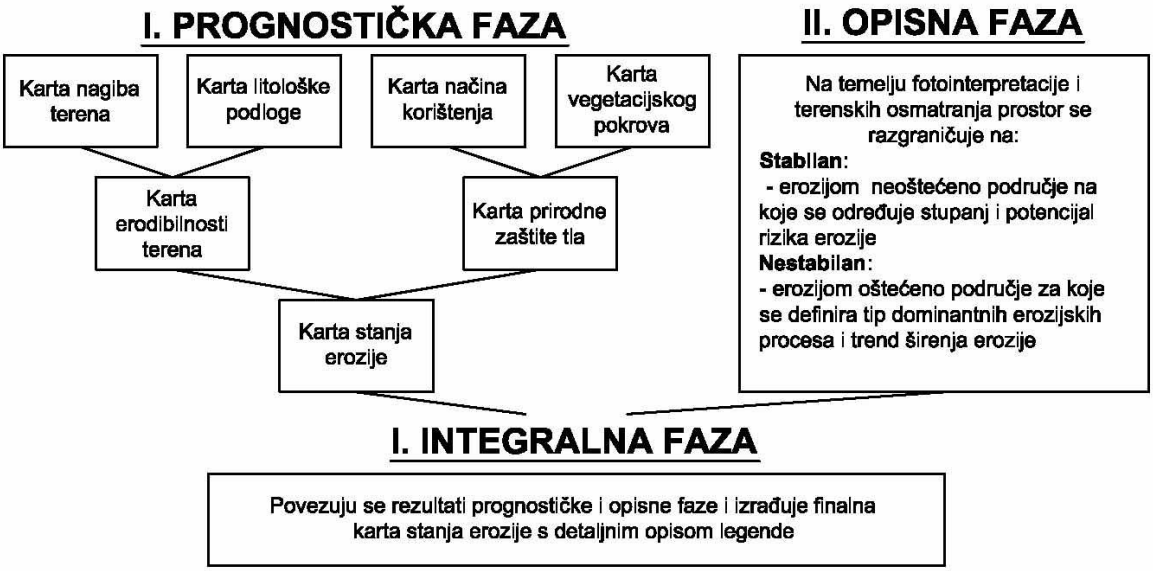
području naselja Grimalda. Zaključke temelje na granulometrijskim i kemijskim istraživanjima, te na istraživanjima poroznosti, relativnog vodnog i zračnog kapaciteta i vodopropusnosti. Autori u radu apostrofiraju značaj tehničkih mjera kao ključnog čimbenika u smanjenju produkcije erozijskog nanosa. Nadalje ukazuju da na strmim padinama na kojima se ne provode mjere sanacije postoji spora vegetacijska progresija što pak uvjetuje sporu regeneraciju tla. Na blažim padinama humizacija i regeneracija tla kao posljedice mjera sanacije uzrokuju povećanje zaliha šumske prostirke, povećanja sadržaja humusa u tlu te povećanje vodopropusnosti što se povoljno odražava na smanjenje produkcije erozijskog nanosa.

3.2.1.2 Istraživanje erozije na području središnje Istre (Siva Istra)

Općenito se može primijetiti da su istraživanja vezana uz eroziju u području središnje Istre intenzivirana od 2000. godine kada se publicira nekoliko vrlo zanimljivih radova. Radovi su uglavnom vezani za akumulaciju Botonega koja je izgrađena 1987. godine, a čija je prvotna namjena bila obrana od poplava i navodnjavanje poljoprivrednih parcela u dolini rijeke Mirne s volumenom od približno 13,2 × 106 m^3 (Holjević, 2002). Naglim razvojem turizma na području cijele Istre kao i prve veće nestašice pitke vode tijekom turističke sezone sredinom osamdesetih godina prošlog stoljeća dovele su do promjene projekta akumulacije Botonega. Novoizrađena planska dokumentacija iz domene vodoopskrbe rezultirala je zaključkom o nedostatku približno 2000 l/s vode za piće (Holjević, 2002). Kako su postojeći izvori pitke vode uglavnom već bili kaptirani i uključeni u vodoopskrbni sustav, donesena je odluka da se preradi prvobitni projekt akumulacije koji će predvidjeti korištenje vode iz akumulacije uz navedene svrhe i za vodoopskrbu. Konačni volumen akumulacije iznosio je 19,7 × 106 m^3 (Holjević, 2002). Kako se akumulacija nalazi na vrlo erodibilnom flišnom kompleksu naslaga logičan je porast zanimanja stručnjaka i znanstvenika koji se bave erozijom kao prirodnim fenomenom da se utvrdi potencijalni iznos nanosa koji prijeti zapunjavanju akumulacije.

Tako Husnjak 2001. godine objavljuje rad u kojemu obrađuje sliv rijeke Botonege za koji kaže da pripada najugroženijim područjima od erozije tla vodom na području Hrvatske. Cilj rada bio je izvršiti kartiranje stanja erozije i erozijskih procesa primjenom suvremene kartografske metode prilagođene mediteranskim područjima. Metode rada temeljile su se

na izradi tematskih karata (Slika 23) i njihovoj integraciji. Istraživanje je podijeljeno u više faza prikazanih na slici (Slika 23).



Slika 23 - Metodologija kartiranja oborinama prouzročene erozije u mediteranskom obalnom području (Husnjak, 2001)

Glavni zaključak proizašao iz gore navedene analize glasi da na istraživanom području (sliv akumulacije Botonege) svega 10,1 % površine sliva predstavlja stabilno dok čak 86,1 % površine nestabilno područje. Takav zaključak potvrđuje dotadašnje pretpostavke o vrlo intenzivnoj eroziji tla vodom na slivu rijeke Botonege što opet upućuje na hitnu potrebu poduzimanja mjera za zaštitu tog područja od daljnje degradacije.

U okviru znanstvenog projekta istraživanja erozije tla u slivu višenamjenske akumulacije Botonega Jurak i dr. (2002) su fotogrametrijskom metodom pratili iznos erozije na ogolini koja se nalazi u blizini mjesta Sv. Donat. U radu autori detaljno opisuju metodu fotogrametrijskog snimanja ogolina te naglašavaju da takvi morfološki fenomeni slični onom koji je bio predmet njihovog istraživanja predstavljaju žarišta ekscesivne erozije i idealnu podlogu za formiranje bujica. Također autori daju tabelarnu (Tabela 3) usporedbu rezultata dobivenih na parceli 1 pokusnog polja Abrami i rezultata dobivenih na ogolini Sv. Donat.

Tabela 3 - Usporedba rezultata mjerenja i praćenja ekscesivne erozije (Jurak i dr., 2002)

Lokacija	Metoda	Vremenska baza [god]	Erodirana količina [m^3]	Izložena površina [m^2]	Tlocrtna (reducirana) površina [m^2]	Prosječna godišnja produkcija nanosa [$m^3/km^2/god$]	
						Po izloženoj površini	Po tlocrtnoj površini
Abrami – erozijska parcela 1	Hvatanje erodirane mase	1970-1976 76 mjeseci 6.3	~1 024	~30	15.08	~2 690	5 380
Abrami – erozijska parcela 1	Terestrička fotogrametrija	1995-1997 30 mjeseci 2.5	0.445	8.9	3.70	20 000	48 108
Sv. Donat	Terestrička fotogrametrija	1995-1997 30 mjeseci 2.5	215	3.856	2.191	22 303	39 251
Sv. Donat	Terestrička fotogrametrija	1997-2001 38 mjeseci 3.2	361	4 239	2 292	26.89	49 733

Iz rezultata prikazanih u tablici (Tabela 3) vidljivo je da je na području ogoline Sv. Donat utvrđena još intenzivnija erozija od one utvrđene na području parcele 1 pokusnog polja Abrami. Također se uočava velika razlika u iznosu prosječne godišnje produkcije nanosa dobivenih različitim mjernim tehnikama u ovom slučaju hvatanjem nanosa i terestičkom fotogrametrijom. Autori tu razliku vežu uz proces trošenja koji se u gornjim, strmijim dijelovima ogoline događa kao posljedica termodinamičkih utjecaja (stalna promjena temperature), dok se u donjim položenijim dijelovima odvajanje događa posredstvom spiranja – kišna erozija.

Holjević 2002. godine u magistarskom radu na primjeru sliva akumulacije Botonega te retencijske pregrade Jukani i to primjenom GIS tehnologije te primjenom tradicionalne metode kartiranja procjenjuje intenzitet erozije, te produkciju i pronos nanosa. Kritički se osvrće na obje primijenjene metode te zaključuje da tradicionalni pristup proračuna za navedene parametre daje nepouzdanije rezultate. GIS tehnologiju u koju je inkorporirao Gavrilovićevu metodu procjene koeficijenta erozije Z, te proračun produkcije i pronosa nanosa ističe kao pouzdaniju metodu. Na kraju zaključuje da će GIS tehnologija doživjeti široku primjenu u vodnogospodarskoj praksi.

Prognozu produkcije nanosa na slivu planirane akumulacije Grobnik i to uz korištenje podataka s pokusnog polja Abrami daju Jurak i Fabić 2002. godine. U radu se naglašava da

produkcija nanosa na području koje pokrivaju flišne naslage predstavlja inženjerski problem i to zbog skraćivanja vijeka trajanja planirane akumulacije. Autori također tabelarno prikazuju pregled rezultata o produkciji nanosa na području središnje Istre dobivenih različitim metodama. U tabeli (Tabela 4) se uočava jako veliki rasap rezultata što autori objašnjavaju prekratkim vremenom motrenja koje nije dovoljno za osrednjavanje rezultata.

Tabela 4 - Usporedba produkcije nanosa (Jurak i Fabić, 2000)

Izvor	Lokacija, metoda, vrijeme		Specifična godišnja produkcija nanosa ($m^3/km^2/god$)	Napomena
A – mjerenja na licu mjesta				
dokum. 2, Rula & Stefanović (1977)	pokusna parcela 1 u Abramima	hvatanje nanosa 1971 - 1976	5 380	isključivo erozija kišom (pluvijalna)
Petraš et al. (1999)	pokusna parcela 1 u Abramima	terestrička fotogrametrija 1995 - 1997 (30 mjeseci)	20 000	izložena površina
			48 108	reducirana (tlocrtna) površina
Jurak et al. (1982)	Bila glavica (Trilj)	terestrička fotogrametrija 1971 - 1981	10 840	deficit mase s izložene ogoljele površine (za usporedbu)
B – parametarska metoda (kartiranje sliva po iskustvenim kategorijama razvijenosti erozijskih procesa)				
dokum. 1	sliv akumulacije "Grobnik"	metoda Gavrilovića (1972)	1 400	/
dokum. 3	sliv akumulacije "Grobnik"	po podacima iz dokum. 2	450	isključivo erozija kišom
Lazarević & Miličević (1983)	sliv akumulacije "Botonega"	metoda Gavrilovića (1972)	2 108	/
Barbalić et al. (1999)	sliv akumulacije "Botonega"	GIS - tehnologija	1 716	polazeći od karte erozije po metodi Gavrilovića (1972)
C – procjena iz taloga deponiranog u zaplavnom prostoru akumulacija (donos nanosa)				
Rubinić et al. (1999)	akumulacija "Boljunčica" ("Letaj")	1972 – ljeto 1993	20 500 m^3/god	prosječni donos nanosa
dokum. 4	akumulacija "Boljunčica" ("Letaj")	1972 - 1988	~930	gruba procjena donosa nanosa iz flišnog dijela sliva
dokum. 4	sliv Raše		520	/
dokum. 4	sliv Boljunčice		590	/

Najvažniji zaključak iz razmatranog rada glasi da je čak 90% površine sliva zahvaćeno erozijom dok tek 10% površine predstavlja prostore akumulacije/retencije i transporta nanosa. Također autori naglašavaju da erozija kišom i jaružanje s ogoljelih površina producira 80% nanosa spiranjem. Kako ogoline u slivu zauzimaju tek 6% površine logično je, prema mišljenju autora, mjere sanacije usmjeriti na njih.

3.2.1.3 Istraživanje erozije na području sjeverne Istre (jugozapadna Slovenija)

Područje jugozapadne Slovenije pripada istom flišnom sedimentacijskom bazenu kao i područje središnje Istre. Karakteriziraju ga flišne naslage sličnih litoloških značajki pa su stoga radovi vezani uz eroziju s tog područja vrlo zanimljivi.

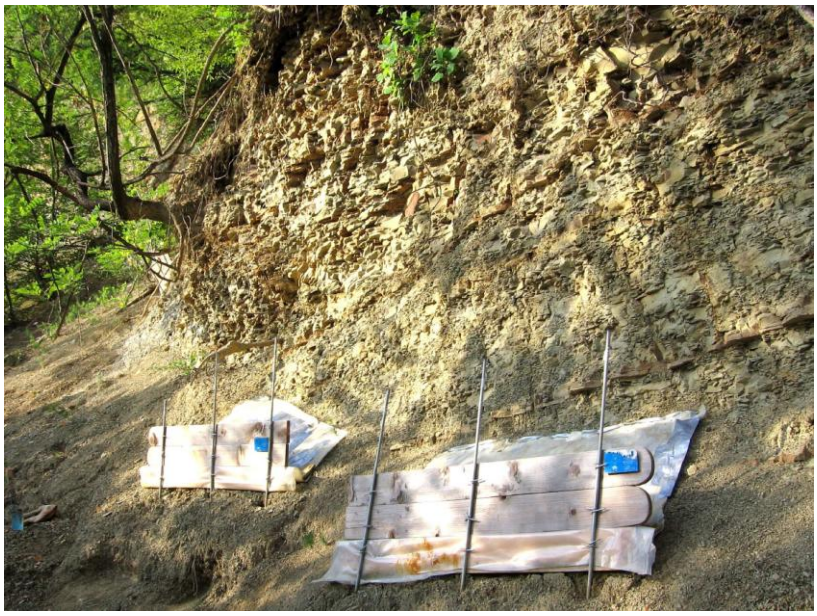
Tako Zorn (2009) objavljuje rad koji se bavi erozijskim procesima u priobalnim submediteranskim slivovima. U njemu autor opisuje istraživanja koja su provedena u razdoblju od veljače 2005. godine do svibnja 2006. godine i to u području sliva rijeke Dragonje. U radu se predstavljaju mjerenja erozije i procesi vezani uz:

1) područja između brazdi u zemljištima s različitim korištenjem (land use);
2) uzmicanje strmih ogoljelih flišnih padina;
3) transport odlomaka i kršja u području jaruga;
4) te kemijsku denudaciju na cijelom području sliva.

Za ovaj rad važni su rezultati dobiveni pod točkom 2 i 3 pa su oni u nastavku i detaljnije predstavljeni.

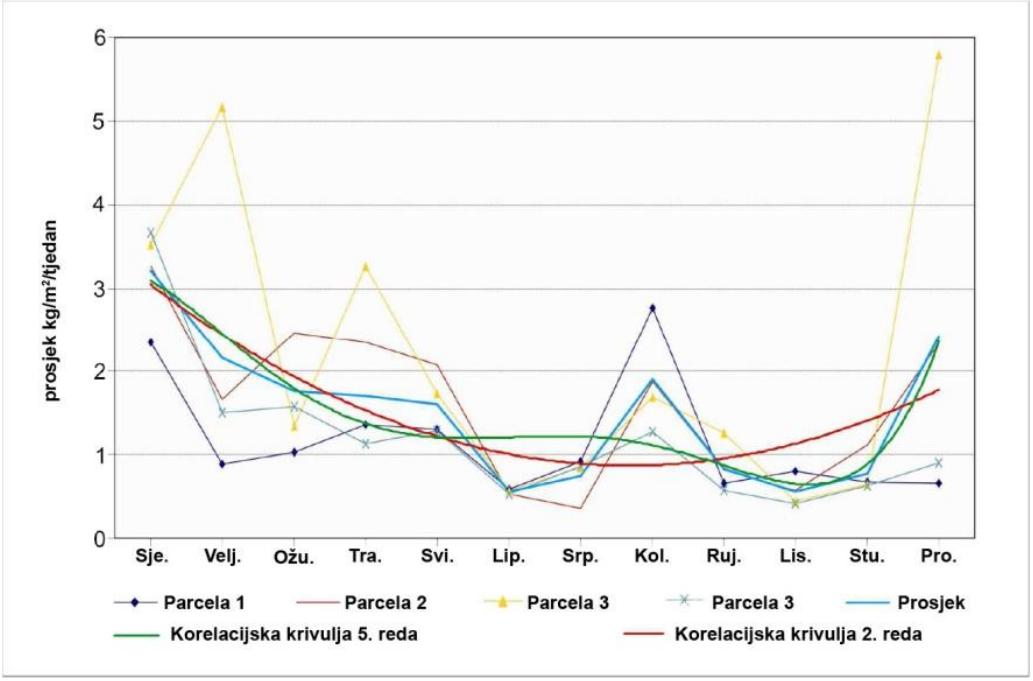
Uzmicanje strmih ogoljelih flišnih padina

Za određivanje iznosa uzmicanja ogolina autor koristi metodu hvatanja i vaganja produciranog nanosa pomoću pregrada prikazanih na slici (Slika 24). Uspostavljaju 4 takve pokusne parcele nagiba 70-90° koje su prihvaćale nanos s površine od 1,8 do 4,5 m^2, a mjerenja na njima su obavljana u periodu od 28.4.2005. do 26.4.2006. godine. Produkcija nanosa s takvih pokusnih parcela bila je približno 85 kg/m^2 godišnje. Uzimajući u obzir gustoću flišnih naslaga koja iznosi 2.300 t/m^3 (Miščević i dr. 2008) dobiva se iznos uzmicanja strmih ogoljelih flišnih padina od približno 35 mm na godinu.



Slika 24 - Hvatanje nanosa pomoću pregrada na strmim flišnim ogolinama jugozapadne Slovenije (Zorn, 2009)

U navedenom mjernom periodu uočena su tri maksimuma produkcije nanosa (Slika 25). Prvi, najizražajniji, maksimum se odnosi na zimski period, dok su druga dva vezana za proljetne i ljetne mjesece. S tim u vezi autor citira Regüés i dr. (2000) koji zaključuju da produkcija nanosa uzrokovana intenzivnim trošenjem u zimskom periodu može biti veća i do 2 puta od one uzrokovane kišom u proljetnom i ljetnom periodu.



Slika 25 - Produkcija nanosa na strmim flišnim ogolinama po mjesecima (Zorn, 2009)

Transport odlomaka i kršja u području jaruga

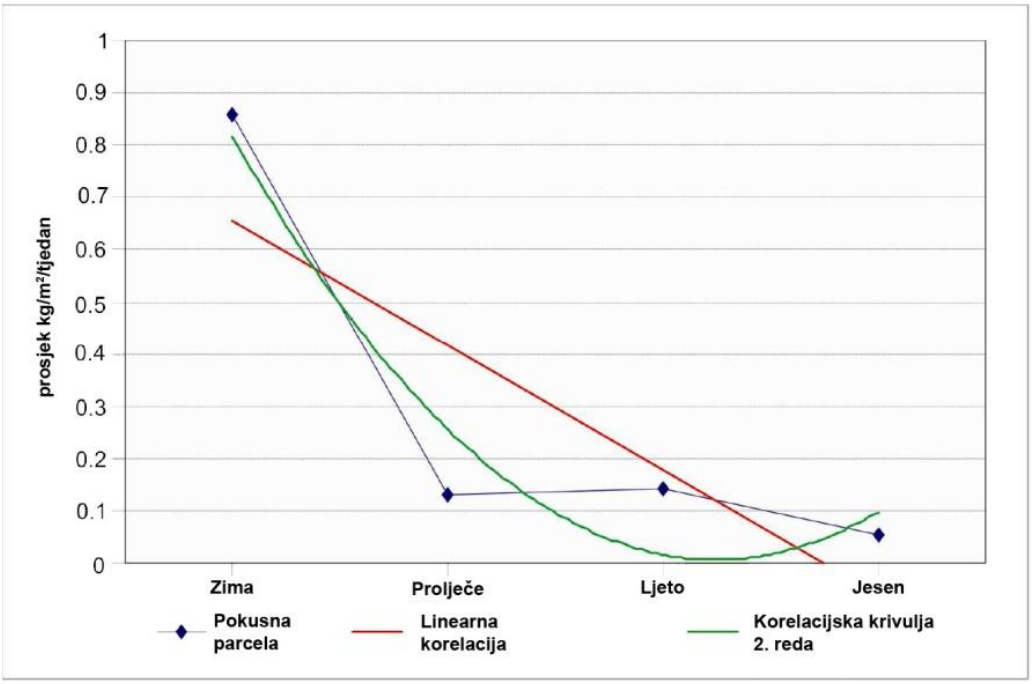
Metoda koja je poslužila za mjerenje transporta odlomaka i kršja u jarugama je vrlo slična onoj za mjerenje uzmicanja ogolina. Izgrađena je pregrada od drvenih dasaka (Slika 26) ispred koje se skupljao transportirani materijal i to u periodu od 28.4.2005. do 26.4.2006. godine. Slivna površina pregradnog mjesta iznosila je 0,1 ha, a u navedenom periodu izvagano je 19 t materijala što znači da uzmicanje jaruge godišnje iznosi između 6,3 i 8,5 mm.

Slika 26 - Pregradno mjesto u jarugi (Zorn, 2009)

I u ovom slučaju je uočeno da veći dio od ukupno transportiranog nanosa, čak 82%, otpada na zimske mjesece (Slika 27). Štoviše, 52% transportiranog nanosa uhvaćeno je u periodu od 19.1. do 26.1.2006. godine (7 dana). Autor ovako veliku razliku objašnjava činjenicom da na transport materijala unutar jaruga utječu dva faktora:

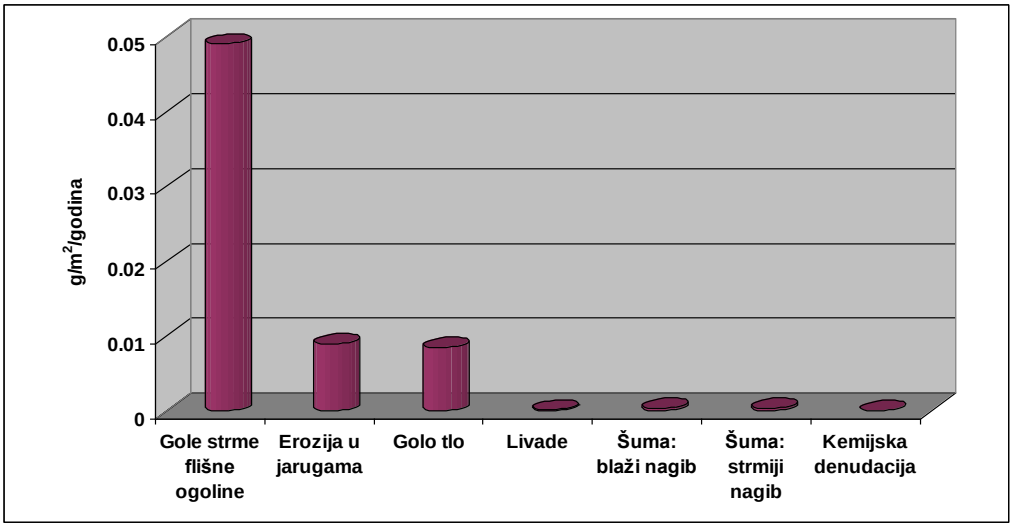
- Količina odlomljenog (rastresitog) materijala u jaruzi i
- Suhoća tog materijala uzrokovana jakim vjetrovima u tom dijelu godine.

Drugi faktor je objašnjen postojanjem veće količine glinovitog materijala u transportiranoj masi koji kada navlažen (zbog kohezije) teže biva pokrenut, tj. da bi se takav navlaženi materijal transportirao potrebne su značajnije oborine.



Slika 27 - Sezonski transport flišnog materijala u jarugama (Zorn, 2009)

Zaključno se u radu iznosi skupni dijagram (Slika 28) u kojem se uspoređuje erozija izražena u g/m^2 na godinu na različitim površinama istraživanog sliva. Iz njega se može izračunati da je erozija s ogolina približno 130 puta veća od one koja se događa na područjima pokrivenim šumskom vegetacijom. Taj podatak je puno niži od onog dobivenog na pokusnom poligonu Abrami na kojemu je uočena 8.000 puta veća razlika.



Slika 28 - Iznos erozije na različitim površinama u slivu rijeke Dragonje (prema Zornu, 2009)

Nadalje važno je primijetiti da i u ovom radu nije posebno istraživana razlika u produkciji nanosa s istraživačkih parcela koje karakterizira različiti udio laporovitih i

pješčenjačkih slojeva iako se na slici (Slika 25) vidi da u određenim intervalima postoji razlika u tjednoj produkciji nanosa s različitih parcela i to čak do približno 3 kg/m^2.

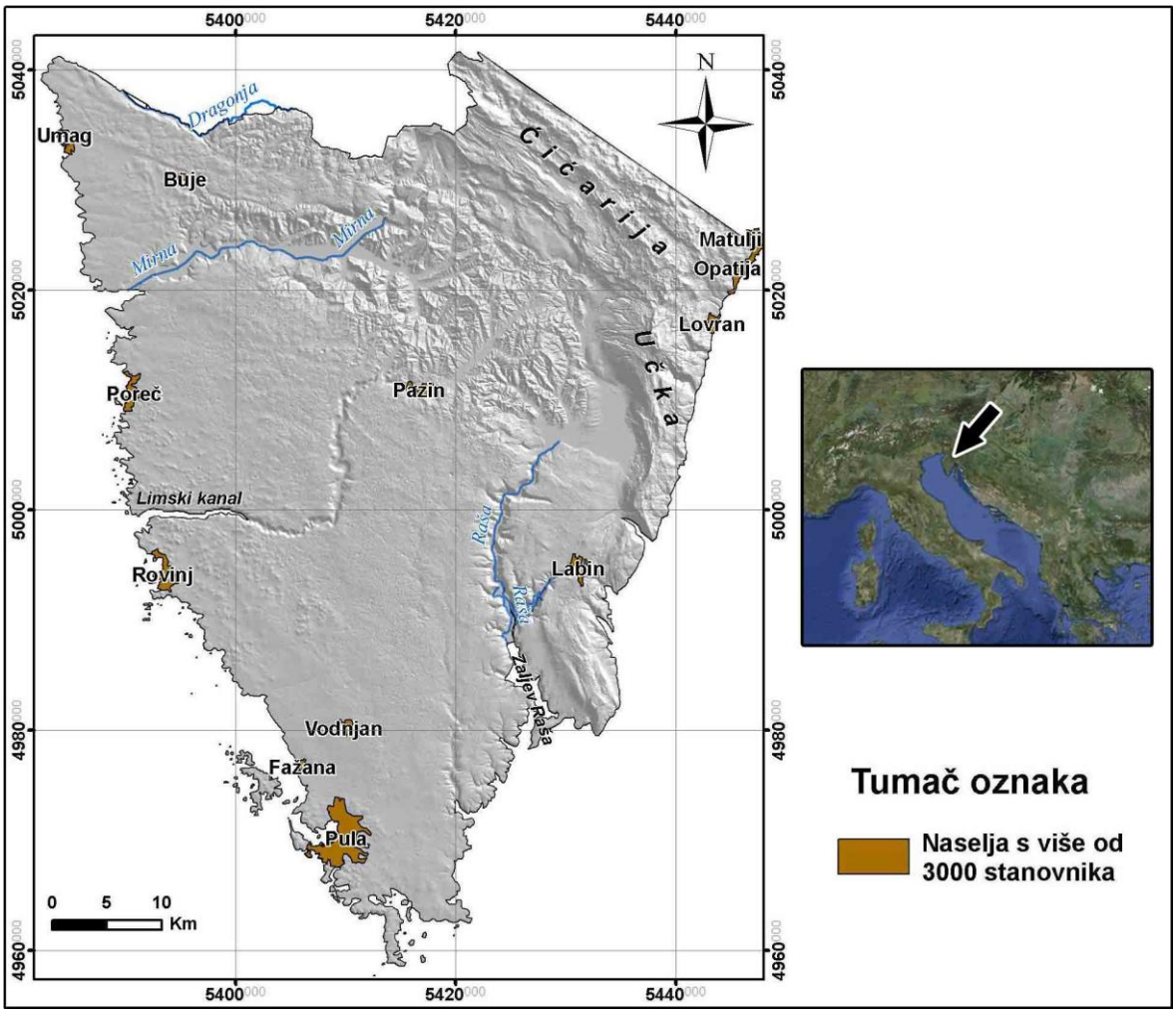
4 ZNAČAJKE ŠIREG ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Istra se po mnogim geološkim, geografskim i morfološkim značajkama razlikuje od ostatka Hrvatske te je upravo zato u brojnim znanstvenim istraživanjima izučavana kao zasebna cjelina. Kako genezu i oblik flišnog bazena na kojemu su se odvijala istraživanja nije moguće razjasniti bez kratkog pregleda geološke građe cijelokupnog Istarskog poluotoka u nastavku su ukratko prikazane njegove osnovne geografske, geomorfološke i geološke značajke.

4.1 GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTARSKOG POLUOTOKA

Istra se geografski prostire preko tri države, Hrvatske, Slovenije i Italije, od čega se najvećim dijelom površine, čak 89%, nalazi u Hrvatskoj. Površina Istre koja se nalazi u okviru Hrvatskog državnog teritorija zajedno s manjim otocima i hridima iznosi približno 2968 km^2. Geografska granica Istre ide linijom od uvale Milje (*tal. Muggia*) do uvale Preluka (tako da je npr. Opatija geografski dio Istre).

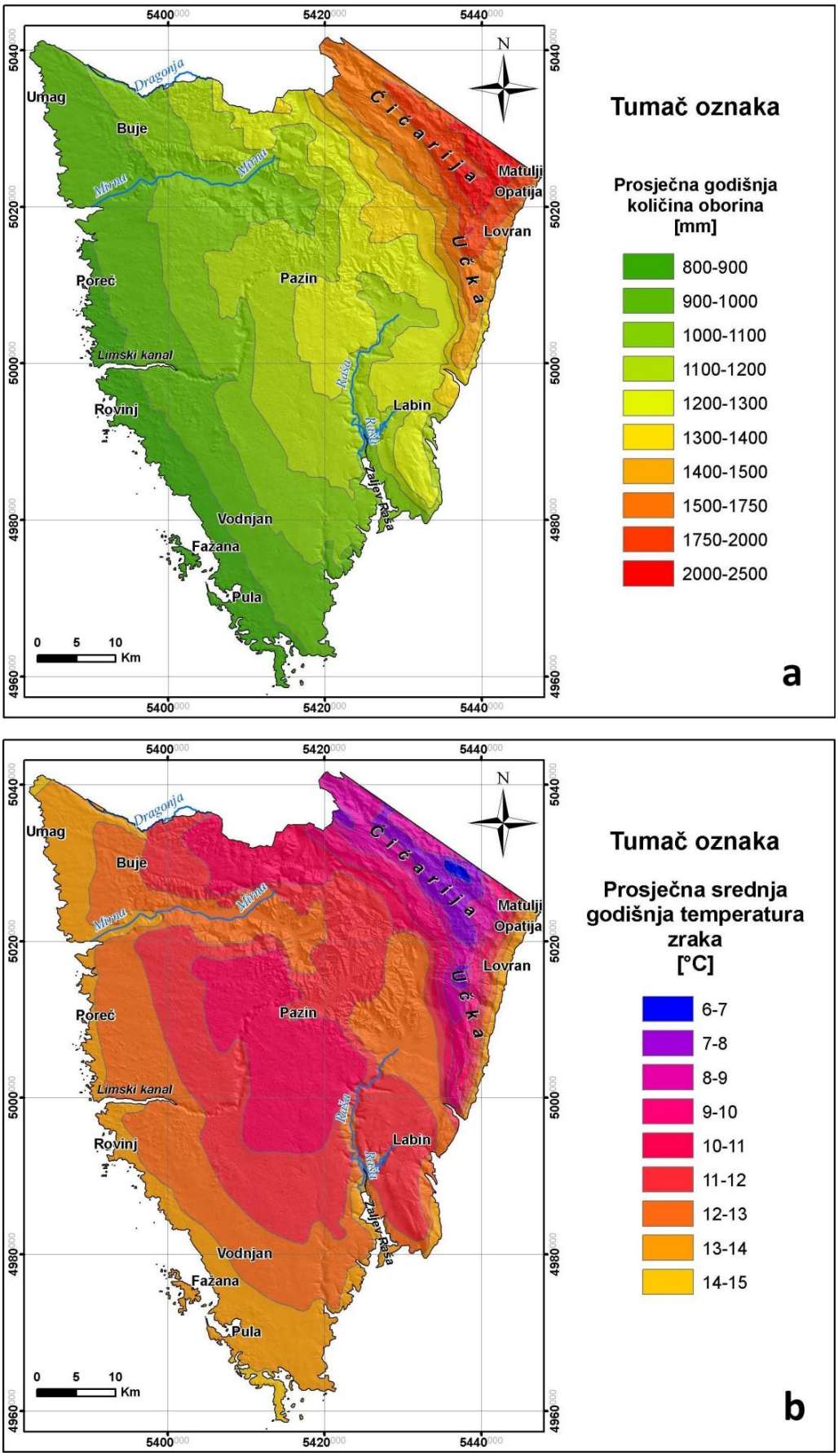
Od značajnijih toponima treba spomenuti planine Učku i Ćićariju koje predstavljaju prirodnu morfološku barijeru prema sjeveroistoku, te rijeke Mirnu, Dragonju i Rašu (Slika 29). Također Istarskim poluotokom dominiraju dva vrlo duboko usječena zaljeva, to su na zapadu Limski i na istoku zaljev Raša. Od većih gradova valja spomenuti Pulu (gospodarsko središte), Rovinj, Labin, Poreč i Pazin (administrativno središte).



Slika 29 - Pregledna karta Istarskog poluotoka

Klima

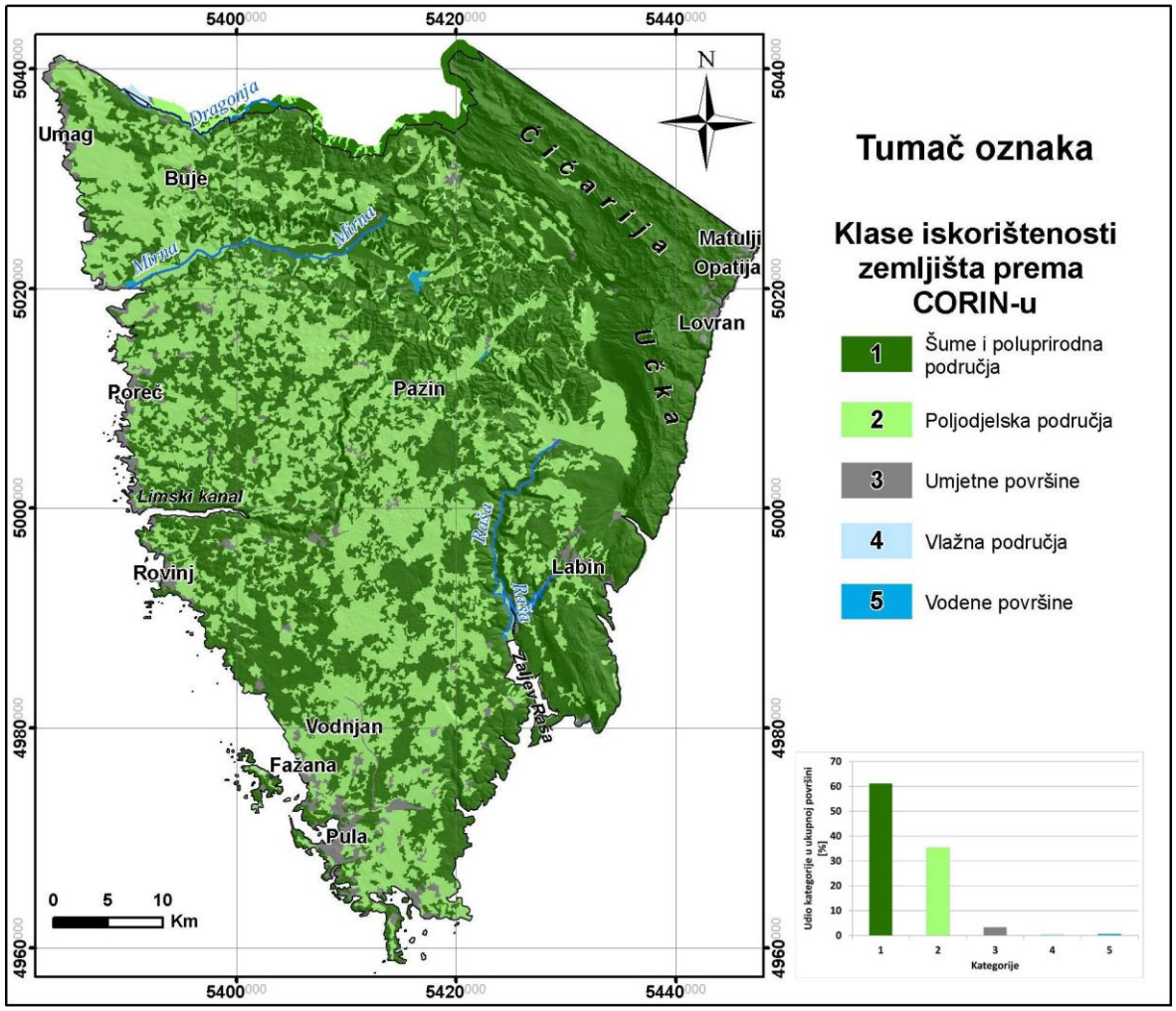
Klima Istarskog poluotoka je prilično raznolika što se očituje i u velikoj razlici srednjih godišnjih količina oborina između jugozapadnog, priobalnog područja te sjeveroistočnog, brdskog dijela Istre (Slika 30a). Slična velika razlika je primjetna i u srednjoj godišnjoj temperaturi (Slika 30b). Tako središnja Istra ima kontinentalnu, zapadni i južni priobalni dio mediteransku, a istočni priobalni dio submediteransku klimu.



Slika 30 - a) srednja godišnja količina oborina (Gajić-Čapka i dr. 2003); b) srednja godišnja temperatura zraka (Zaninović i dr. 2004)

Iskorištenost zemljišta prema CORIN-u

Istarski poluotok je uglavnom pokriven šumom i to 61.1 %, 35.4 % površine otpada na poljodjelske površine, dok umjetnih površina ima tek negdje oko 3.3 % (Slika 31). Vlažna područja i vodene površine zajedno imaju udio od 0.2 %.



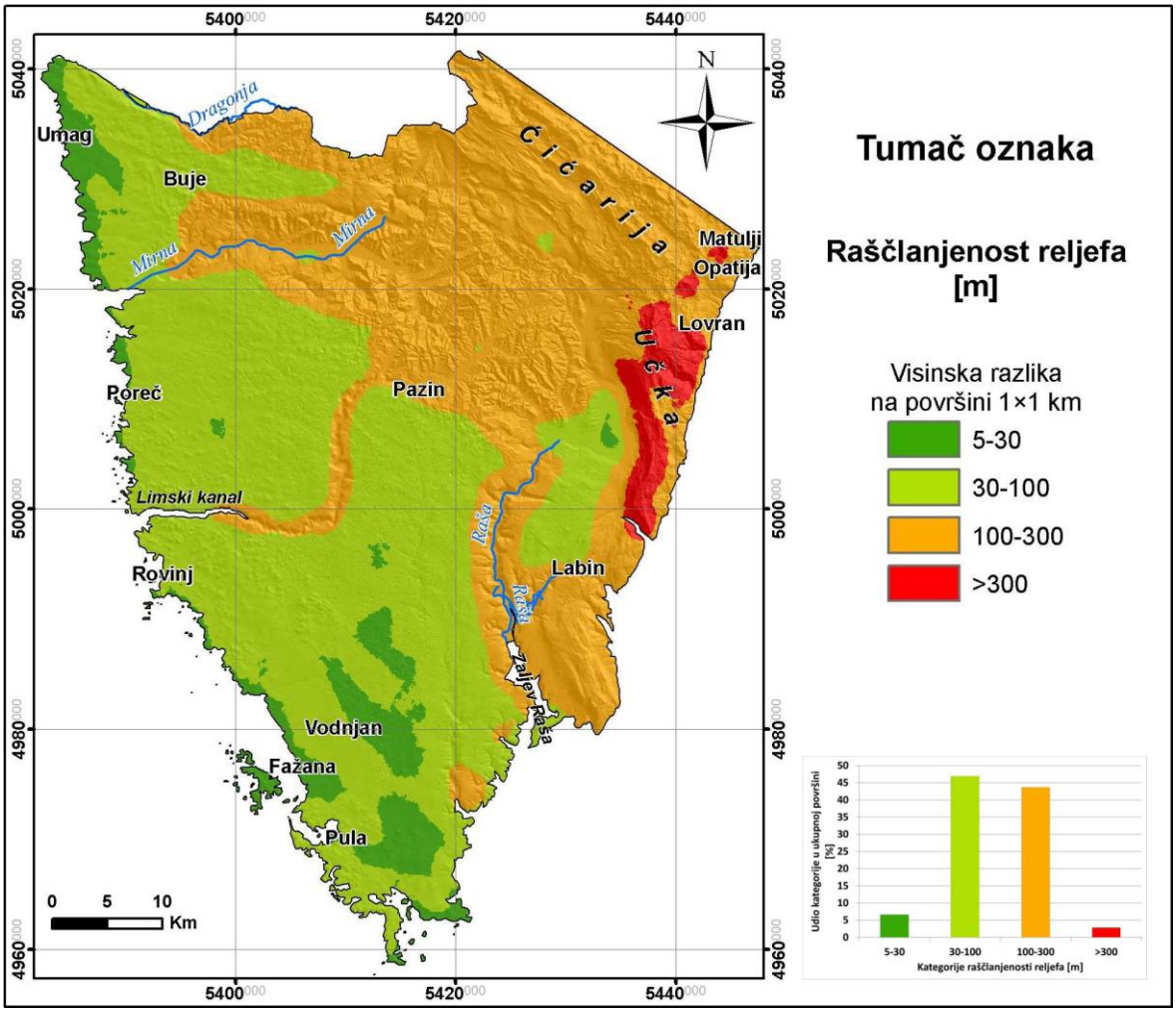
Slika 31 - Iskorištenost zemljišta istraživanog područja prema CORINE-u (2006)

Osnovne geomorfološke značajke

Od osnovnih geomorfoloških značajki ovdje je prikazana karta raščlanjenosti reljefa (Slika 32) koja predstavlja potencijalne zone intenziteta egzogenih procesa. Karta generalno upućuju na područja viših energija reljefa, odnosno područja potencijalno viših iznosa denudacije, te na područja nižih energija reljefa, odnosno potencijalno nižih iznosa denudacije (Marković, 1983).

Koja raščlanjenost reljefa će karakterizirati određeno područje ovisi o različitim faktorima, a ti faktori su vrsta stijena, vrsta i debljina pokrivača, tektonska aktivnost, te vrsta dominantnih egzogenih procesa. Za dobivanje karte raščlanjenosti reljefa korištena je topografska podloga u mjerilu 1:25000, dok je kategorizacija raščlanjenosti prikazana na karti (Slika 32) izvršena prema Gamsu i dr. (1985).

Jugozapadni dio istarskog poluotoka karakteriziraju uglavnom slabo raščlanjene ravnice (6.6 %) i slabo raščlanjen reljef (46.9 %). To uvjetuju slabo erodibilne karbonatne stijene jurske i kredne starosti, te vrlo slabo izražena tektonska aktivnost prostora.



Slika 32 – Karta raščlanjenosti reljefa Istre

Središnji dio Istre, izgrađen uglavnom od flišnog kompleksa naslaga, karakterizira umjereno reščlanjen reljef (100-300 m). Iako i na ovom području tektonika nije posebno izražena, umjerena raščlanjenost reljefa poljedica je visoke erodibilnosti i niske postojanosti navedenih naslaga, odnosno podložnost tih naslaga različitim egzogenim procesima. U ovoj

kategoriji se nalaze i svi kanjoni na Istarskom poluotoku (Mirna, Lim, Raša) te planinski masiv Ćićarije. Masiv Učke na krajnjem istočnom dijelu Istre izgrađeni uglavnom od karbonata kredne starosti ulazi u kategoriju izrazito raščlanjenog reljefa (2.8 %) što je posljedica tektonike.

4.2 OSNOVNE GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTARSKOG POLUOTOKA

Postsedimentacijska tercijarna tektonika je utjecala na vrlo kompleksni izgled strukture naslaga Jadranske karbonatne platforme. Međutim, Istra je jedna od očuvanijih "stratigrafskih oaza" Jadranske karbonatne platforme na kojoj je moguće proučavati sve važnije događaje iz njezine geološke prošlosti (Velić i dr., 2003).

Istarski poluotok je s geološkog stajališta moguće podijeliti na tri velike regije koje se podudaraju s povijesnim regijama utvrđenim od strane domicilnog stanovništva na:

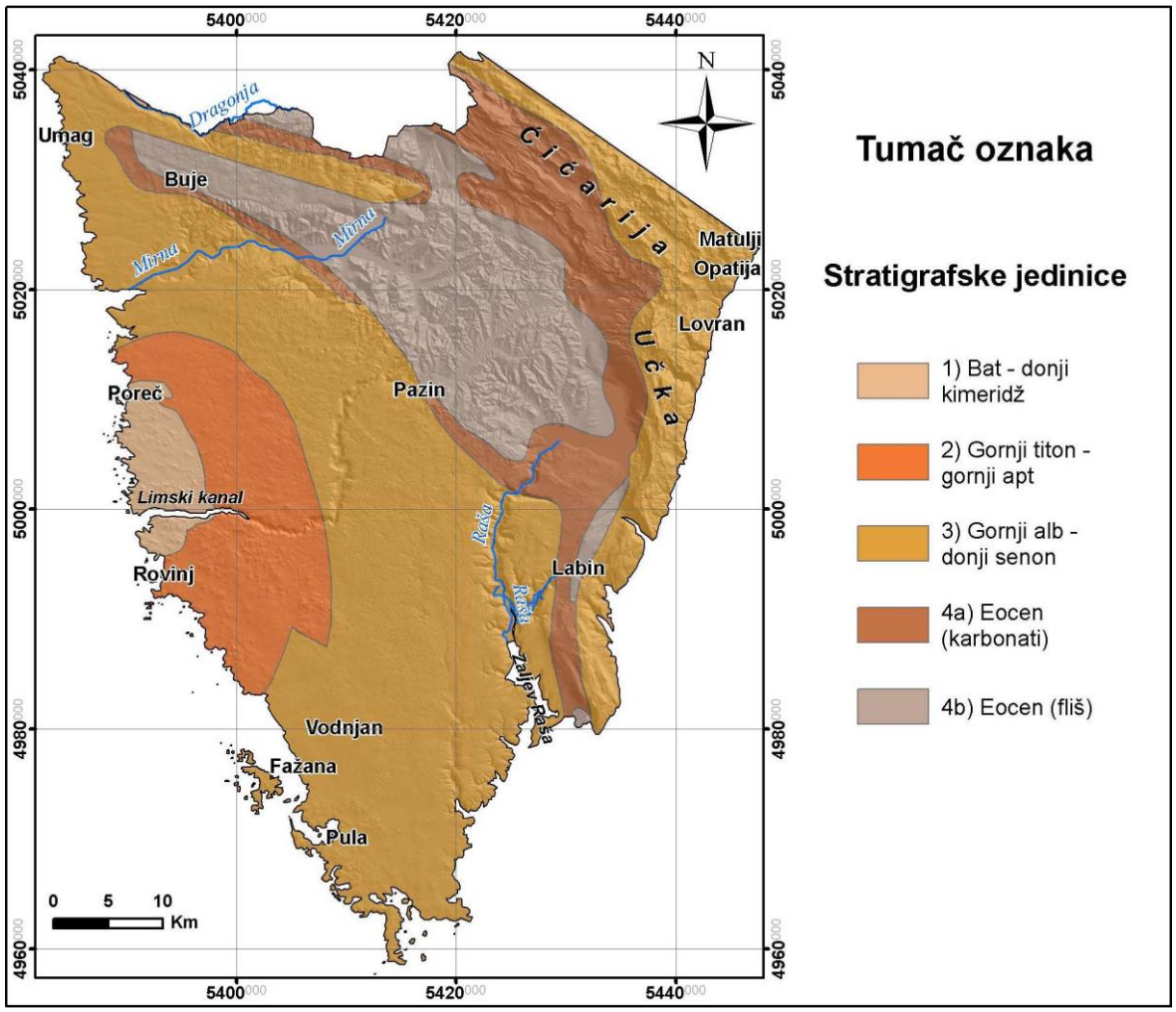
1) ***Crvenu Istru*** - jursko-kredno-eocensku ravnicu (južni i zapadni dio poluotoka) - naziv je dobila po debelim kvartarnim naslagama crvenice koje prekrivaju karbonatne stijene mezozoika i tercijara;
2) ***Bijelu Istru*** - kredno-eocensko karbonatna i klastična zona (uglavnom masivi Ćićarije i Učke) s karakterističnom ljuskavom strukturom - naziv je dobila po bijeloj boji krednih i eocenskih okršenih vapnenaca;
3) ***Sivu Istru*** - eocenski flišni bazen (središnja Istra) – naziv je dobila po sivoj boji lapora koji uz pješčenjake gradi flišni kompleks naslaga.

4.2.1 Stratigrafske jedinice Istarskog poluotoka

Stratigrafski se Istra dijeli na 5 sekvencija granice kojih definiraju emerzije različitog vremena trajanja od kojih su prve 4 prikazane na karti (Slika 33):

1) Bat - donji kimeridž;
2) Gornji titon - gornji apt;
3) Gornji alb - gornji senon;
4) Eocen;

5) Kvartar.



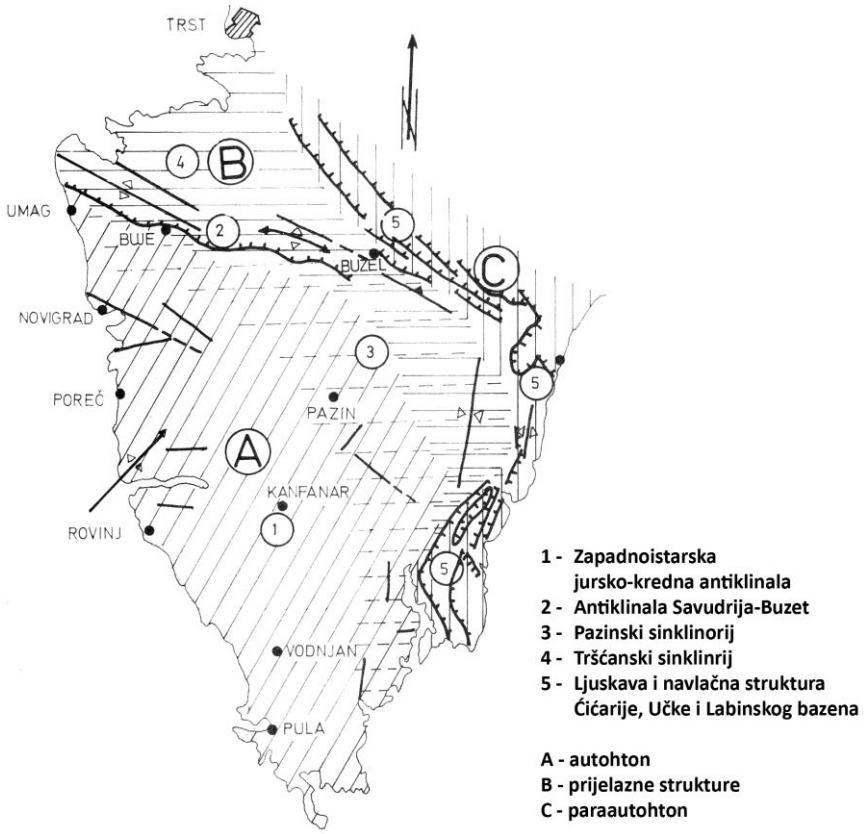
Slika 33 – Prikaz stratigrafskih jedinica Istarskog poluotoka (Velić i dr., 2003)

Na prikazanoj karti (Slika 33) je vidljivo da se u ovom radu izučavani flišni kompleks naslaga na Hrvatskom dijelu poluotoka Istre pruža od Buja na sjeveru do Labina na jugoistoku. Ovaj prostor se u literaturi često naziva Pazinski paleogenski bazen (Polšak i Šikić, 1973) koji je dugačkom i uskom krednom pregradom (Savudrija – Buzet) podijeljen na dva bazena: Tršćanski i Pazinski. Generalno pružanje Pazinskog paleogenskog bazena je sjeverozapad – jugoistok.

4.2.2 Tektonske jedinice Istarskog poluotoka

Tektonske jedinice Istarskog poluotoka se generalno mogu podijeliti na laramijsku tektonsku jedinicu (oznaka 1 na slici (Slika 34)) i postlaramijske tektonske jedinice (oznake 2-5 na slici (Slika 34)) od kojih je za ovaj rad najvažnija jedinica 3 (Pazinski sinklinorij) i donekle jedinica 4 (Tršćanski sinklinorij) (Polšak i Šikić, 1973). Pazinski sinklinorij predstavlja

tektonsku jedinicu nastalu djelovanjem tektonskih pokreta od eocena do oligocena tijekom koje se i taložio fliš središnje Istre (Bergant i dr., 2003). Od važnijih tektonskih jedinica za ovaj rad treba spomenuti i 5. jedinicu (ljuskava i navlačna struktura Ćićarije, Učke i Labinskog bazena) zbog toga što sadrži ljuske fliša na kojima se također često nailazi na ogoline kao morfološke pojave izučavane u ovom radu.

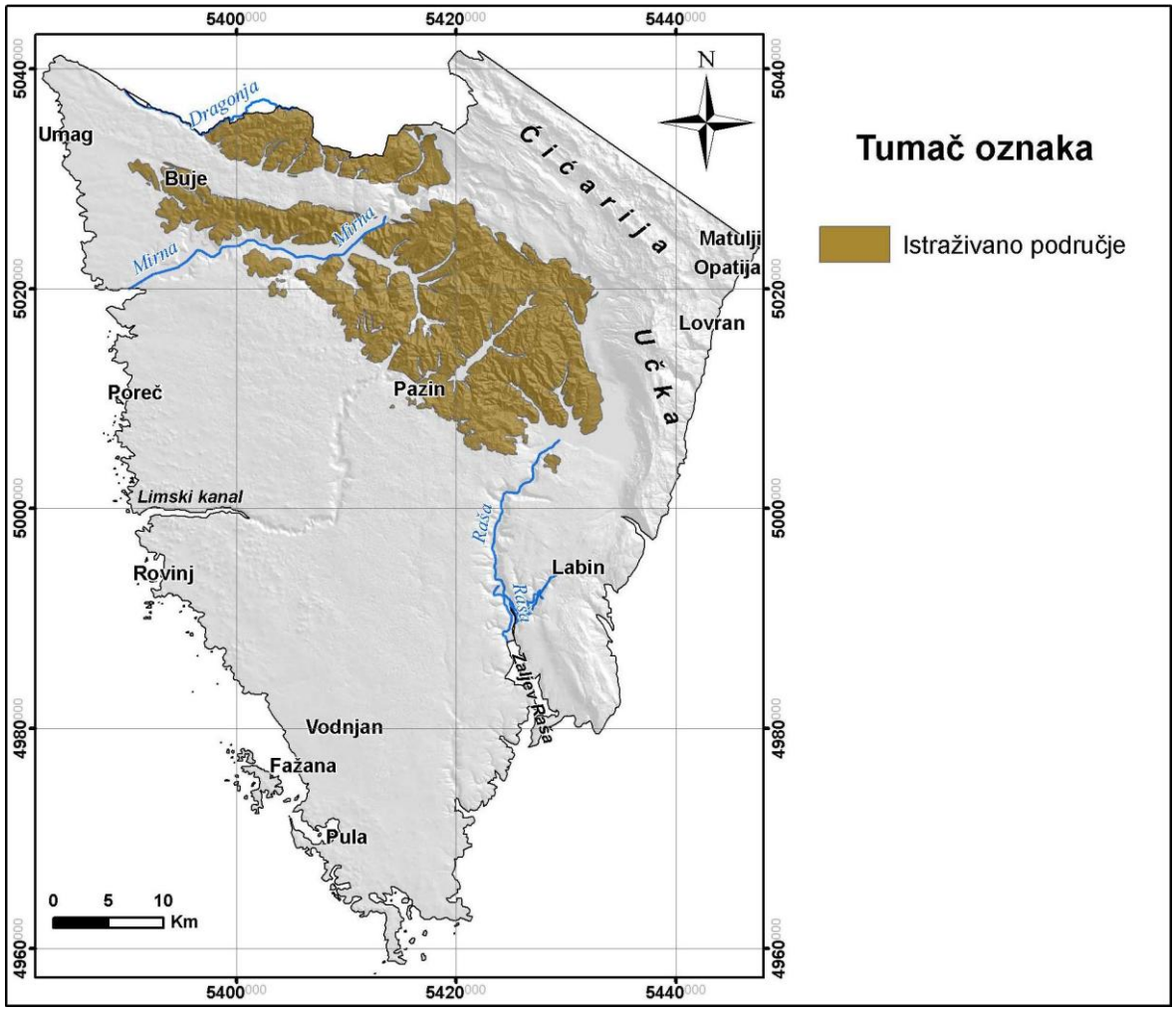


Slika 34 – Tektonske jedinice Istarskog poluotoka (Polšak i Šikić, 1973)

4.3 ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Istraživano područje obuhvaća gotovo cjelokupni flišni kompleks naslaga na Istarskom poluotoku. U područje istraživanja jedino nije uključena tektonska jedinica 5 (ljuskava i navlačna struktura Ćićarije, Učke i Labinskog bazena) iako ona sadrži flišne naslage jer je cilj bio utvrditi koji od egzogenih procesa najviše utječu na stvaranje ogolina. Kako na području navedene jedinice veliku ulogu u stvaranju reljefa ima tektonika čiji je utjecaj na formiranje ogolina teško kvantificirati, odustalo se od njezinog uključivanja u istaživano područje.

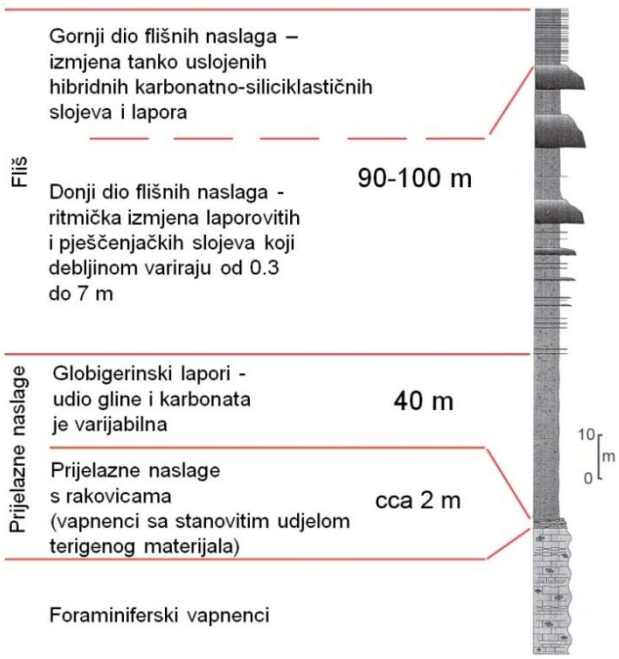
Istraživano područje se nalazi u središnjem dijelu Istarskog poluotoka, površine je približno 487 km^2, a na slici (Slika 35) je označeno smeđom bojom.



Slika 35 – Karta istraživanog područja

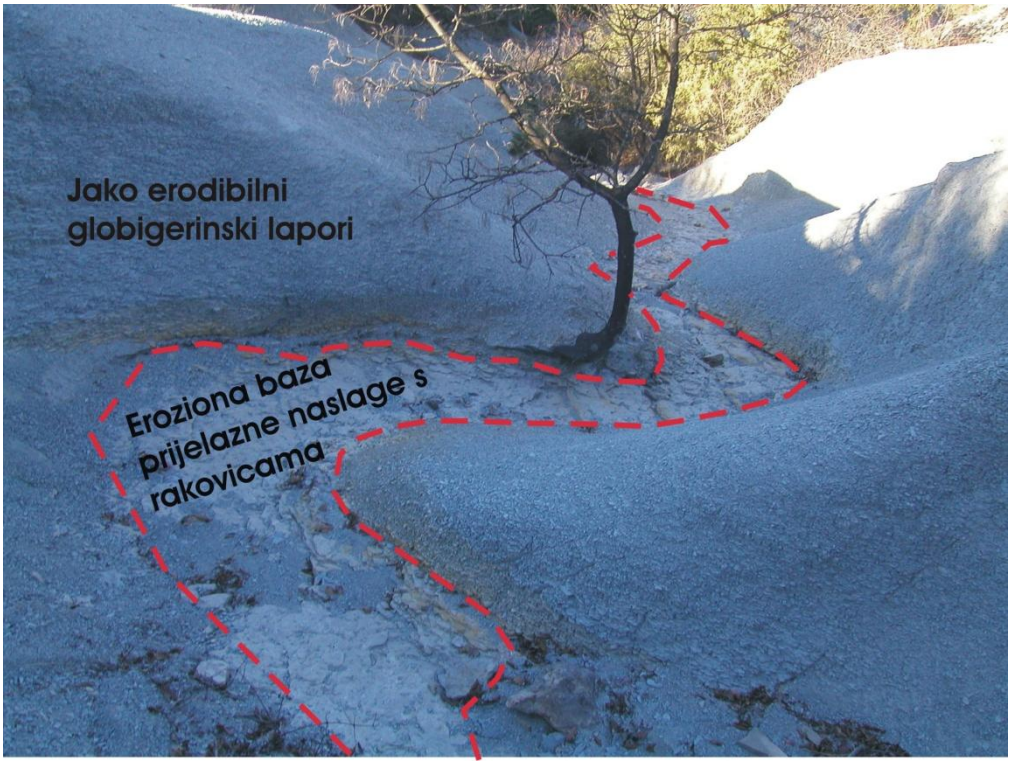
Područje središnje Istre izgrađuju vrlo nepostojane i erodibilne naslage globigerinskih lapora i fliša koji su predmet izučavanja ovog rada. Činjenicu o visokoj erodibilnosti spomenutih naslaga potvrđuju brojna istraživanja (Bogunović i dr., 2000), a uvjetuju je fizičko-mehaničke, litološke te mineraloške značajke. Te značajke su produkt posebnih uvjeta u kojima nastaju globigerinski lapori i fliš.

Stratigrafski odnos i ukupnu debljinu laporovitih i flišnih naslaga središnje Istre prikazuje geološki stup na slici (Slika 36). Na stupu se vidi da bazu flišnom kompleksu i globigerinskim naslagama čine foraminiferski vapnenci i tanke prijelazne naslage s rakovicama.



Slika 36 - Shematski geološki stup profila Kotli u središnjoj Istri (Bergant i dr., 2003)

Općenito se može reći da karbonatne naslage i navedene prijelazne naslage s rakovicama te karbonatni megaslojevi unutar flišnog kompleksa predstavljaju neerodibilne članove koje na terenu vrlo često možemo naći kao erozionu bazu u dnu jaruga (Slika 37).



Slika 37 - Prijelazne naslage s rakovicama kao eroziona baza jaruge na lokalitetu Šterna

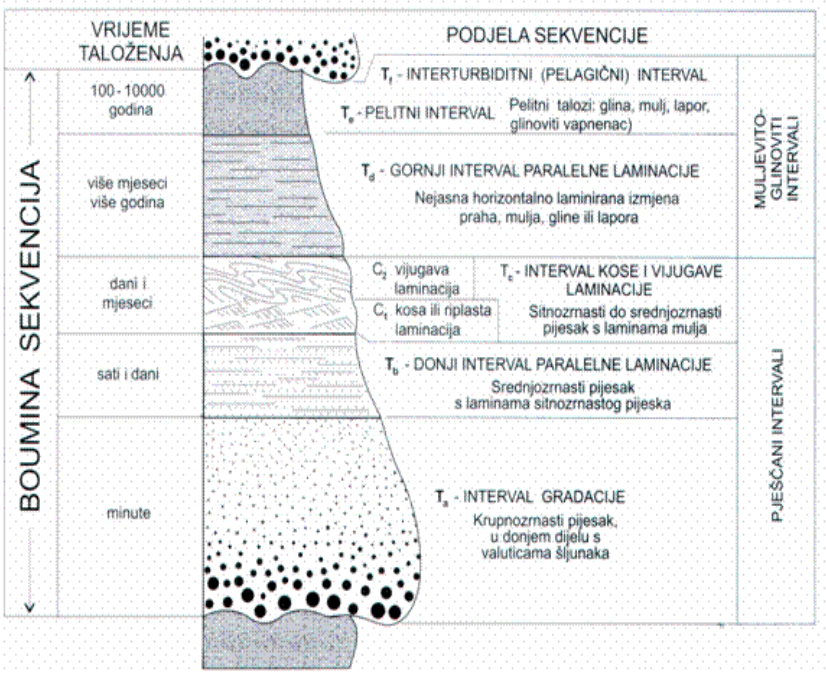
4.3.1 Globigerinski lapori

Globigerinski lapori približne debljine 40 m, su dobili ime po planktonskoj foraminiferi globigerini. Sadrže različite udijele karbonatnih i sliliciklastičnih komponenti. Karbonatna komponenta je uglavnom kripto do mikrokristalinični kalcit, dok je siliciklastična komponenta uglavnom izgrađena od zrna kvarca i glinenih čestica terigenog porijekla (Bergant i dr., 2003). Globigerinski lapori su taloženi u dubokomorskom okolišu što se može zaključiti prema mikrofaunskoj zajednici koju sadržavaju (Juračić, 1980).

4.3.2 Fliš

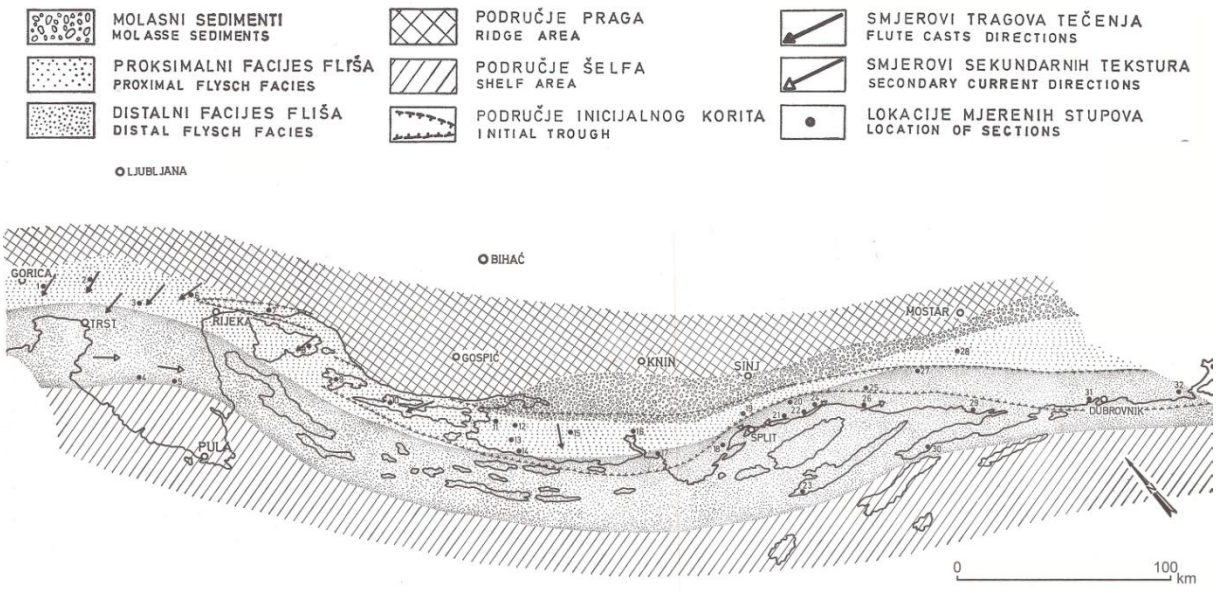
Za fliš se može reći da predstavlja debeli slijed uglavnom detritičnih (pretežno siliciklastičnih) marinskih dubokovodnih sedimenata siromašnih autohtonom faunom, s karakterističnim izmjenama slojeva različitih granulometrijskih svojstava. Okoliš u kojem nastaje fliš karakterizira dugačka podmorska padina na vrhu koje se nakuplja materijal. Gravitacijsko tečenje, a potom i taloženje započinje narušavanjem ravnoteže nakupljenog materijala koje može biti prouzrokovano potresom ili donosom prevelike količine materijala iz zaleđa te posljedično premjšanjem materijala niz padinu gravitacijskim tokovima uz taloženje. Karakteristično svojstvo fliških naslaga je njihovo veliko i kontinuirano rasprostiranje.

Fliš se može definirati kao sinorogeni sediment kontroliran tektonskim pokretima nastao gravitacijskim tečenjem i taloženjem hidroplastične terigene suspenzije. Rezultat tog taloženja u idealnim uvjetima predstavlja Bouma sekvencija s intervalima Ta, Tb, Tc, Td, Te tj. kompletna taložna jedinica nastala taloženjem iz jedne turbiditne struje (Slika 38).



Slika 38 - Shematski prikaz Boumine sekvencije (Tišljar, 2004.)

Fliš središnje Istre predstavlja mali dio velikog flišnog bazena koji se prostirao od Gorice u Italiji do Albanije, na sjeveroistok do linije Trnovski Gvozd – Vinodol – sjeverne obale Raba i Paga – Bukovica – Dabrarsko Polje u Hercegovini, a prema jugozapadu do središnje Istre i na većinu jadranskih otoka (Marinčić, 1981). Taj veliki sedimentacijski sistem nastao je pod utjecajem pirinejske tektonike što je vidljivo u geometriji i fiziografiji fliškog sedimentnog područja kojega karakterizira sjeverozapadno – jugoistočno usmjerenje duže osi bazena (okomito na pirinejski pritisak) te jugozapadna vergencija (Slika 39).



Slika 39 - Rasprostranjenost flišnih facijesa (Marinčić, 1981)

Fliš središnje Istre superpozicijski se nalazi na globigerinskim laporima i može se podijeliti na donji i gornji dio, a ukupna debljina kompleksa iznosi 90-100 m (Slika 36). Donji dio flišnog kompleksa se sastoji od ritmičke izmjene laporovitih i karbonatnih slojeva kojima debljina varira od 0,3 do 7 m (Bergant i dr., 2003). Karbonatni slojevi se nalaze u obliku konglomerata, foraminiferskih breča, arenita i siltita. Unutar tog donjeg dijela flišnih naslaga česti su i karbonatni megaslojevi debljine i do nekoliko metara (Bergant i dr., 2003).

U gornjem dijelu flišnog kompleksa istaloženi su karbonatno-siliciklastični turbiditni slojevi. Sastoje se od tankih slojeva koji predstavljaju samo gornje dijelove Boumine turbiditne serije i to Tb-e, Tc-e i Td-e (Bergant i dr., 2003). To su tzv. podsječene turbidinte sekvencije.

Detaljniji opis pojedinih članova globigerinske i flišne serije predstavljen je u poglavlju 6.1 u kojem se opisuju osnovne značajke inženjerskogeoloških jedinica istraživanog prostora.

5 METODE ISTRAŽIVANJA

Kako bi se ispunili ciljevi navedeni u uvodnom dijelu rada, a zbog kompleksnosti izučavane pojave, problemu pojavljivanja ogolina na području središnje Istre je bilo potrebno pristupiti u više mjerila izučavanja. Tako se i metode istraživanja, primijenjene u ovom radu, mogu podijeliti na one koje su vezane uz **mjerilo uzorka** (determinacija mineraloških, petrografskih, mehaničkih i fizikalnih značajki), zatim uz **mjerilo izdanka** (determinacija udjela kompetentnih i nekompetentnih litoloških članova, mjerenje iznosa uzmicanja bokova jaruga profilometrima i fotogrametrijskim metodama, mjerenje stanja atmosfere), te one vezane za **regionalno mjerilo** (izrada katastra ogolina, izrada karte udjela ogolina, geomorfološka analiza reljefa).

U ovom poglavlju navedene su sve korištene metoda, pri čemu su detaljnije opisane samo one koje nisu u standardnoj inženjerskogološkoj uporabi. Također su detaljnije opisane metode i instrumenti koji dosada nisu bilu u uporabi.

5.1 METODE ISTRAŽIVANJA NA UZORCIMA (MJERILO UZORKA)

Značajke materijala o kojima ovise egzogeni procesi (trošenje, erozija, pokreti masa i taloženje) karakteristični za ogoline mogu se izučavati različitim jednostavnijim i složenijim laboratorijskim i terenskim testovima (Imeson i dr., 1982; Hodges i Bryan, 1982; Bryan i dr., 1984; Gerits i dr., 1987; Imeson i Verstraten, 1988). U ovom radu korištene su metode kojima je moguće odrediti slijedeće značajke uzorka:

- **Mineralni sastav** – kalcimetrija, rendgenska difrakcijska analiza, mikropetrografska analiza;

- **Fizikalne značajke** – određivanje otpornosti materijala prema fizičkom trošenju (vlaženje-sušenje, vlaženje-smrzavanje-sušenje), indeks plastičnosti, prirodna vlažnost;
- **Mehaničke značajke** – Schmidtov odskok i čvrstoća u točki (*eng. point load test*).

5.1.1 Metode određivanja mineralnog sastava

Poznavanje mineralnog sastava stijena i tala nekog područja predstavlja osnovu za izučavanje utjecaja egzogenih procesa na značajke reljefa dotičnog područja. Struktura i tekstura stijene te vrste minerala i njihov udio mogu odgovoriti na veliki broj pitanja vezanih uz ponašanje stijene i tla u određenim atmosferskim prilikama, ali isto tako upućuju na genezu materijala.

5.1.1.1 Kalcimetrija

Određivanje udijela karbonata u laporima provedeno je na 64 uzoraka prema Collinsovoj pojednostavljenoj metodi (Head, 1982). Prema toj metodi određuje se volumen ugljičnog dioksida koji nastaje prilikom dodavanja klorovodične kiseline kalcijevom karbonatu.

$$CaCO_3+3HCl \rightarrow CaCl_2+H_2O+CO_2\uparrow$$

Uz korekcije temperature i tlaka dobije se volumen ugljičnog dioksida te se posredno preko volumena ugljičnog dioksida određuje masa kalcijevog karbonata u uzorku.

Cilj određivanja sadržaja karbonata u uzorcima lapora je indirektno određivanje sadržaja minerala glina u njima (Head, 1982), pri tome je bitan relativan odnos što znači manje kalcita → više minerala glina i obrnuto. Ova hipoteza pretpostavlja da su minerali glina i kalcit dominantni minerali u uzorcima, tj. da u uzorcima nema značajnije količine ostalih silikatnih minerala (npr. kvarca). Poznavanje udjela minerala glina u uzorku je vrlo važno sa stanovišta posojanosti uzorka, jer što je više minerala glina u uzorku to je uzorak manje postojan. Kako je sadržaj minerala glina u uzroku moguće saznati kompliciranijom, dugotrajnijom i skupljom metodom rendgenske difrakcije, kalcimetrija kao metoda koju karakterizira jednostavnost, brzina provedbe te niža cijena koštanja u tom smislu, uz

pretpostavku točnosti gore navedene hipoteze, predstavlja bolju metodu procjene postojanosti.

5.1.1.2 Rendgenska difrakcija

Determinacija mineralnog sastava je obavljena pomoću kvalitativne rendgenske analize i to metodom rendgenske difrakcije na praškastim uzorcima (globalni neorijentirani uzorci - 16 uzoraka) dok je detaljna analiza minerala glina izvršena na orijentiranim uzorcima (10 uzoraka). Podaci su mjereni i interpretirani pomoću kompjuterskih programa X'Pert Quantify i X'Pert HighScore Plus.

Korišten je PANalyticalov rendgenski difraktometar X'Pert Powder koji je opremljen keramičkom rendgenskom cijevi Cu anode (CuKα zračenje valne duljine λ=1,5405 Å), vertikalnim goniometrom θ – θ geometrije i PIXcel detektorom. Napon i jakost struje za generiranje rendgenskih zraka iznosili su: U = 45 kV i I = 40 mA. Korišteni su 0.04 rad Sollerovi slitovi, ¼ divergentni slit primarnog snopa zračenja i ½ primarni i sekundarni slit protiv raspršenja. Snimalo se u step-scan modu, pri čemu je veličina koraka bila 0.02°2θ, a trajanje 4s za globalne neorijentirane uzorke koji su snimani u području od 4 do 66°2θ. Analize orijentiranih uzoraka snimane su od 4-30°2θ.

Uz kvalitativnu načinjena je i kvantitativna analiza i to pomoću kompjuterskog programa RockJock (RockJock7.xls, Eberl 2003). RockJock kvantitativno određuje mineralni sastav usporedbom integriranih XRD intenziteta pojedinih minerala u uzorcima s intenzitetima internog standarda (cinkovog oksida). Jednom gramu uzorka dodaje se 10% (0.111 g) internog standarda ZnO. Dobro se promiješaju, doda se 6-7 ml alkohola (metanola) i usitnjavaju u McCronovom mlinu 5 minuta. Dovoljno usitnjen i dobro promiješan uzorak omogućuje dobivanje kvalitetnih rezultata kvantitativnom rendgenskom analizom. To omogućuje izračunavanje težinskih postotaka minerala iz prije mjerenih faktora intenziteta minerala (MIF-mineral intensity factor). Odstupanje od realnih vrijednosti moguće je od 2 do 5 %.

5.1.1.3 Mikropetrografska analiza

Polarizacijski mikroskop je u ovom radu poslužio za opis osnovnih litoloških značajki flišnog kompleksa naslaga. U tom pogledu analizirano je ukupno 10-ak uzoraka. Pri tome je korišten mikroskop marke Axio Scope.A1 proizvođača Zeiss.

5.1.2 Fizikalne značajke stijenskog materijala

5.1.2.1 Određivanje postojanosti uzoraka

Stijene bogate glinenom komponentom kao što su glinjaci, muljnjaci, lisnati glinjaci i lisnati muljnjaci se definiraju kao sitnozrnate siliciklastične sedimentne stijene (u nastavku – glinovite stijene) (Tišljar, 2004). Navedene stijene predstavljaju vrlo čest medij u kojem se odvijaju različiti inženjerski projekti (Dick i dr., 1994). U literaturi se može naći podatak da svjetski stratigrafski stup sadrži oko 2/3 takvih stijena (Blatt, 1982) pa se stoga očekivanim čini veliki broj radova na temu otpornosti takvih materijala (postojanost) na procese fizičkog trošenja kao što su vlaženje-suženje, smrzavanje-odmrzavanje te grijanje i hlađenje.

Postojanost glinovitih stijena jako ovisi o interakciji između vode i stijene (Hudec, 1982). Upravo na toj interakciji se bazira i većina metoda kojima se standardno mjeri postojanost, a to su *jar slake test* (Wood i Deo, 1975), zatim *slake indeks test* (Deo, 1972) i *slake durability test* (Franklin i Chandra, 1972). Najpoznatiji i najkorišteniji test određivanja postojanosti glinovitih stijena je *slake durability test* za koji je još 1977. godine međunarodno udruženje za mehaniku stijena (International Society of Rock Mechanics - ISRM) izdalo preporuku. Iako najkorišteniji taj test konstantno trpi kritike u vezi s malim brojem ciklusa sušenja i vlaženja (po ISRM 2 ciklusa) i vrlo često se od strane različitih autora preporuča korištenje većeg broja ciklusa kako bi se još bolje evaluirale stijene koje karakterizira niža postojanost (Gamble, 1971; Taylor, 1988; Gokceoglu i dr., 2000)

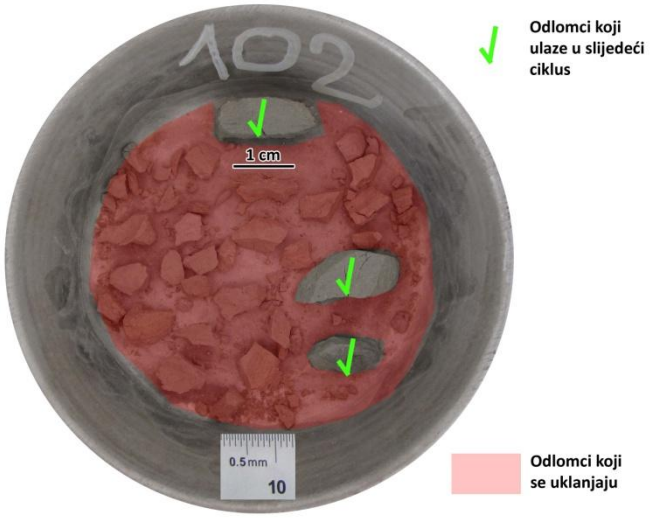
Kako se materijali na istraživanom području nalaze u prirodnom okruženju u kojem vladaju konstantne izmjene vlažnih i suhih razdoblja, popraćenih ponekim ciklusom smrzavanja, u ovom radu nije odabrana ni jedna od navedenih standardnih metoda upravo zato što ni jedna od njih ne koristi veći broj ciklusa. Tako je osmišljena nova metoda kojoj je bazu predstavljala stara metoda prema Jugoslavenskom standardu (JUS B.B8001 – 1982) po

kojoj se ispitivala otpornost prirodnog kamena prema djelovanju mraza. U ovoj metodi uzorci se smrzavaju i odmrzavaju 25 puta, nakon čega se vizualnim pregledom utvrđuje oštećenje uzoraka. Metode korištene u ovom radu su u pravilu imale 15-20 ciklusa, a ovisno o vrsti fizičkog trošenja možemo ih podijeliti na metode:

- Sušenja-vlaženja-smrzavanja;
- Sušenja-vlaženja;
- Grijanja-hlađenja.

Veliki broj ciklusa u metodi ima za cilj simulaciju prirodnih uvjeta u kojima se ispitivani materijal nalazi na terenu.

Zajednički postupci svim metodama determinacije postojanosti korištenim u ovom radu je da se nakon tretiranja uzorka nekim od procesa fizičkog trošenja (smrzavanje, hlađenje, vlaženje) uzorak uvijek stavljao na visoku temperaturu (u pravilu višu od 70 °C), a nakon toga se pristupilo izdvajanju i uklanjanju frakcije manje od 1 cm (Slika 40). Potom bi se ostatak uzorka s fragmentima većim od 1 cm izvagao, a razlika u masi između dva vaganja izražena u postotnom udjelu od početne mase uzorka bi predstavljala gubitak mase tijekom jednog ciklusa. Kada bi se obavio određeni broj ciklusa, mjeru postojanosti nekog uzorka bi reprezentirao prosječni postotak izgubljene masa tijekom jednog ciklusa. Ovdje valja napomenuti da veća vrijednost prosječne izgubljene mase označava nižu postojanost pa je tako u nastavku vrlo često korišten termin "**niža postojanost**" uz koji se veže veći broj i obrnuto "**viša postojanot**" koja je označena nižom vrijednosti. Suha masa uzorka s kojom se započinjao svaki test bila je u pravilu između 40 i 60 g.



Slika 40 – Izdvajanje odlomaka manjih od 1 cm u testu određivanja postojanosti

Važno je naglasiti da je ponašanje uzoraka praćeno i vizualno i to tako da su nakon sušenja i nakon izdvajanja odlomaka manjih od 1 cm uzorci fotografirani (Slika 41).

Slika 41 – Fotografiranje uzoraka podvrgnutih testu određivanja postojanosti

Ukupno je napravljeno 6 serija uzoraka pri čemu su se serije razlikovale kao što je već rečeno prema vrsti fizičkog trošenja. Broj uzoraka i uvjete tijekom testiranja prikazuje tabela (Tabela 5).

Tabela 5 – Određivanje postojanosti – uvjeti testiranja i broj uzoraka

	Operacija	Uvijeti tijekom operacije	Trajanje operacije	Trajajanje 1 ciklusa	Broj ciklusa	Broj uzoraka u seriji
0. serija	Vlaženje	Destilirana voda	1 dan	Ciklus traje 3 dana	20	10
	Smrzavanje	-18°C	1 dan			
	Sušenje	100°C	1 dan			
1. serija	Vlaženje	Destilirana voda	2.5 h	Ciklus traje 1 dan	18	40
	Smrzavanje	-18°C	3.5 h			
	Sušenje	100°C	16 h			
2. serija	Vlaženje	Destilirana voda	2.5 h	Ciklus traje 1 dan	20	16
	Hlađenje	5°C	3.5 h			
	Sušenje	70°C	16 h			
3. serija	Vlaženje	Destilirana voda	2.5 h	Ciklus traje 1 dan	20	50
	Smrzavanje	-18°C	3.5 h			
	Sušenje	100°C	16 h			
4. serija	Hlađenje	cca 23°C (sobna temperatura)	8 h	Ciklus traje 1 dan	15	50
	Sušenje	100°C	16 h			
5. serija	Hlađenje	cca 23°C (sobna temperatura)	5.5 h	Ciklus traje 1 dan	20	57
	Vlaženje	Destilirana voda	2.5 h			
	Sušenje	100°C	16 h			
					Ukupan broj uzoraka	223

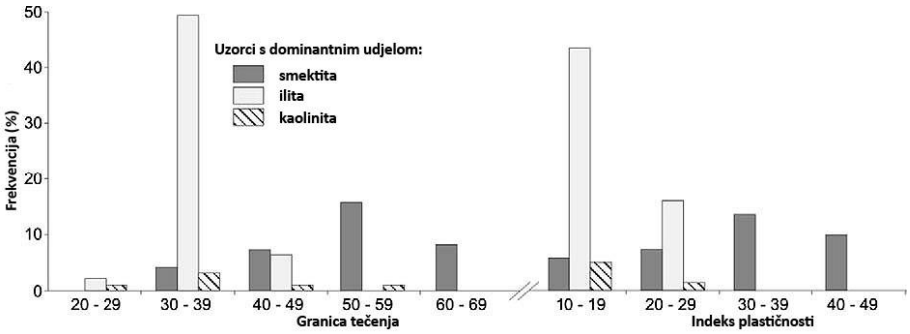
Razlike u tretiranju pojedinih serija uzoraka opravdava želja da se na taj način odredi utjecaj pojedinih faktora fizičkog trošenja (rast ledenih kristala, bubrenje, širenje i skupljanje uzorka uslijed promjene temperature).

Važno je napomenuti da je od 223 testirana uzorka njih 210 predstavljalo nekompetentne (nepostojane) članove IG jedinica (uglavnom lapore). Tako veliki broj testiranih uzoraka lapora je opravdan činjenicom da je lapor zbog visokog udjela glinovite komponente (20-80%) vrlo podložan procesima fizičkog trošenja, a trošan postaje jako erodibilan zbog čega je upravo lapor na istraživanom prostoru glavni izvor nanosa te pokretač egzogenih procesa koji uvjetuju nastanak ogolina.

5.1.2.2 Indeks plastičnosti

Indeks plastičnosti predstavlja raspon vlažnosti unutar koje se tlo ponaša kao plastični materijal. Veći indeks plastičnosti karakterizira materijale s većom kohezijom, što opet ukazuje na veću specifičnu površinu minerala zastupljenih u nekom uzorku (Roje-Bonacci, 2003). Drugim riječima uzorci s povećanim udjelom minerala glina u pravilu imaju i veći indeks plastičnosti. Također valja naglasiti da je vrlo važno koji mineral glina dominira u nekom uzorku što pokazuje i slika (Slika 42) na kojoj se uočava da uzorci koji sadrže smektite

kao dominantnu skupinu minerala glina u pravilu imaju i viši indeks plastičnosti (Hajjaji i dr., 2010).



Slika 42 – Plastičnost uzoraka u funkciji glavnog minerala glina (Hajjaji i dr., 2010)

U ovom radu determinacija indeksa plastičnosti na usitnjenim uzorcima lapora je imala za cilj indirektnu odredbu udjela minerala glina, ili još bolje odredbu udjela bujajućih minerala glina – smektita. Sve navedeno je bilo u svrhu dovođenja u vezu postojanosti s količinom smektita pri čemu se polazilo od postavke da povećani udio smektita u nekom uzorku smanjuje postojanost tog uzorka (Dick i dr., 1994).

Određivanje indeksa plastičnosti je provedeno prema normi BS-1377-2 na uzorcima lapora koji su prethodno bili usitnjeni u tarioniku. Ukupno je testirano 66 uzoraka nekompetentnih članova IG jedinica.

5.1.2.3 Prirodna vlažnost

Poroznost nekompetentnih materijala flišnog kompleksa naslaga je vrlo važna fizikalna značajka koju je na ovako nepostojanim materijalima izuzetno teško determinirati. Naime da bi se ona odredila potrebno je ili imati uzorak pravilnog geomtrijskog tijela kojemu se mjerenjem visine, širine i dužine može odrediti volumen ili se pak volumen određuje pomoću uronjene mase. Obje navedene metode pripreme uzoraka zahtjevaju korištenje vode koja vrlo često kod jako nepostojanih uzoraka uzrokuje njihova razaranje pa rezultati iz tako dobivenih testova nisu prihvatljivi.

Određivanje prirodne vlažnosti može poslužiti kao metoda procjene poroznosti nekog uzorka, a test određivanja prirodne vlažnosti karakterizira jednostavnost i niska cijena koštanja. Stoga je u ovom istraživanju prirodna vlažnost određena na 223 uzorka i to prema preporukama ISRM-a (1977).

5.1.3 Mehaničke značajke

Indeksni testovi određivanja mehaničkih značajki primjenjeni u ovom radu (Schmidtov čekić i određivanje čvrstoće u točki) predstavljaju jednostavne i cijenom koštanja vrlo prihvatljive metode. Lapori, koji su bili u fokusu istraživanja u ovom radu kao materijal, ne trpe agresivne postupke oblikovanja uzorka (potrebne za na primjer određivanje jednoosne tlačne čvrstoće prema ASTM-u D 4543-08) pa su stoga indeksne metode predstavljale jedinu mogućnost određivanja čvrstoće jer se izvode na nepravilnim uzorcima dobivenim iz površinske zone.

Cilj determinacije Schmidtovog odskoka i čvrstoće u točki je bilo testiranje metoda za brzo određivanje postojanosti uzorka (7.1.2) te određivanje mehaničkih značajki definiranih IG jedinica (6.1).

5.1.3.1 Određivanje čvrstoće u točki

Od geomehaničkih metoda u radu je korištena point load test (PLT) metoda kojom se određuje čvrstoća u točki stijenskog materijala. Metoda se nalazi u primjeni već dugi niz godina tijekom kojih je jako dobro prihvaćena zbog svoje jednostavnosti te niske cijene koštanja. Metode određivanja čvrstoće u točki sežu još prije 70-tih godina prošlog stoljeća, no prvi su metodu, kakvu je poznajemo u današnjem obliku, opisali Franklin i dr. još 1971. godine. Standardizaciju PLT metode načinile su dvije vodeće organizacije na tom području i to International Society of Rock Mechanics (ISRM, 1985) te American Society for Testing and Materials (ASTM, 2008).

Prikladnost ove metode u sklopu istraživanja erozije na ogolinama središnje Istre je neupitna iz razloga što se ovom metodom može određivati čvrstoća nepravilnih uzoraka. Kako je jedino nepravilne uzorke bilo moguće dobiti iz površinskog dijela ogolina, tj. onih dijelova na kojima se erozija događa, određivanje čvrstoće u točki je načinjeno na ukupno 187 uzoraka lapora i 30 uzoraka pješčenjaka.

5.1.3.2 Određivanje Schmidtovog odskoka

Schmidtov čekić je razvijen kasnih 40-ih godina prošlog stoljeća kao indeksna nedestruktivna aparatura za testiranje betona na terenu, a u mehanici stijena se

upotrebljava od ranih 60-ih godina prošlog stoljeća i to uglavnom za procjenu jednoosne tlačne čvrstoće i Youngovog modula elastičnosti stijenskih materijala (Aydin i Basu, 2005). Uzimajući u obzir dugi period primjene čekića i njegovo široko korištenje može se očekivati da preporučeni standardi (ISRM,1978; ASTM 2005.) daju konzistentne i pouzdane podatke, a isto tako da se iz testom dobivenih podataka daju korelirati drugi važni mehanički parametri (npr. jednoosna tlačna čvrstoća). Ipak treba naglasiti da pitanja kao što su tip čekića, normalizacija odskočnih vrijednosti, dimenzije uzoraka, glatkoća površine, trošenje, vlažnost, reduciranje i analiza dobivenih podataka još uvijek potkopavaju vjerodostojnost Schmidtovog čekića. Usprkos tome tijekom vremena Schmidtov čekić je dobro prihvaćen od strane istraživača upravo zbog njegove relativno niske cijene, veličine, jednostavnosti pri uporabi, brzini izvođenja mjerenja i nedestruktivnosti samog testa.

U istraživanjima vezanim uz ovaj rad korišten je L-tip čekića (udarne energije 0.735 Nm) marke Silver schmidt proizvođača Proceq. Ovaj tip Schmidtovog čekića se odlikuje mjerenjem energije koju apsorbira podloga (stijena) preko razlika brzine utega u kućištu uređaja prije i poslije sudara s nakovnjem (Proceq, 2008; www.proceq.com). Važno je naglasiti da je prednost uređaja koji se bazira na razlikama brzina u tome što rezultate nije potrebno normalizirati s obzirom na orijentaciju čekića u odnosu na orijentaciju istraživane površine.

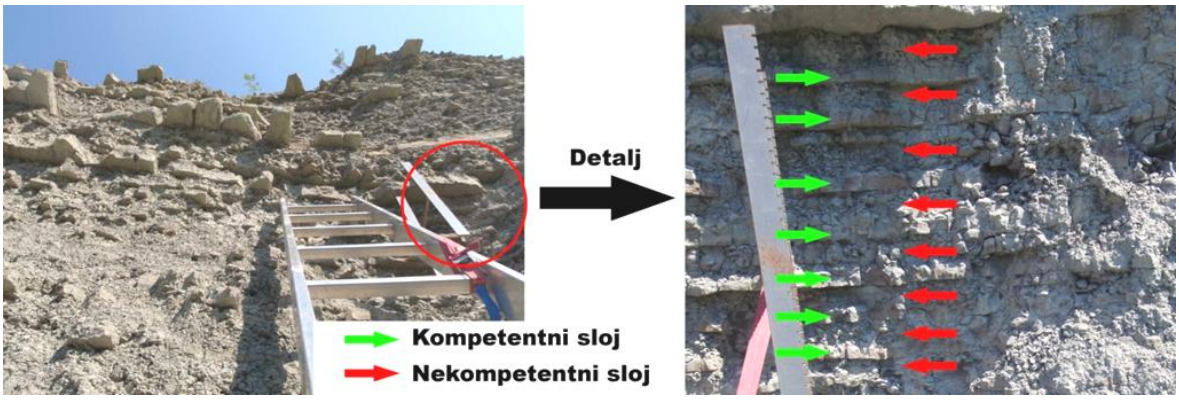
Određivanje Schmidtovog odskoka je provođeno na terenu i to na ukupno 88 točaka (Slika 43). Uglavnom je određivana čvrstoća lapora jer je cilj bio uspostavljanje korelacijske jednadžbe između Schmidtove čvrstoće i postojanosti uzorka. Često se u znanstvenoj literaturi Schmidtov čekić koristi za procjenu trošnosti stijena što je generalno i ovom prilikom bio cilj (Aydin i Basu, 2005).

Slika 43 – Testiranje Schmidtovim čekićem na terenu

5.2 METODE ISTRAŽIVANJA VEZANE UZ MJERILO IZDANKA

5.2.1 Određivanje udjela litoloških komponenti

Određivanje udjela litoloških komponenti odnosi se na određivanje debljine i udjela kompetentnih i nekompetentnih slojeva na istraživanim ogolinama. Kompetentni slojevi predstavljaju postojane dijelove, dok nekompetentni slojevi predstavljaju nepostojane dijelove flišnih naslaga. Na terenu su ove dvije vrste slojeva razlikovane prema načelu jače litificirani slojevi su kompetentni, a slabije litificirani su nekompetentni članovi (Slika 44). U pravilu bi se moglo reći da kompetentne slojeve u litološkom smislu predstavljaju breče, konglomerati, kalkareniti, pješčenjaci i siltiti te eventualno kalcitom bogati lapori (dakle postojaniji i slabije erodibilniji članovi flišnih naslaga), dok nekompetentne predstavljaju uglavnom lapori (nepostojaniji i jače erodibilniji članovi flišnih naslaga).



Slika 44 – Kompetentni i nekompetentni slojevi na ogolini Sv. Donat

Ove litološke značajke su vrlo važne za iznos i mehanizam erozije, a određivane su pomoću mjerne vrpce mjerenjem od vrha do podnožja istraživačke parcele (Slika 45). Prilikom inženjerskogeološkog kartiranja na otprilike 50-ak ogolina na području središnje Istre određen udio kompetentnih i nekompetentnih slojeva.

Slika 45 - Mjerenje debljine slojeva lapora i pješčenjaka na ogolini Boljun

5.2.2 Mjerenje klimatskih veličina

Jedan od glavnih faktora koji utječu na procese trošenja (2.2) i erozije (2.3.1.2.1) je svakako klima. Od klimatskih parametara na navedene procese najviše utječu temperatura zraka i količina oborina. Kako bi se ustanovila veza između navedenih klimatskih faktora te brzine trošenja i erozije na četiri pokusna poligona raspoređena u središnjoj Istri postavljeni su automatski mjerni uređaji, tzv. logeri, koji su kontinuirano mjerili temperaturu zraka te količinu oborina.

5.2.2.1 Temperatura zraka

Temperatura zraka je neprekidno mjerena logerima tipa UA-002-08 marke HOBO. Od značajki navedenog uređaja treba istaknuti sljedeće:

- Točnost pri 25 °C → ±0.47 °C;
- Rezolucija mjerenja pri 25 °C → 0.10 °C;
- Masa → 18 g;
- Raspon mjerenja → od -20 do 70 °C.

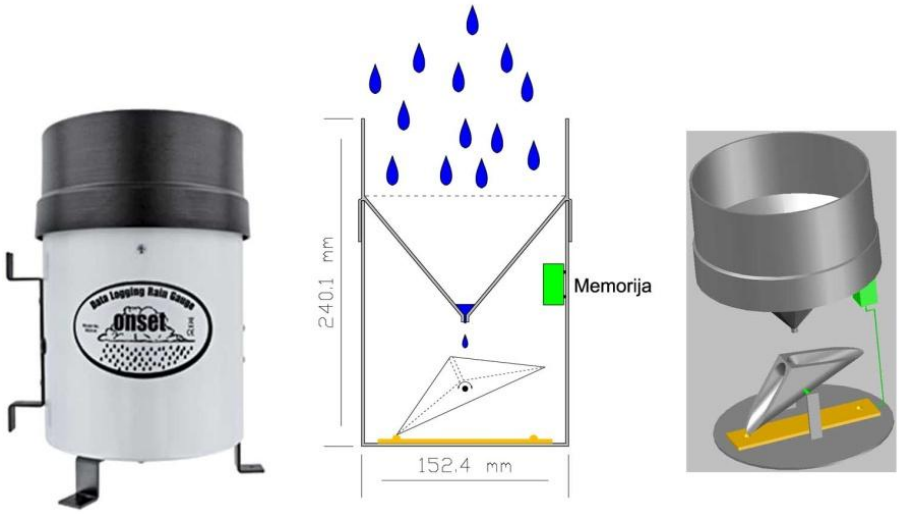
Logere je zbog njihove male dimenzije (58×33×23 mm) bilo moguće pričvrstiti na geodetske klinove ili pak korijenje niskog grmlja koje se nalazilo na samoj ogolini.

Slika 46 – Uređaj za mjerenje temperature zraka postavljen na terenu

Interval mjerenja tijekom cijelog istraživačkog razdoblja (oko dvije i pol godine) bio je jedan sat. S takvim intervalom mjerenja memorija uređaja se popunila u roku od četiri mjeseca pa su podaci s uređaja preuzimati tri puta godišnje kako bi loger mogao nesmetano nastaviti bilježiti podatke.

5.2.2.2 Količina oborina (kiše)

Količina oborina na pokusnim poligonima je mjerena pomoću logera tipa RG3-M marke HOBO. Njegova konstrukcija prikazana na slici (Slika 47) omogućuje mjerenje količine oborine te intenzitet oborine u određenom vremenskom intervalu.



Slika 47 – Kišomjer marke HOBO

Uređaj radi na principu "klackalice" koja na obje strane ima spremnik koji prima 0.2 mm/m^2 kiše. Kada se spremnik napuni klackalica se prebaci na drugu stranu, u logeru se bilježi datum i točno vrijeme tog prebacivanja, a istovremeno se počinje puniti spremnik na suprotnoj strani. Iz navedenog se može zaključiti da je rezolucija mjerenja ovog uređaja upravo 0.2 mm kiše po m^2. S obzirom na činjenicu da se za svaki događaj (prebacivanje klackalice) bilježi točno vrijeme, intenzitet kiše je moguće izračunati za vrlo male vremenske intervale. Kako je prikupljenih podataka tijekom istraživačkog perioda bilo puno njihova analiza izvršena je u HOBOware programu verzija 2.1.0. Navedeni softver omogućuje mijenjanje intervala u kojem se računa intenzitet kiše, što je za praćenje erozije jako bitno. Naime, dnevni, satni i minutni intenziteti računani za jedan kišni događaj mogu jako varirati, a za eroziju je najvažnije odrediti maksimalan intenzitet jer on ostvaruje visokoenergetske

površinske tokove i kišne kapi velikih dimenzija. Drugim riječima maksimalni intenziteti kiše puno govore o erozivnosti same oborine (2.3.1.2.1).

Kišomjeri su na terenu postavljani ili na posebno konstruirane klinove koji su zabijani u podlogu (Slika 48 a) ili na postojeće stupove ograda (Slika 48 b). U pravilu su postavljani u neposrednoj blizini pokusnih parcela, a maksimalna udaljenost kišomjera je bila na ogolini Šterna i iznosila je otprilike 400 m.

Slika 48 – Postavljanje kišomjera – a) na klin; b) na stup od ograde

5.2.3 Mjerenje iznosa denudacije

U ovom poglavlju su prikazane mjerne tehnike koje se uglavnom koriste za determinaciju iznosa erozije kao najrasprostranjenijeg denudacijskog procesa. No, kako područje istraživanja ovog rada obuhvaća ogoline na kojima se vrlo intenzivno, posebno na strmijim dijelovima terena, događaju i pokreti masa u naslovu je stavljen izraz koji navedene procese povezuje (erozija + pokreti masa = denudacija) jer se velikom većinom navedenih tehnika može mjeriti i snižavanje terena uzrokovano pokretom masa.

Općenito se mjerenja erozije provode kako bi se objasnili različiti procesi i mehanizmi te pojave, te kako bi se utvrdile matematičke veze (kreirali matematički modeli) između prirodnih faktora navedenih u poglavlju 2.3.1.2. Veliki broj faktora te zamršene veze među njima prisiljavaju stručnjake da izvrše veliki broj mjerenja, i u laboratoriju i na terenu, kako bi dobiveni matematički modeli davali pouzdane rezultate. Tako je na primjer najpoznatiji

prognostički matematički model USLE (*Universal soil loss equation)* razvijen iz mjerenja izvršenih na približno 10 000 pokusnih poligona godišnje (Hudson, 1993).

U osnovi metode mjerenja erozije (denudacije) možemo podijeliti na one koje se bave krupnijim i na one koje se bave sitnijim mjerilom, no bez obzira na mjerilo izučavanja sve u nastavku navedene tehnike imaju visoku cijenu koštanja pa je zato od velike važnosti prilikom projektiranja istraživanja izabrati optimalnu metodu. U protivnom je moguće da se takvim skupim i dugotrajnim mjerenjima prikupe suvišni i neiskoristivi podaci ili obrnuto, moguće je prikupljanje premale količine podataka za produciranje kvalitetnih zaključaka (Swete Kelly i Gomez, 1998).

Erozija kao proces koji na mnogo načina utječe na ljudski život te kao proces koji je na nekim terenima prilično invazivan i relativno brz, konstantno prisiljava znanstvenike na osmišljavanje novih tehnika mjerenja i na konstruiranje novih mjernih uređaja. Iz tog razloga danas postoji veliki broj laboratorijskih i terenskih tehnika mjerenja od kojih su u ovom poglavlju opisane samo najčešće primjenjivane.

Postoji tri osnovna načela mjerenja erozije:

1) Mjerenje razlike u težini – krupno mjerilo izučavanja;
2) Mjerenje promjena razine površine terena – krupno i sitno mjerilo izučavanja;
3) Skupljanje sedimenta s pokusnih parcela i slivova – krupno i sitno mjerilo izučavanja.

Izravno mjerenje erozije na jedan od navedenih načina predstavlja osnovu za daljnja znanstvena istraživanja, za razvijanje i evaluaciju tehnologija kontrole erozije, za razvijanje prognostičkih modela te za formiranje zakonskih regulativa (Toy i dr., 2002). Iako vrlo važna, mjerenja iznosa erozije su uvelike ograničena brojnim problemima vezanim uz njihovo provođenje (Stroosnijder, 2005). To je prije svega visoka cijena koštanja u koju je uključena cijena koštanja opreme i ljudstva i to obično u dužem vremenskom periodu. Također velike probleme predstavlja izloženost opreme neodgovornom djelovanju pojedinaca (vandalizam) te prirodnim uvjetima (oluje, divlje životinje i sl.). Probleme mogu također stvoriti i nestandardizirane metode mjerenja erozije rezultate kojih je onda kasnije teško međusobno uspoređivati.

Mjerenje iznosa denudacije u ovom radu je načinjeno uz pomoć metode profilometara i metoda terestričke fotogrametrije (analogne i digitalne) te su u nastavku te metode i detaljnije opisane. Cilj navedenih mjerenja je bilo dobivanje prosječnog iznosa uzmicanja bokova brazdi u određenom istraživačkom periodu. Ovaj opisni termin "uzmicanje bokova brazdi" se koristi kako bi se naglasilo da intenzivna denudacija koje se događa na ogolinama nije samo posljedica erozije već i pokreta masa što ovisi o nagibu, odnosno tipu, ogolina (7.6.1 i 7.6.3).

Od ostalih metoda koje nisu korištene navedene su i kratko opisane samo one najkorištenije u praksi.

5.2.3.1 Mjerenje razlike u težini

Ova tehnika mjerenja erozije se bazira na razlikama u težini nekog proučavanog spremnika tla prije i nakon nekog erozijskog događaja. Na taj način su se najčešće proučavali procesi odvajanja i transporta posredstvom kišnih kapi (Toy i dr., 2002). Općenito za ovu tehniku mjerenja se može reći da koristi male uzorke tla, tj. uzorke veličinom pogodne za vaganje te da se koristi u pravilu pri agronomskim mjerenjima gubitka tla erozijom.

5.2.3.2 Mjerenje promjena u razini površine terena

Ova vrst tehnike mjerenja se bazira na pretpostavci da denudacija i taloženje tla ili stijene posredstvom vode uvjetuje promjenu u razini površine terena. Prema tome mjerenjem razine terena na jednom mjestu dva puta u određenom vremenskom periodu se dobiva iznos denudacije ili taloženja na toj točki. U slučaju da se mjerenja odvijaju duž pravca ili mreže i to na donekle pravilnim razmacima dobiva se linearni ili površinski iznos denudacije ili taloženja na određenom dijelu terena. Na opisanom principu razvijeni su mnogi jednostavni i komplicirani uređaji i tehnike mjerenja od kojih su neki opisani u nastavku.

5.2.3.2.1 Erozijski klinovi

Ovakvi jednostavni uređaji se koriste u svijetu već dugi niz godina što dokazuje i rad Haiga koji je još 1977. godine dao pregled istraživanja uporabe erozijskih klinova u izučavanju evolucije padina. Primjena ovakvih jednostavnih uređaja nije komplicirana i sastoji se od utiskivanja ili zabijanja klina u tlo ili stijenu. Referentnu razinu mjerenja u ovom slučaju

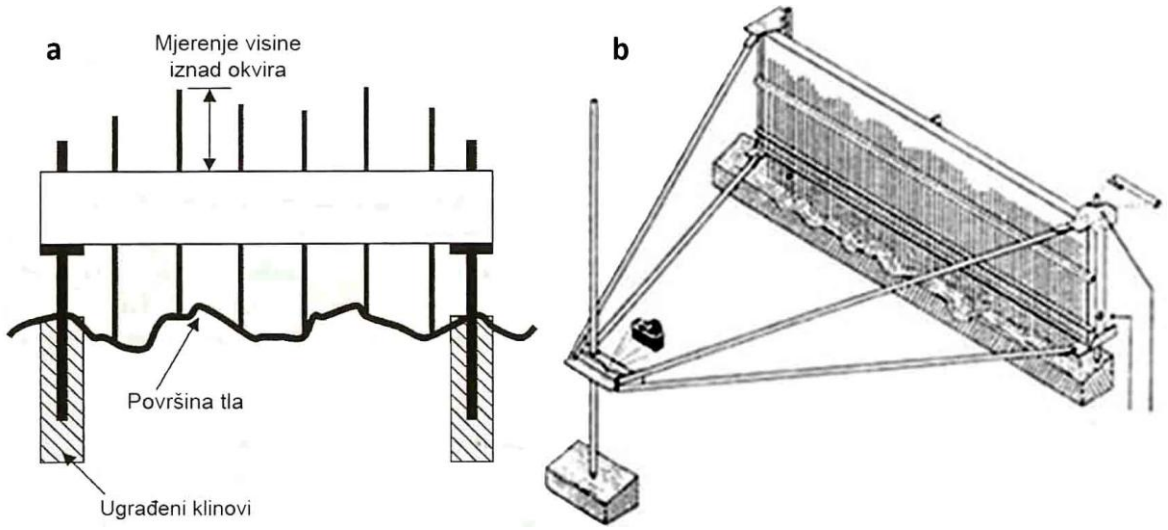
predstavlja vrh klina koji mora ostati na istoj poziciji u prostoru tijekom cijelog vremena istraživanja.

Mjerenje erozije klinovima predstavlja u pogledu troškova jako prihvatljivu tehniku zbog čega se i danas vrlo široko koristi u svijetu. Iako jako raširena ova metoda posjeduje i vrlo ozbiljne nedostatke koji uvjetuju i određenu grešku. Naime prilikom utiskivanja klina u tlo ili stijenu dolazi do poremećaja prirodnog stanja materijala upravo na mjestu gdje se denudacija ili taloženje mjere. Tako se na primjer u slučaju postavljanja klina u sredinu brazde može desiti povećanje brzine površinskog toka u okolini klina čime se erozivnost toka povećava. To dovodi do zaključka da će iznos erozije na mjestu mjerenja biti veći nego što bi on bio da nema klina. Na žalost, nemoguće je odrediti za svaki pojedini postavljeni klin koliki je njegov utjecaj na eroziju pa se prema tome vrijednosti ne mogu normalizirati. Također mjerenja izvršena u prva tri mjeseca od postavljanja klinova mogu biti upitna posebno ako se klinovi postavljaju u mekše materijale gdje je potebno određeno vrijeme da se klinovi stabiliziraju (Benito i dr., 1992). Takvi materijali ako sadrže smektite mogu biti podložni stalnim ekspanzijama i kontrakcijama što onda opet dovodi do greške u mjerenju (Wainwright i Brazier, 2011).

Na kraju treba istaknuti da se erozijski klinovi vrlo često postavljaju na mjestima gdje postoji mjerljiv iznos denudacije što može dovesti do velike greške prilikom ekstrapoliranja takvih podataka na veća područja.

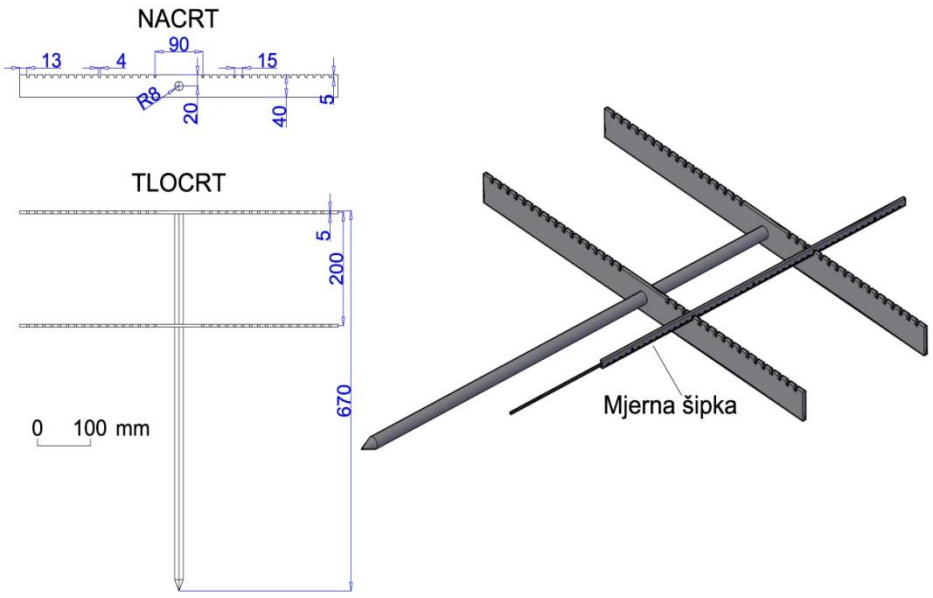
5.2.3.2.2 Profilometri

Ova tehnika mjerenja predstavlja poboljšanje u odnosu na prethodno opisanu tehniku klinova. Kao što je vidljivo na slici (Slika 49a) mjesta na kojima se mjeri promjena razine terena su udaljena od klinova na kojima leži most te se na taj način izbjegava utjecaj klinova na iznos denudacije ili taloženja. Postoje različite izvedbe profilometara kao što se vidi na slici (Slika 49b), a primjena mjernog instrumenta je također ustaljena već dugi niz godina (Hudson, 1964).



Slika 49 – a) Profilometar na principu mosta (Toy, i dr., 2002); b) Profilometar s fotoaparatom (McCool i dr., 1981)

Profilometri su vrlo jednostavni uređaji koji imaju nisku cijenu koštanja što predstavlja njihovu glavnu prednost. U svijetu se koriste različiti tipovi profilometara (Hudson,1993; Ramirez, 1988; McCool i dr., 1981) dok se za potrebe ovog rada koristio profilometar kućne izrade koji se sastojao od dva nazubljena, izdužena i plosnata željezna elementa koja su u središnjem dijelu povezana željeznim klinom. Kosa projekcija i dimenzije opisanog uređaja se mogu vidjeti na slijedećoj slici (Slika 50).



Slika 50 - Profilometar

Postavljanje navedenih profilometara na terenu predstavljalo je poseban izazov jer su oni uočljivi i iz velike udaljenosti što ih čini vrlo izloženima destruktivnom djelovanju vandala. Tako su na primjer na jednoj od mjernih lokacija (Šterna) uništeni svi postavljeni profilometri

već u prvoj godini istraživanja. Da bi se njihovo uništavanje pokušalo izbjeći profilometri su, ako je bilo moguće, postavljani na nedostupna mjesta i to pomoću alpinističke opreme (Slika 51). Oni su poslužiti samo kao kontrola glavnoj metodi mjerenja iznosa erozije – terestričkoj fotogrametriji.

Slika 51 - Postavljanje i mjerenje nultog profila pomoću profilometara na ogolini Boljun

Tako su prva mjerenja pomoću profilometara na sve četiri istraživane lokacije obavljena sredinom svibnja 2008. godine, dok je na ogolini Boljun završno mjerenje bilo u prosincu 2010. godine, a na ogolinama Sv. Donat i Botonega u siječnju 2011. godine. Završno mjerenje na ogolini Šterna nije bilo moguće provesti jer su profilometri, kao što je već navedeno, bili uništeni tijekom prve godine istraživanja.

Mjerenje iznosa erozije pomoću profilometara su obavljana pomoću mjerne šipke slične onoj prikazanoj na slici (Slika 50). Izvršena su dva mjerenja u razmaku od otprilike dvije

i pol godine. Iz tih mjerenja bilo je moguće dobiti srednji godišnji iznos erozije za tri istraživane lokacije: Sv. Donat, Botonega i Boljun.

5.2.3.2.3 Fotogrametrijske metode

Fotogrametrija je metoda mjerenja pomoću koje se, na osnovi fotogrametrijskih mjernih snimki – fotograma, dobiva oblik, dimenzija i položaj snimanog objekta (Kraus, 2006). Ona podrazumijeva fotografiranje površine terena na kojoj se istražuje denudacija ili taloženje pri čemu se iz stereoparova fotogrametrijskih snimki dobiva mikrotopografija snimljene površine. Kao rezultat moguće je dobiti trodimenzionalnu površinu terena koja će biti to vjerniji prikaz prirodnog stanja neke površine što je veća gustoća točaka određenih iz fotogrametrijskog stereopara snimaka. Postoje dvije vrste fotogrametrijskih metoda:

- Aerofotogrametrija – snimanja se obavlja iz zraka (najčešće iz aviona);
- Terestrička fotogrametrija – snimanje se obavlja sa zemlje.

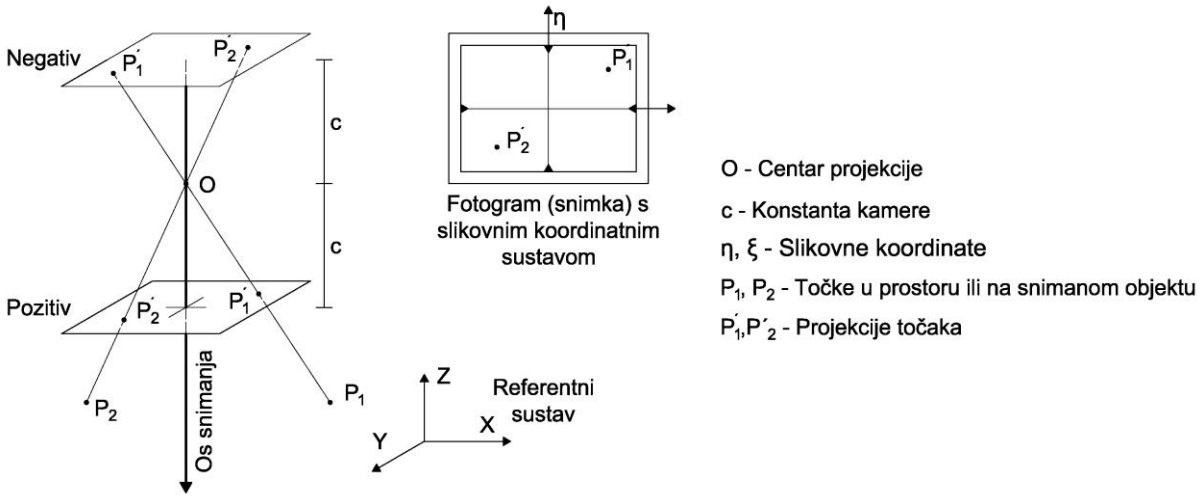
Kao metoda poznata je još od 1851. godine kada A. Laussedat, koji se smatra ocem fotogrametrije, koristeći metodu švicarskog matematičara J.H.Lamberta (Freye Perspective, Zürich, 1759), iz dvije fotografije rekonstruirao snimljeni objekt. Iako se fotogrametrija u istraživanju procesa denudacije koristi puno kraće vrijeme od prethodno navedenih metoda, u literaturi je moguće pronaći cijeli niz radova vezanih uz fotogrametrijska mjerenja evolucije denudacijskih procesa (Welch i dr., 1983; Thomas i dr, 1986; Sneddon i dr., 1988; Jurak i dr., 2002; Ries i Marzolff, 2003).

Iako metoda nije predmet izučavanja u ovom radu, ipak će ovdje biti detaljnije objašnjena. Cilj takve nakane je izrada preporuka kojima bi se moglo na jednostavan način odrediti prikladnost fotogrametrijskih metoda u budućim inženjerskogeološkim istraživanjima sličnih pojava. Zato su u nastavku objašnjene osnovne teorijske postavke fotogrametrije te je prikazan način izračunavanja **unutarnje pogreške** fotogrametrijskih mjerenja i to u **normalom slučaju**.

<u>Centralna projekcija</u>

Da bi se mogao rekonstruirati položaj i oblik objekata sa snimke (fotograma), moraju se poznavati geometrijske zakonitosti na temelju kojih nastaju fotografije. Snimke nastale fotografiranjem mogu se smatrati centralnim projekcijama snimanih prostornih objekata.

Jednostavan primjer centralne projekcije prostornih točaka P1 i P2 prikazan je na slici (Slika 52). Projekcija prostornih točaka na negativ koji se nalazi u fotoaparatu se događa tako da zrake svjetlosti od prostornih točaka P1 i P2 prolaze kroz objektiv (leću) fotoaparata i ostavljaju trag na negativu, razvijanjem kojega kasnije nastaje pozitiv. Mjerne kamere koje se koriste pri fotogrametrijskim izmjerama imaju definiran unutrašnji koordinatni sustav osi kojega su ξ i η. Važan element unutrašnjeg koordinatnog sustava predstavlja konstanta kamere c, koju možemo definirati kao udaljenost centra projekcije do negativa odnosno pozitiva.

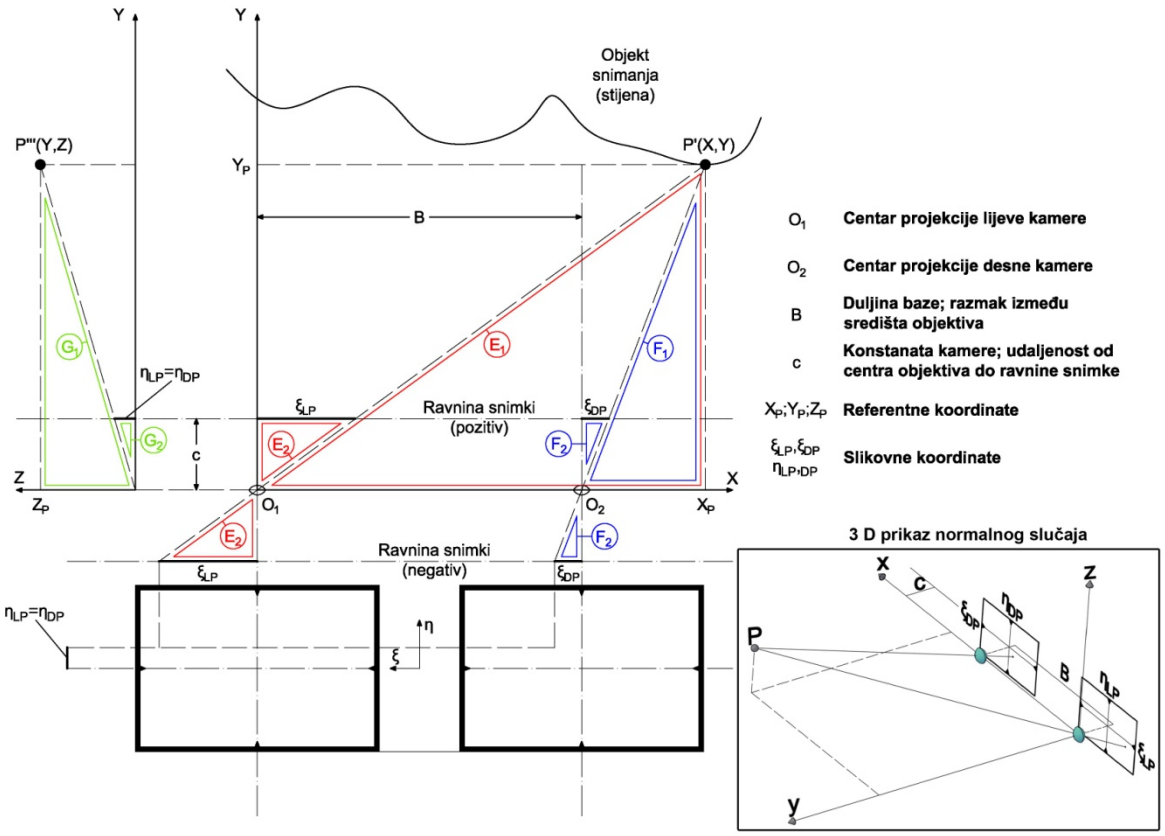


Slika 52 - Shematski prikaz centralne projekcije s prikazom vanjskog i unutarnjeg koordinatnog sustava (Kraus, 2006)

Cilj fotogrametrije, kao što je već u uvodnoj rečenici ovog poglavlja naglašeno, je dobivanje prostornih koordinata iz fotograma, tj. fotografija (snimki). Da bi to bilo ostvarivo potrebno je definirati (uspostaviti) vanjski koordinatni sustav (XYZ) te njegovu matematičku vezu s unutrašnjim koordinatnim sustavom (ξη). Jednadžbe koje opisuju navedenu matematičku vezu dvaju koordinatnih sustava, kada se snimke ne nalaze u istoj ravnini, a osi snimanja nisu međusobno paralelne, su prilično komplicirane i ovdje se neće ulaziti u njihovoobjašnjenje. Kada su gornji uvjeti zadovoljeni (snimke u istoj ravnini, osi snimanja paralelne) tada govorimo o normalnom, najjednostavnijem, slučaju stereorestitucije. U praksi se ta metoda rijetko koristi za izmjeru, no vrlo često biva korištena za procjenu greške pri fotogrametrijskom snimanju. Tako je u nastavku objašnjen normalan slučaj stereorestitucije te je preko njega prikazano računanje unutarnje greške.

Normalan slučaj stereorestitucije i računanje unutarnje pogreške

Normalan slučaj stereorestitucije je specijalan slučaj fotogrametrijskog snimanja kod kojega su osi snimanja međusobno paralelne, a snimke se nalaze u istoj ravnini. Također treba naglasiti da se u jednadžbama i izvodima prikazanim u nastavku leća smatra apsolutno savršenom. Slika (Slika 53) prikazuje vezu između prostornih (XYZ) i slikovnih (ξηc) koordinata.



Slika 53 – Normalan slučaj stereorestitucije

Navedena veza između prostornih i slikovnih koordinata se uspostavlja preko sličnih trokuta pa je tako na slici (Slika 53) vidljivo da su trokuti narisani istim bojama međusobno slični. Iz toga je moguće izvući slijedeće matematičke odnose:

- Trokuti E_1 i E_2 $\quad \frac{X_P}{Y_P} = \frac{\xi_{LP}}{c}$ (1);
- Trokuti F_1 i F_2 $\quad \frac{X_P - \mathrm{B}}{Y_P} = \frac{\xi_{DP}}{c}$ (2);
- Trokuti G_1 i G_2 $\quad \frac{Z_P}{Y_P} = \frac{\eta_{DP}}{c} = \frac{\eta_{LP}}{c}$ (3).

Ako se jednadžbe (1) i (2) izjednače dobiva se sljedeći izraz:

$$Y_P = \frac{B \cdot c}{\xi_{LP} - \xi_{DP}} \quad (4).$$

Nazivnik na desnoj strani jednadžbe (4) se naziva **stereoskopska paralaksa** i označava se s p_ξ, a predstavlja razliku između slikovnih koordinata.

$$Y_P = \frac{B \cdot c}{p_\xi} \quad (5).$$

Parcijalnim deriviranjem jednadžbe (5) po Y_p i p_ξ te pretvaranjem dobivenih derivacija u srednju kvadratnu pogrešku (σ_{yp} i $\sigma_{p\xi}$) dobiva se sljedeća jednadžba:

$$\sigma_{Y_p} = \frac{B \cdot c}{(p_\xi)^2} \sigma_{P_\xi} \quad (6).$$

Daljnjim sređivanjem jednadžbe (6) može se dobiti njezin konačni oblik kojim se definira unutarnja greška normalnog slučaja, a ona glasi:

$$\sigma_{Y_p} = \frac{Y_P}{B} \cdot \frac{Y_P}{c} \cdot \sigma_{P_\xi} \quad (7).$$

U izrazu (7) omjer Y_p/B se naziva **bazisni omjer** (u jednadžbama (8) i (9) označen s m_b), a omjer Y_p/c je **nazivnik mjerila snimanja**. Slično se mogu izvesti jednadžbe za grešku po x i z osi vanjskog koordinatnog sustav:

$$\sigma_{X_p} = \sqrt{\left(\frac{\xi_1}{c} m_b \frac{Y_P}{B} \sigma_\xi\right)^2 + \left(m_b \cdot \sigma_\xi\right)^2} \quad (8).$$

$$\sigma_{Z_p} = \sqrt{\left(\frac{\eta_1}{c} m_b \frac{Y_P}{B} \sigma_\xi\right)^2 + \left(m_b \cdot \sigma_\eta\right)^2} \quad (9).$$

Iz svih navedenih jednadžbi moguće je izvesti slijedeće važne zaključke vezane za točnost fotogrametrijskih snimanja:

1) Ako promatramo ishodište unutarnjeg koordinatnog sustava greška po X i Z koordinati ovisi samo o mjerilu snimanja. Što je sitnije mjerilo snimanja (veći nazivnik mjerila snimanja m_b), tada je veća i srednja pogreška fotogrametrijski određene koordinate.
2) Ako promatramo koordinatu dubine (u ovom slučaju Y) uz konstantan bazisni omjer točnost snimanja ovisi samo o mjerilu snimanja;

3) Ako promatramo koordinatu dubine (u ovom slučaju Y) uz konstantno mjerilo snimanja točnost snimanja ovisi samo o tome da li je bazisni omjer veći ili manji od 1. Ako je veći od 1 tada se i greška povećava, a ako je manji od 1 greška se smanjuje.

Za računanje greške fotogrametrijskih snimaka važno je znati koja se greška ($\sigma_{P\xi}$) događa pri determinaciji koordinata unutarnjeg koordinatnog sustava. Ako se koristi metoda digitalne fotogrametrije onda se za grešku u praksi uzima veličina piksela. Greška pri analognom snimanju u fotogrametriji je deklarirana na mjernom uređaju.

Točnost mjerenja koja se dobivaju fotogrametrijskim metodama u pravilu dakle ovisi o metodi snimanja (analogna ili digitalna fotogrametrija), mjerilu snimanja te o bazisnom omjeru (udaljenosti između kamera). Naravno da na točnost fotogrametrijskih snimanja u praksi utječu i brojni drugi faktori kao što su na primjer nesavršenost leće, točnost uspostavljenog vanjskog koordinatnog sustava, razvedenost i razlučivost snimanog objekta itd. No, bez obzira na to zbog jednostavnosti se prilikom početka snimanja, a za procjenu točnosti, koristi metoda normalnog slučaja. Njome se vrlo brzo i uz relativno jednostavan račun dobiva red veličine greške čime se zapravo testira prihvatljivost dotične fotogrametrijske metode.

Fotogrametrijsko snimanje na području središnje Istre

Priprema lokacija (ogolina) za fotogrametrijska snimanja u okviru istraživanja vezanih za doktorsku disertaciju podrazumijevala je uspostavu čvrstih točaka koje se tijekom vremena nisu smjele pomicati. Ovaj preduvjet je vrlo važan kod fotogrametrijskih snimanja objekata koji se mijenjaju u vremenu i čije promjene upravo navedenim istraživačkim metodama želimo determinirati. To je postignuto zabijanjem 5 do 6 željeznih klinova na istraživani motiv te 3 klina koja su predstavljala bazu budućeg koordinatnog sustava. Relativne koordinate zabijenih klinova određene su pomoću totalne mjerne stanice "Leica TCR 705".

Kako bi se odredio iznos erozije na istraživanim lokacijama korištena su dva fotogrametrijska instrumenta:

- 1) Analogna mjerna kamera WILD P31;
- 2) Digitalne mjerne kamere FUJI FINEPIX S2Pro (6Mpix) i NIKON D90 (12Mpix).

Te dvije vrste kamera (analogna i digitalna) korištene su na tri načina. Analognom mjernom kamerom snimane su istraživačke parcele u sitnijem mjerilu (površina snimanja je iznosila od 95 do 175 m^2), dok su digitalnom mjernom kamerom istraživačke parcele snimane i u sitnijem (površina snimanja od 3.5 do 16 m^2) i u krupnijem mjerilu. Razlog tomu je niža preciznost snimanja koja se postiže digitalnim mjernim kamerama, a koju se željelo poboljšati upravo snimanjem u krupnijem mjerilu.

5.2.3.3 Skupljanje sedimenta s pokusnih parcela i slivova

Mjerenja u ovoj grupi metoda se baziraju na određivanju količine uhvaćenog nanosa u jedinici volumena erozionog agensa (vode). Pri tome se kod skupljanja nanosa s pokusnih parcela uglavnom prikuplja cjelokupna količina površinskog toka, a s njom i sav nanos nastao erozijom tijekom jednog kišnog događaja (projektiranje pokusnih parcela, njihove nedostatke i probleme vezane uz njihovo opsluživanje lijepo je sažeo Hudson, 1993). Metode kojima je polje interesa veća površina (sliv) se baziraju na skupljanju reprezentativnih uzoraka vode iz koncentriranih tokova (jaruga, potoka, rijeka), a naknadno se u prikupljenom uzorku mjeri koncentracija suspendiranog nanosa. Također postoje i metode kojima se određuje ukupna količina nanosa producirana sa slivnog područja i to pomoću nanosa prikupljenog u akumulacionim jezerima, u podnožjima retencija i sl. (McIntyre, 1993; Einsele i Hinderer, 1997; Lu i Higgitt, 2001; Romero-Díaz i dr., 2007; de Vente i Poesen, 2005; Faleh i dr., 2005).

5.3 METODE PROSTORNE ANALIZE (REGIONALNO MJERILO)

Prostorne analize prezentirane u ovom radu su izvršene pomoću ArcGIS Desktop 10 softvera. Pri tome su korišteni standardni alati kojima se iz digitalnog modela reljefa (DMR) izrađenog iz slojnica karte mjerila 1:25000, dobivaju osnovni geomorfološki parametri kao što su nagib terena te aspekt padina.

U radu je također prikazana analiza energije (vertikalne raščlanjenosti) reljefa za koju je u okviru ArcGIS softverskog paketa u Hrvatskom geološkom institutu napravljen poseban alat koji iz digitalnog modela terena izrađuje rastersku kartu (eng. *grid*), a vrijednost jedne ćelije tog rastera predstavlja razliku između najviše i najniže točke reljefa na površini terena

koju prekriva taj kvadratić. Dobivena rasterska karta se pretvara u točkasti *shape* iz kojeg se onda metodom interpolacije dobivaju izolinije istih razlika visina. Objašnjena metoda predstavlja digitalnu automatizaciju metode preporučene od strane Markovića (1983).

Izrada katastra ogolina te karte udjela ogoljelih površina na određenoj površini terena je detaljnije razrađena u okviru poglavlja 6.3.1 i 6.3.2. Od podloga u prostornim analizama korištene su topografska karta u mjerilu 1:2500, ortofoto karta u mjerilu 1:5000, te Osnovna geološka karta u mjerilu 1:100000.

6 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Kao što je u uvodu naznačeno istraživanja erozije i ostalih egzogenih procesa na području središnje Istre su podijeljena u tri grupe:

1) Istraživanja na uzorcima;
2) Istraživanja na razini izdanka;
3) Regionalna istraživanja.

Od rezultata istraživanja u ovom poglavlju prvo su predstavljene inženjerskogeološke jedinice (IG – jedinice) definirane na osnovu inženjerskogeološke prospekcije terena i geoloških, fizičkih te mehaničkih značajki dobivenih različitim terenskim i laboratorijskim testovima. Poglavlje 6.1, dakle, predstavlja kompilaciju regionalnih istraživanja i istraživanja na uzorcima, a IG jedinice definirane u njemu predstavljaju osnovu za većinu analiza načinjenih u okviru ovog rada.

Rezultati istraživanja s pokusnih parcela predstavljeni su u poglavlju 6.2. U poglavlju 6.3 je prikazan katastar ogoljelih površina te način njegovog dobivanja. Nakon katastra prikazana je karta udjela ogolina na istraživanom prostoru.

6.1 INŽENJERSKOGEOLOŠKE JEDINICE ISTRAŽIVANOG PROSTORA

Litologija i njezine fizičko-mehaničke značajke, tj. inženjerskogeološke značajke, u velikoj mjeri upravljaju mehanizmima i procesima nastanka i opstanka ogolina (Bryan i Harvey, 1985; Torri i Bryan, 1997; Bowyer-Bower Bryan, 1986; Lòpez-Bermùdez i Romero-Dìaz, 1989; Bouma i Imeson, 2000) stoga je u sklopu faze regionalnih istraživanja izvršena i inženjerskogeološka prospekcija terena. Njoj nije bio cilj produciranje geološke karte u određenom mjerilu, jer taj cilj zbog velike površine istraživanog prostora (487 km^2), limitiranih sredstava i kratkog vremenskog roka ne bi mogao biti dostignut, već je cilj te prospekcije bilo definiranje i opisivanje inženjerskogeoloških jedinica flišnog bazena središnje

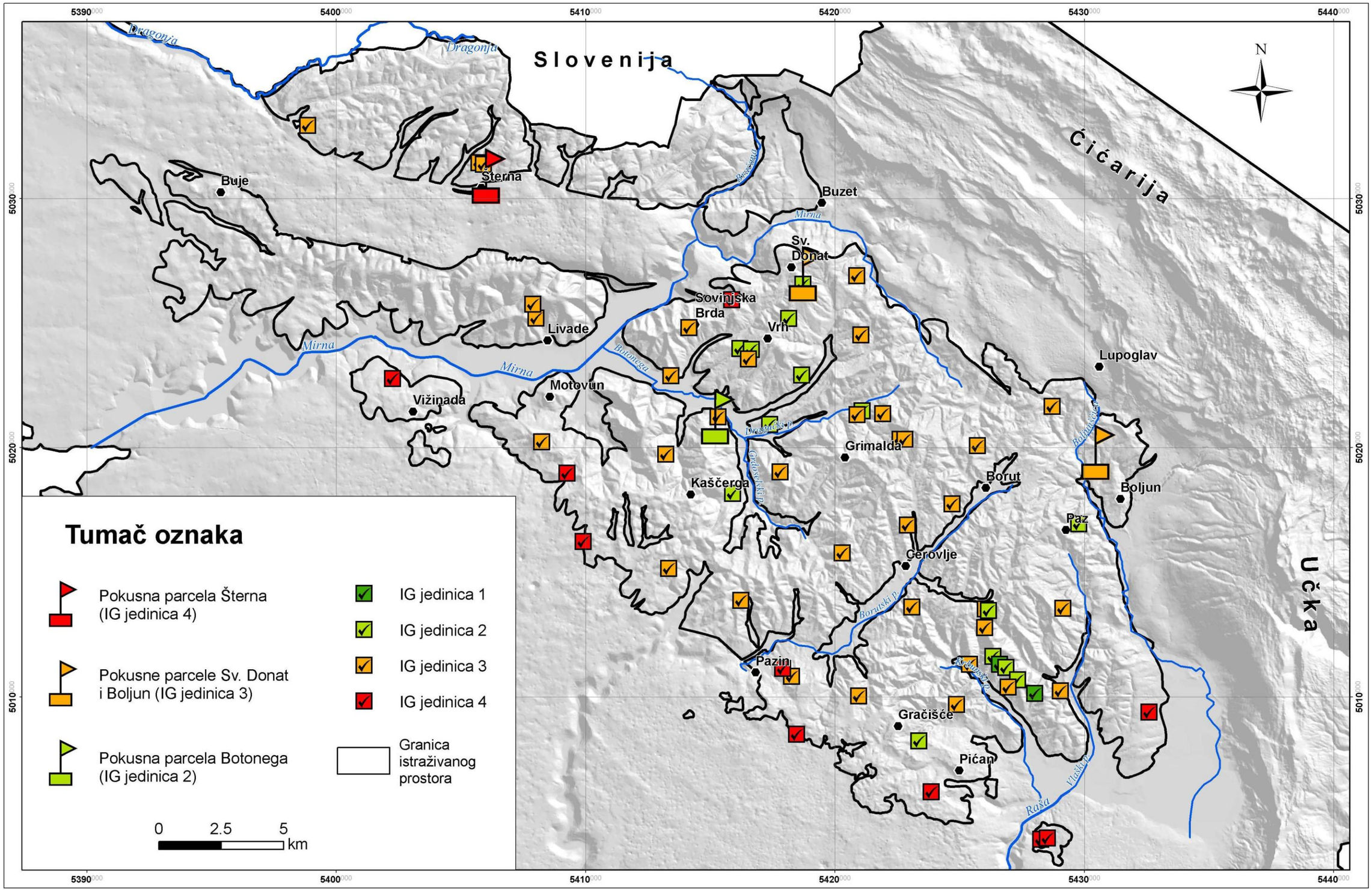
Istre temeljem postojećih geoloških podataka i ovih inženjerskogeoloških istraživanja. Također je tijekom pregleda terena uočena mogućnost definiranja različitih tipova ogolina te dominantnih procesa koji se događaju na pojedinom tipu ogolina u različitim inženjerskogeološkim (IG) jedinicama.

Detaljna mjerenja tijekom prospekcije terena na istraživanom području su obavljena na 66 točaka (Slika 54) pri čemu valja naglasiti da su na 4 lokacije (pokusni poligoni) mjerenja obavljena u većem opsegu i ona su predstavljena u poglavlju 6.2. Na terenskim točkama obavljene su standardne inženjerskogeološke radnje i to redom:

- Mjerenje orijentacije osnovnog strukturnog sklopa;
- Terenska determinacija vrste stijene;
- Određivanje Schmidtovog odskoka;
- Određivanje udjela kompetentnih i nekompetentnih litoloških članova;
- Uzorkovanje;
- Određivanje geološkog indeksa čvrstoće (GSI) prema Marinos i Hoeku (2001).

Prvi kriterij po kojemu su izdvojene IG jedinice je bio njihov litološki sastav, a onda i karakteristični skup egzogenih procesa primijećenih na određenoj IG jedinici. Tako su analizom podataka prikupljenih terenskom prospekcijom, pregledom dostupnih geoloških podloga i literature te usmenom konzultacijom s kolegama iz Geološkog zavoda Hrvatskog geološkog instituta (usmena konzultacija Bergant, 2012) definirane 4 IG jedinice:

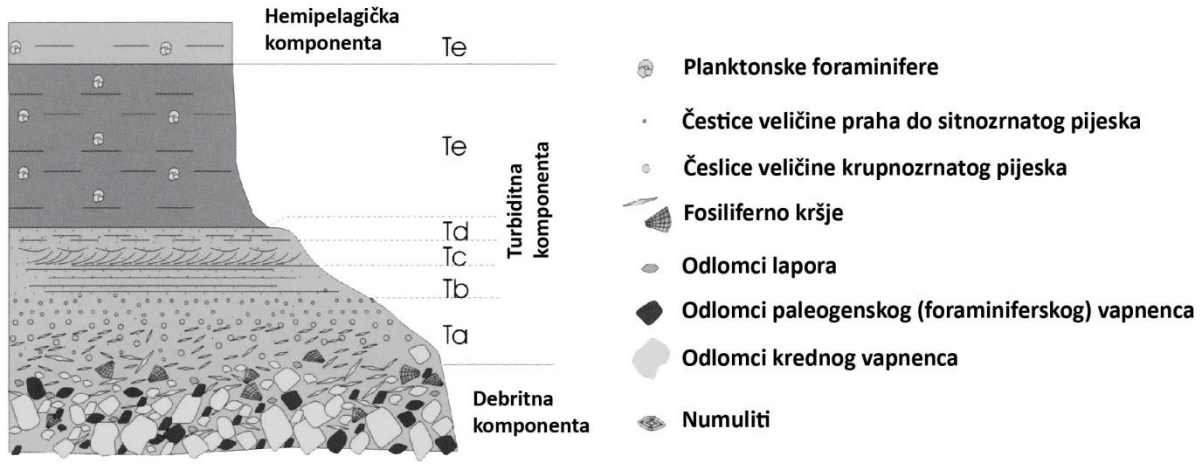
1) Kompetentnne jedinice Bauminih sekvencija - megaslojevi;
2) Nekompetentne karbonatne jedinice Bauminih sekvencija u krovini megaslojeva;
3) Izmjena siliciklastičnih i karbonatnih kompetentnih i nekompetentnih članova
4) Globigerinski lapori.



Slika 54 - Raspored terenskih točaka na istraživanom prostoru

6.1.1 Inženjerskogeološka jedinica 1

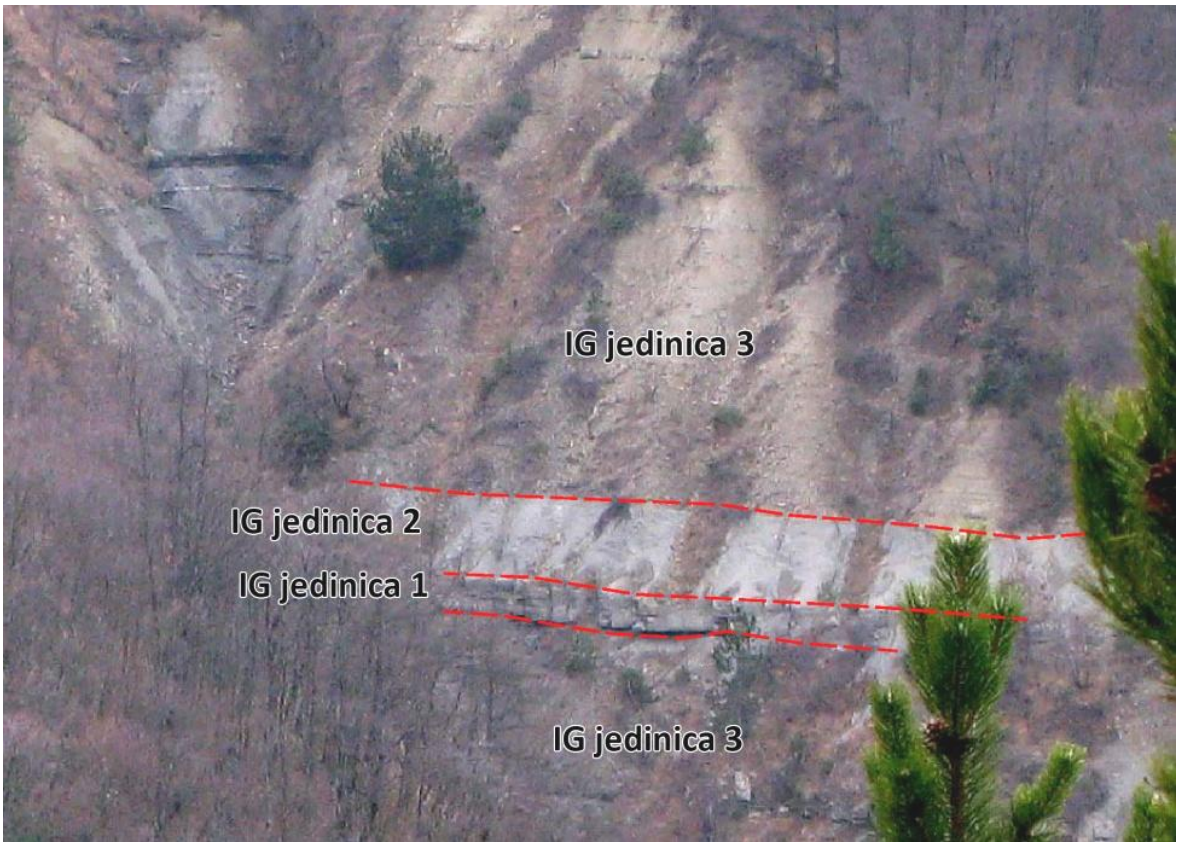
Već je naznačeno (4.3.2) da donji dijelovi flišnih naslaga mogu biti izgrađeni od karbonatnih megaslojeva ukupne debljine od jednog metara pa čak do desetak metara (primjerice područje u okolici Pićna). U prostoru se najčešće pojavljuju subhorizontalno i ponekad se trase ovih slojeva mogu pratiti na udaljenostima od nekoliko kilometara bez značajnijih promjena karakteristika. Njihovo prisustvo obično ukazuje da su u flišnim naslagama razvijene čitave Baumine sekvencije od Ta do Te. Mjestimice su u bazi slojeva prisutni debriti koji sugeriraju primarno taloženje iz debritnog toka koji se razvija u turbiditni (Slika 55).



Slika 55 – Karbonatni megasloj unutar flišne serije naslaga (Bergant i dr., 2003)

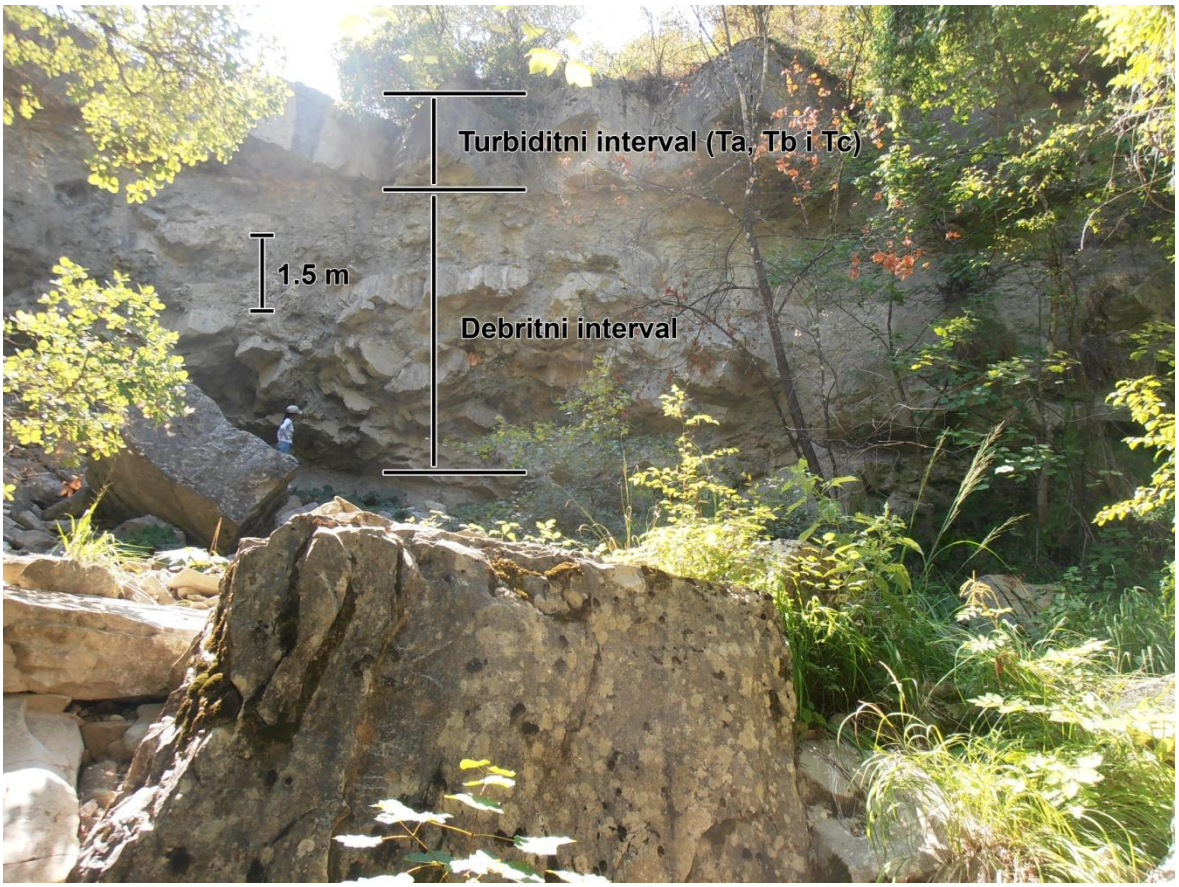
Na području lista Labin Osnovne geološke karte ova sekvencija se u geološkom stupu ponavlja do 9 puta (Šikić i Polšak, 1973), dok se na području lista Rovinj ponavlja 3 puta (Polšak i Šikić, 1973). Kompetentni dijelovi ovakvih karakterističnih naslaga su (IG jedinica 1) breče, konglomerati, kalkareniti i siltiti. Oni su idući prema centru Istarskog bazena sve tanji i vrlo često isklinjavaju (Šikić i Polšak, 1973).

Slika (Slika 56) prikazuje odnos karbonatnih megaslojeva (IG jedinica 1 i 2) te siliciklastične i karbonatne izmjene kompetentnih i nekompetentnih članova (IG jedinica 3) na terenu.



Slika 56 – Odnos IG jedinice 1, 2 i 3 (lokacija – 1.5 km istočno od Grimalde)

IG jedinica 1 se dakele sastoji od kompetentnih (postojanih, slabo erodibilnih i čvrstih) dijelova Bauminih sekvencija - megaslojeva (debritni dio i Ta, Tb, Tc intervali – Slika 55) koji mogu biti izgrađeni od konglomerata, foraminiferskih breča i arenita (Bergant i dr., 2003). Kada donji dio ove IG jedinice ima karakteristike debrita tada sadrži nesortirane vapnenačke blokove kredne i donje eocenske starosti veličine od 20 do 30 cm te odlomke lapora (Slika 57). Sastav Ta Baumine sekvence je vrlo sličan sastavu debrita (odlomci vapnenca kredne i eocenske starosti, te mjestimični ulomci lapora), a razlikuju se jedino u veličini klasta i izraženoj sortiranosti. Iz navedenog se može zaključiti da kompetentne dijelove karbonatnih megaslojeva karakterizira postupna gradacija veličine klasta idući od njihove baze (krupnozrnati dijelovi) prema mlađim dijelovima (siltiti). Debljina im varira od 1 metra do desetak metara (u blizini Pićna).

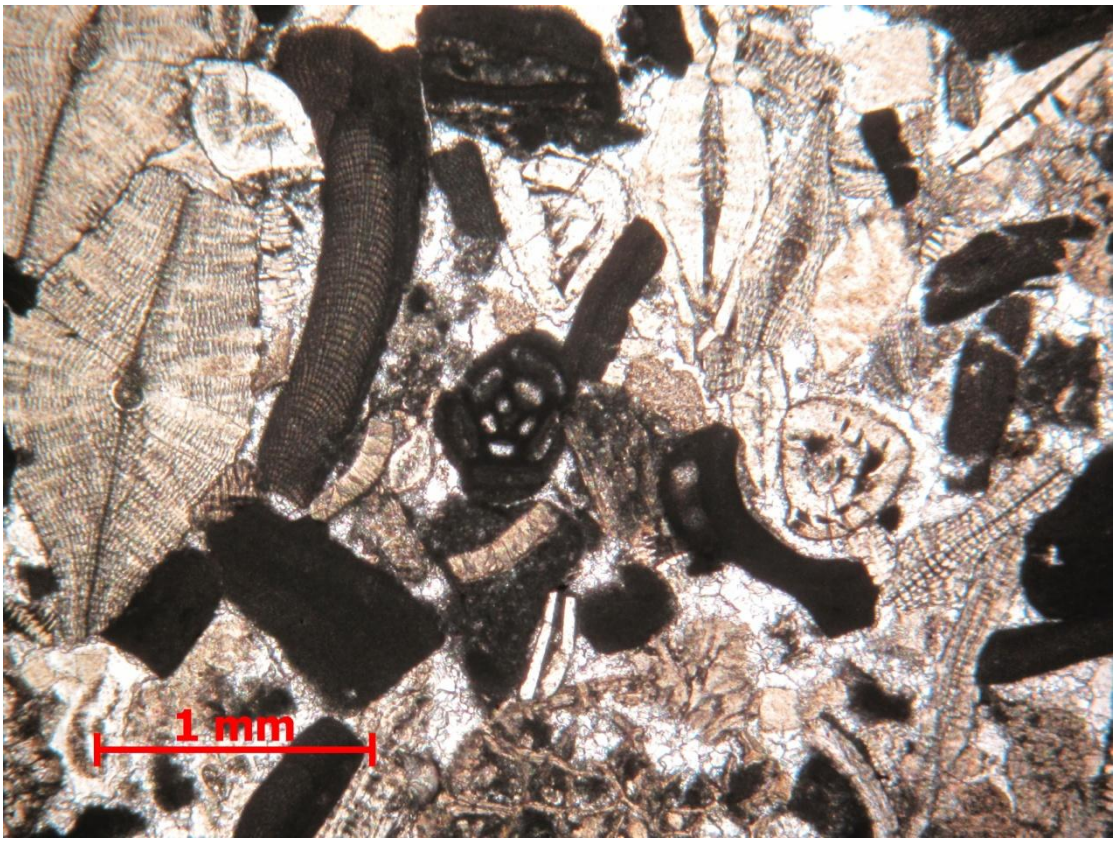


Slika 57 – Izdanak IG jedinice 1 s razvijenim i debritnim i turbiditnim intervalom (lokacija 1 km istočno od Grimalde)

Mikropetrografske karakteristike naprimjer foraminiferskih breča Ta intervala su dobro sortiran, gusto zbijeni fosilni detritus kojeg sačinjavaju skeleti i bioklasti bentosnih foraminifera (numuliti i diskocikline), briozoa i bodljikaša, te nepravilne nakupine algi koralinacea fragmenata veličine od 2-20 mm. Nešto manje ima vapnenačkog detritusa tj. litoklasta ranije konsolidiranih vapnenaca strukturnog tipa mikrita, biomikrita, biopelmikrita, a rjeđi je bistri kristalinični kalcit kao cement. Vezivo je oskudno budući da su fragmenti jako zbijeni. Između fragmenata se ponekad uočavaju stilolitski šavovi. Fragmenti biomikrita sadrže pučinsku faunu i mjestimično imaju gnijezda sparitnog kalcita. Vapnenački fragmenti vjerojatno pripadaju paleogenskim i krednim vapnencima. Vezivo je mikrosparitno do sparitno. Akcesorno se pojavljuje siliciklastični detritus koji je predstavljen uglavnom zrnima kvarca i rožnjaka arenitskih dimenzija. Vrlo rijetko se pojavljuju zrna glaukonita, listići klorita i muskovita. Količina kalcij karbonata je iznad 95%.

U intervalima Tb, Tc i Td smanjuje se veličina zrna u odnosu na Ta interval, dok se u sastavu smanjuje udio bioklasta i karbonatnih litoklasta, a povećava udio siliciklastične komponente i pelagičkog materijala.

Stijena je determinirana kao foraminiferski (numulitno-diskociklinski) biokalkrudit (Slika 58) ako su klasti veći od 2mm, a ako su klasti manji od 2mm onda je determinirana kao biokalkarenit.



Slika 58 - Gusto zbijeni, dobro sortirani biokalkrudit (kolokvijalni naziv "foraminiferska mikrobreča")

Čvrstoća im je određena Schmidtovim odskokom uz pomoć korelacijske krivulje preporučene od strane proizvođača korištenog uređaja (Proceq, 2008), a iznosi 40 MPa. No njihova najvažnija značajka koja ih jako razlikuje od pelitnih slojeva u gornjim dijelovima sekvencije (IG – jedinica 2) te od izmjene siliciklastičnih i karbonatnih kompetentnih i nekompetentnih članova u podini (IG – jedinica 3), je visoka postojanost i niska erodibilnost. Iz tog razloga njihove gornje slojne plohe predstavljaju erozione baze na koje se vrlo često nailazi u dnu jaruga.

Udio ove IG jedinice u ukupnom paketu flišnih naslaga središnje Istre nije velik, no njihov utjecaj na egzogene procese izučavane u okviru ovog rada je vrlo izražen. Zbog te činjenice nužno ih je izdvojiti kao zasebnu IG jedinicu. Jedan od važnijih utjecaja ove IG jedinice na egzogene procese se očituje u formiranju energetske stepenice (*eng. cuesta*) koja po definiciji nastaje na mjestima kontakta dva po postojanosti i erodibilnosti kontrastna

člana. Ova pojava je vrlo česta na istraživanom području, jako utječe na razvoj reljefa i egzogene procese značajne za područje središnje Istre, te je kao takva detaljnije objašnjena u poglavlju 7.4.1.2.

6.1.2 Inženjerskogeološka jedinica 2

IG jedinica 2 predstavlja gornji, nekompetentni dio Bauminih sekvencija, tj. ona predstavja krovinu IG jedinice 1 (megaslojevi). U odnosu na IG jedinicu 1 označena je nižom postojanošću, višom erodibilnošću i nižom čvrstoćom (to mogu biti Tc, Td i Te intervali Baumine sekvencije). Ova IG jedinica se litološki svrstava u pelitne sedimente (Slika 59) koji, slično kao i donji dijelovi Baumine sekvencije, genetski mogu biti dvojaki. Tako donji dijelovi jedinice mogu odražavati taloženje najsitnijeg sedimenta iz turbiditne sekvenicje ili mogu biti taloženi normalnom bazenskom sedimentacijom. Debljina jedinice se kreće od 1 m do nekoliko desetaka metara.

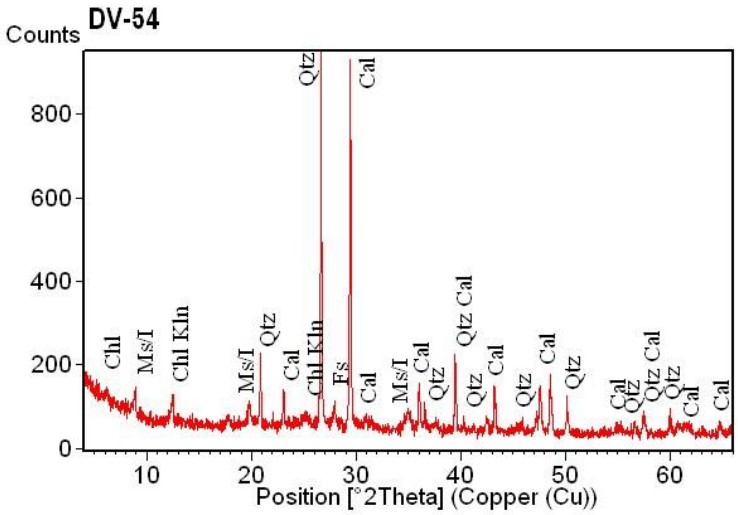
Slika 59 - Izdanak IG jedinice 2 (lokacija - Vrh)

Mineralnim sastavom IG jedinice 2 dominira kalcit što je dokazano kalcimetrijom i rendgenskom difrakcijom. Kalcimetrija 11 uzoraka ove jedinice pokazuje da je prosječni udio kalcita dobiven ovom metodom iznosi 66.4 %. Rezultati osnovne statističke analize udjela kalcita dobivenog metodom kalcimetrije prikazani su u tabeli (Tabela 6).

Tabela 6 – Osnovna statistička analiza udjela kalcita u IG jedinici 2

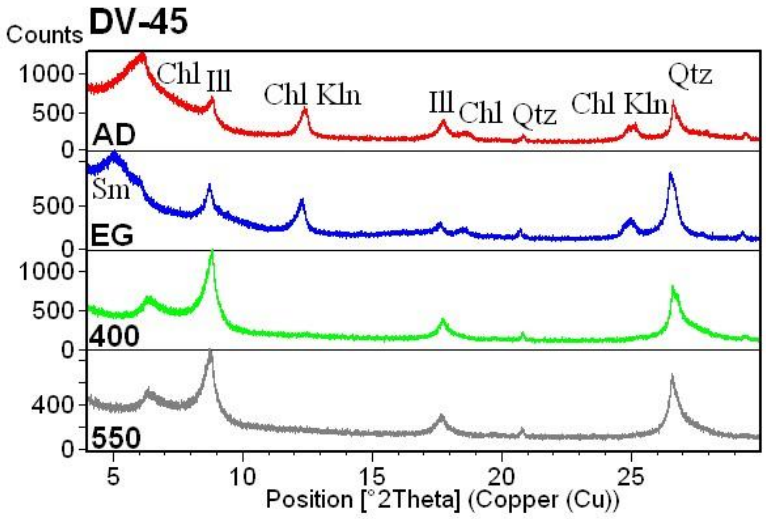
Prosječni udio kalcita [%]	66.4
Standardna devijacija	7.4
Raspon	27.4
Minimum	51.5
Maksimum	78.9
Broj uzoraka	11
Razina pouzdanosti (95 %)	5.0

Visoki udio kalcita potvrđen je rendgenskom difrakcijom na praškastom uzorku (Slika 60), a po iznosu udjela sljedeći mineral u ovoj IG jedinici je kvarc, a prisutno je i nešto gline.



Slika 60 – Rendgenogram uzorka DV-45 – IG jedinica 2

Na uzorku DV-45 koji reprezentira IG jedinicu 2 izvršena je identifikacija minerala glina na orijentiranim preparatima. Rezultate navedene analize prikazuje slika (Slika 61) na kojoj se uočava da od bujajućih minerala glina uzorak sadrži smektite, a od nebujajućih klorit, ilit i kaolinit.



Slika 61 – Rendgenogram orijentiranog uzorka DV-45 (IG jedinica 2)

Mehaničke značajke IG jedinice 2 određene su pomoću Schmidtovog čekića i to na 11 uzoraka. Rezultati osnovne statističke analize Schmidtovog odskoka prikazuje tabela (Tabela 7). Jednoosna tlačna čvrstoća dobivena iz korelacijske krivulje iznosi 30 MPa.

Tabela 7 – Osnovna statistička analiza Schmidtovog odskoka – IG jedinica 2

Prosječni Schmidtov odskok	41.4
Standardna devijacija	7.3
Raspon	26.3
Minimum	24.0
Maksimum	50.3
Broj uzoraka	11
Razina pouzdanosti (95 %)	4.9

Postojanost lapora IG jedinice 2 obzirom na fizičko trošenje određena je različitim metodama (5.1.2) ovisno o tome koji od procesa fizičkog trošenja se želio istražiti (smrzavanje i odmrzavanje, sušenje i vlaženje te grijanje i hlađenje). Rezultate osnovne statističke analize za svaku seriju testiranih uzoraka prikazuje tabela (Tabela 8).

Tabela 8 – Osnovna statistička analiza postojanosti lapora IG jedinice 2

Oznaka serije	3	4	5
Prosječna postojanost	5.099	0.042	1.929
Standardna devijacija	6.364	0.006	2.669
Raspon	19.641	0.017	6.610
Minimum	0.216	0.033	0.030
Maksimum	19.857	0.049	6.640
Broj uzoraka	11	11	11
Razina pouzdanosti (95 %)	4.275	0.004	1.793

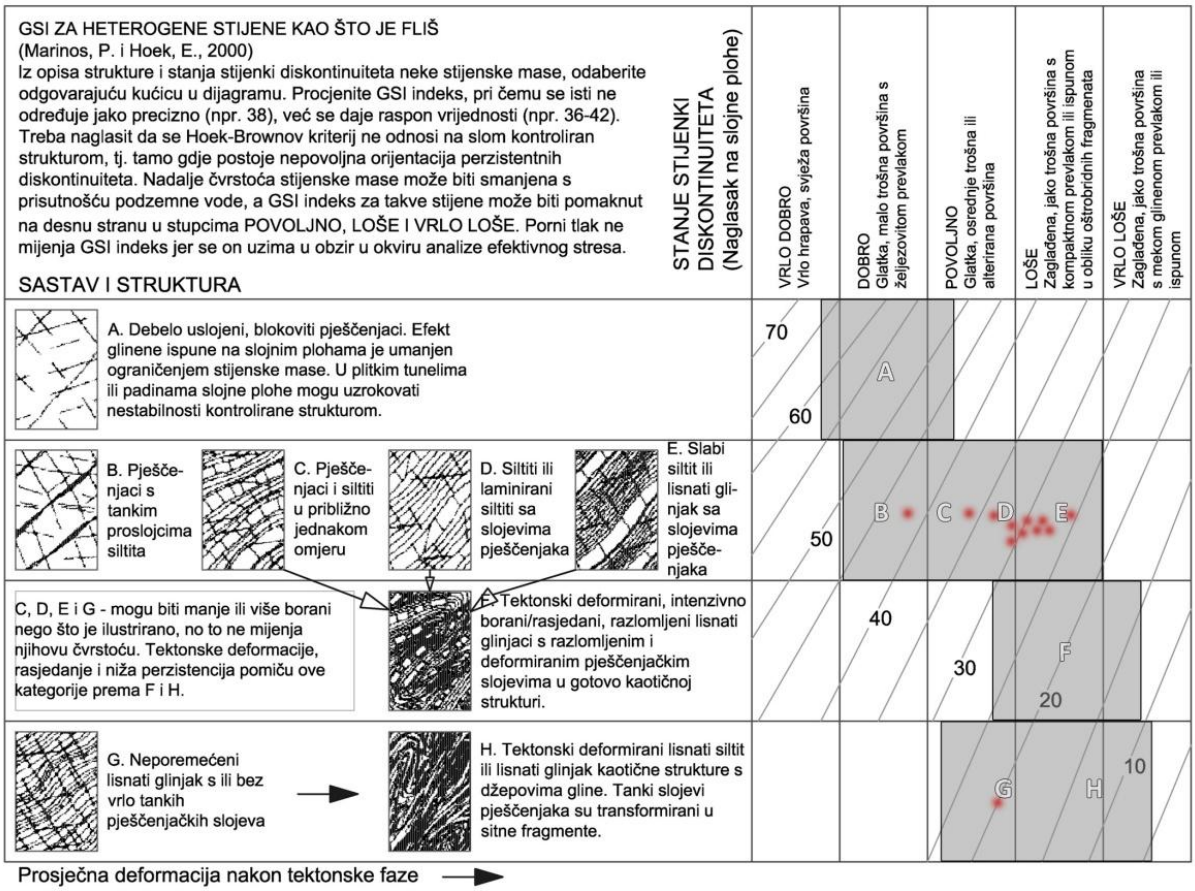
Indeks plastičnosti na usitnjenim uzorcima IG cjeline 2 određen je na 11 uzoraka. Prosječna vrijednost indeksa plastičnosti iznosi 12.0, a ostale parametre osnovne statističke analize prikazuje tabela (Tabela 9).

Tabela 9 – Osnovna statistička analiza indeksa plastičnosti lapora IG cjeline 2

Prosječni indeks plastičnosti	12.0
Standardna devijacija	5.6
Raspon	19.0
Minimum	9.1
Maksimum	28.1
Broj uzoraka	11
Razina pouzdanosti (95 %)	3.7

Inženjerskogeološka klasifikacija IG cjeline 2

Prilikom inženjerskogeološke prospekcije terena izvršena je inženjerskogeološka (IG) klasifikacija stijenske mase IG jedinice 2. IG klasifikacija je načinjena na 11 točaka prikazanih crvenim točkama na GSI dijagramu (Slika 62). Generalno se može reći da IG jedinica 2 ima GSI vrijednosti od 25 do 35, najčešće grupirane u području između D i E kategorije.



Slika 62 – GSI vrijednosti za IG jedinicu 2 (GSI dijagram prema Marinos i Hoek, 2001)

6.1.3 Inženjerskogeološka jedinica 3

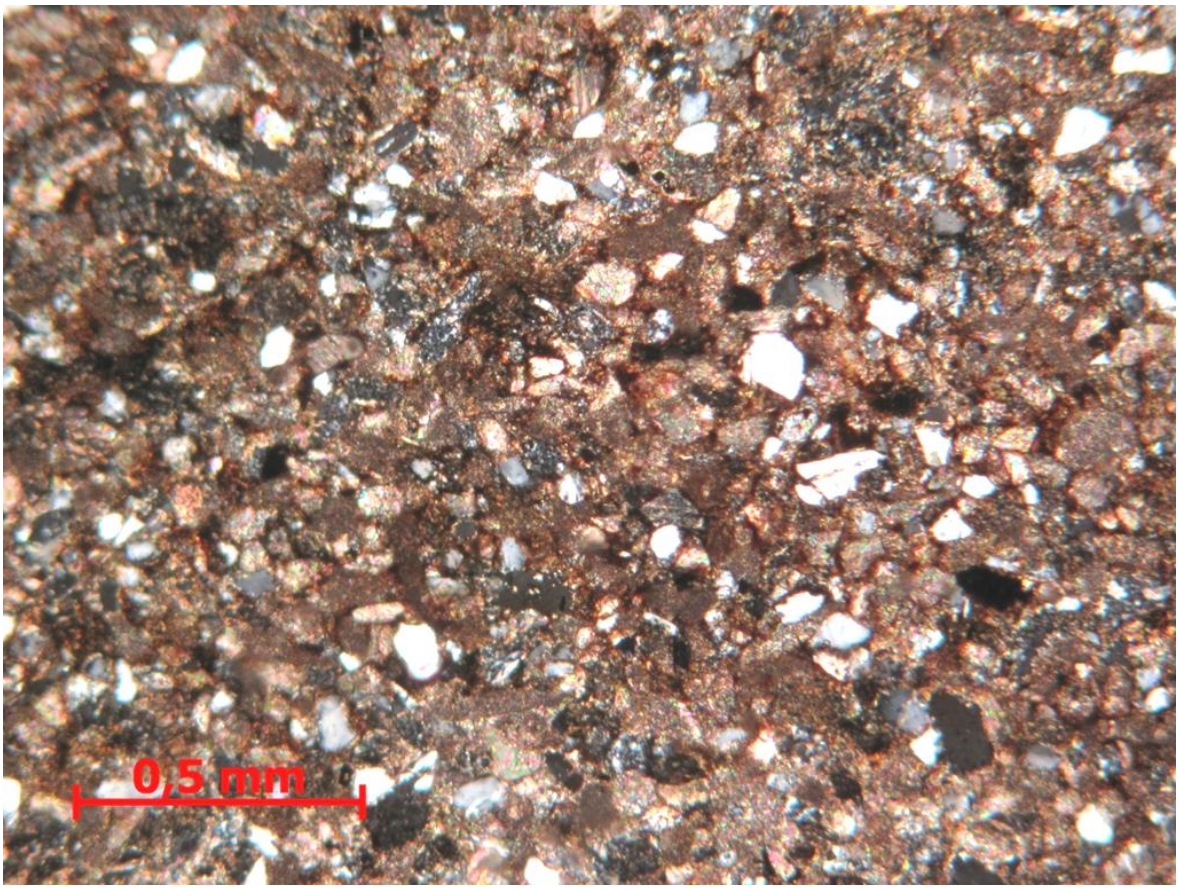
IG jedinicu 3 predstavlja izmjena siliciklastičnih i karbonatnih kompetentnih i nekompetentnih članova (Slika 63). Najčešći prostorni odnos karbonatnih megaslojeva (IG jedinica 1 i 2) i izmjene siliciklastičnih i karbonatnih kompetentnih i nekompetentnih članova (IG jedinica 3) prikazuje slika (Slika 56, str. 100). Prema stupu prikazanom na slici (Slika 36, str. 66) ova jedinica pripada gornjem dijelu flišnog kompleksa, no IG prospekcijom je ustanovljeno da se ova jedinica isto tako pojavljuje i u donjem dijelu. Ona je svakako češća i tanje uslojena u gornjem dijelu fliša. IG jedinica 3 se sastoji od tankih slojeva koji predstavljaju samo dijelove Boumine turbiditne serije i to Tb-e, Tc-e i Td-e (Bergant i dr., 2003). Debljina pješčenjačkih slojeva varira od 3-5 cm dok se debljina laporovitih slojeva kreće od 15-20 cm. IG jedinica 3 na istraživanom prostoru predstavlja najzastupljeniju jedinicu u geološkom stupu, zbog čega će se neke, u nastavku prikazane analize, odnositi isključivo na nju.

Slika 63 - Izdanak IG jedinice 3 (lokacija – 2.5 km jugozapadno od Lupoglava)

Kompetentni član IG jedinice 3

Ovi tipovi pješčenjaka variraju u omjerima siliciklastičnog, karbonatnog i fosilnog detritusa. Veličina zrna varira u rasponu od 0.04-2 mm, ali je glavnina veličine sitnozrnatog pijeska. Detritus je dobro sortiran i relativno gusto pakiran. Vezivo je oskudno, karbonatno, uglavnom mikrosparitno do sparitno.

Ovisno o udjelima siliciklastičnog, karbonatnog i fosilnog detritusa pješčenjaci se determiniraju kao kalklititi/litoareniti (Slika 64) ili kalkarenacejski pješčenjaci.



Slika 64 - Dobro sortirani kalklitit/litoareniti

Siliciklastični detritus je najvećim dijelom sačinjen od poluuglatih do uglatih zrna svježeg i bistrog monokristalnog kvarca. Uglavnom zrna imaju jednoliko potamnjenje, rjeđe undulozno (valovito). Od odlomaka stijena česti su kvarcit i mikrokristalasti kvarc-rožnjak. Vapnenački detritus čine poluzaobljeni odlomci mikritnih stijena i fragmenti bistrog kristaliničnog kalcita. Nešto manje su zastupljena angularna zrna plagioklasa s uskim polisintetskim sraslačkim lamelama (kiseli plagioklas - oligoklas), te mikroklin s karakterističnom rešetkastom strukturom. Listićavi minerali su zastupljeni muskovitom, biotitom i kloritom. Glaukonit se pojavljuje u obliku zaobljenih detritičnih zrna zelene boje najčešće unutar kućica planktonskih foraminifera. U unutrašnjosti ljuštura planktonskih foraminifra ponekad se nalazi i pirit i/ili limonit. Od akcesornih minerala u pješčenjacima se nalaze granat, cirkon, rutil i turmalin. Zrna cirkona i turmalina su poluzaobljena.

Fosilni detritus je rjeđi nego u prethodnim stijenama, a čine ga pretaloženi fragmenti bentosnih foraminifera i ljušturice planktonskih foraminifera.

Kalklititi/litoareniti u odnosu na kalkarenacejske pješčenjake se razlikuju u povećanom udjelu litičnih i siliciklastičnih čestica u odnosu na kalkarenacejske pješčenjake koji uz siliciklaste imaju i bioklasta. Ovi potonji (kalkarenacejski) pješčenjaci spadaju u tipične hibridne pješčenjake.

Čvrstoća kompetentnih članova IG jedinice 3 utvrđena je Schmidtovim čekićem i to na 6 uzoraka. Prosječni odskok iznosi 28.9, što odgovara jednoosnoj tlačnoj čvrstoći od 15 MPa. Ostale statističke parametre Schmidtovog odskoka prikazuje tabela (Tabela 10).

Tabela 10 - Osnovna statistička analiza Schmidtovog odskoka – kompetentni članovi IG jedinice 3

Prosječni Schmidtov odskok	28.9
Standardna devijacija	13.9
Raspon	32.3
Minimum	15.4
Maksimum	47.7
Broj uzoraka	6
Razina pouzdanosti (95 %)	14.6

Postojanost nekompetentnih članova IG jedinice 3 obzirom na fizičko trošenje određena je različitim metodama (5.1.2) ovisno o tome koji od procesa fizičkog trošenja se želio istražiti (smrzavanje i odmrzavanje, sušenje i vlaženje te grijanje i hlađenje). Rezultate osnovne statističke analize za svaku seriju testiranih uzoraka prikazuje tabela (Tabela 11).

Tabela 11 - Osnovna statistička analiza postojanosti kompetentnih članova IG jedinice 3

Oznaka serije	0	1	2	3
Prosječna postojanost	0.287	0.690	0.057	0.166
Standardna devijacija	0.035	0.818	0.052	0.066
Raspon	0.050	1.757	0.098	0.129
Minimum	0.262	0.097	0.019	0.109
Maksimum	0.312	1.854	0.116	0.238
Broj uzoraka	2	4	3	3
Razina pouzdanosti (95 %)	0.315	1.302	0.129	0.164

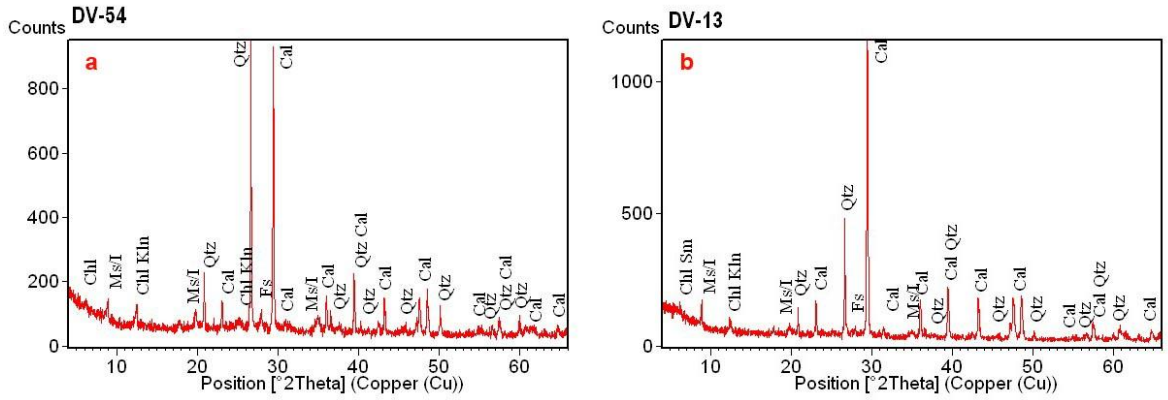
Nekompetentni član IG jedinice 3

Nekompetentni slojevi IG jedinice 3 litološki uglavnom pripadaju laporima koje karakterizira visok sadržaj kalcita. Ovu tvrdnju dokazuje kalcimetrija izvršena na 33 uzorka (Tabela 12). Prosječni udio kalcita dobiven kalcimetrijom iznosi 44.7 %.

Tabela 12 - Osnovna statistička analiza udjela kalcita u nekompetentnim članovima IG jedinice 3

Prosječni udio kalcita [%]	44.7
Standardna devijacija	7.4
Raspon	35.6
Minimum	23.4
Maksimum	59.0
Broj uzoraka	33
Razina pouzdanosti (95 %)	2.6

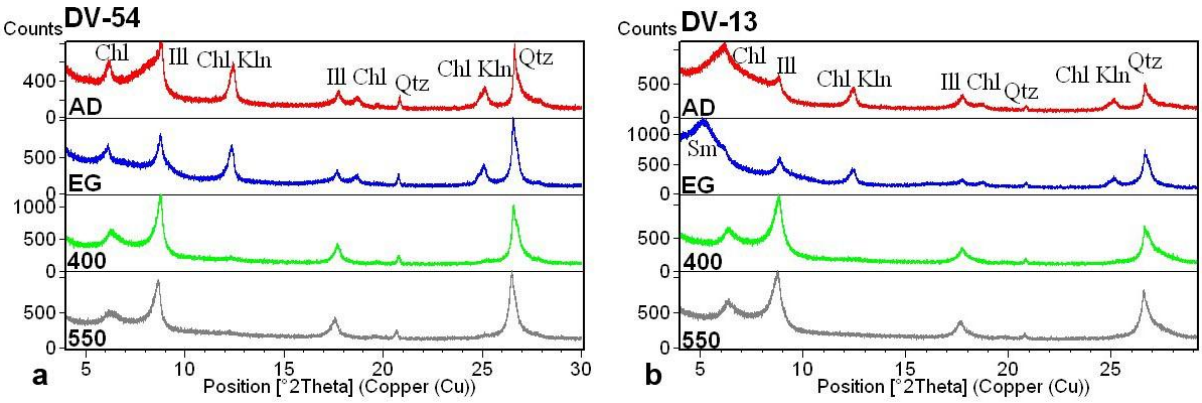
Mineral kvarc najčešće predstavlja drugu po važnosti mineralnu vrstu u nekompetentnom dijelu IG jedinice 3. Visok sadržaj kvarca dokazan je kvalitativnom rendgenskom analizom primjere kojih prikazuje slika (Slika 65). Za potrebe ovog rada izvršeno je 18 kvalitativnih rendgenskih analiza na nekompetentnim članovima IG jedinice 3.



Slika 65 - Rendgenogram uzoraka – a) DV-54 i b) DV-13 – IG jedinica 3

U tih 18 kvantitativnih rendgenskih analiza čest je slučaj bio, slično kao i na slici (Slika 65a), da kvarc ima izraženiji pik od kalcita što znači da u određenom broju uzoraka kvarc može biti glavni konstituirajući mineral nekompetentnih članova IG jedinice 3.

Najvažnije mineralne vrste u pogledu trošenja, a onda i ostalih u ovom radu izučavanih egzogenih procesa (erozija i pokreti masa), su svakako minerali glina koje ovi lapori sadrže. Pojavljuju se klorit, ilit, smektiti, vermikuliti te kaolinit, što je dokazano rendgenskom difrakcijom na orijentiranim uzorcima. Izvršeno je 8 analiza na orijentiranim uzorcima, a primjere tih analiza prikazuje slika (Slika 66).



Slika 66 - Rendgenogrami orijentiranih uzoraka – a) DV-54; b) DV-13 (nekompetentni članovi IG jedinice 3)

Od ostalih minerala koji svojim udjelom, a i utjecajem na egzogene procese, nisu toliko važni pojavljuju se feldspati i muskovit.

Mehaničke značajke nekompetentnih članova IG jedinice 3 određene su pomoću Schmidtovog čekića i to na 39 uzoraka. Rezultati osnovne statističke analize Schmidtovog odskoka prikazuje tabela (Tabela 13). Jednoosna tlačna čvrstoća iznosi 8.5 MPa.

Tabela 13 - Osnovna statistička analiza Schmidtovog odskoka – nekompetentni članovi IG jedinice 3

Prosječni Schmidtov odskok	21.4
Standardna devijacija	12.4
Raspon	41.8
Minimum	0.0
Maksimum	41.8
Broj uzoraka	39
Razina pouzdanosti (95 %)	4.0

Postojanost nekompetentnih članova IG jedinice 3 obzirom na fizičko trošenje određena je različitim metodama (5.1.2) ovisno o tome koji od procesa fizičkog trošenja se želio istražiti (smrzavanje i odmrzavanje, sušenje i vlaženje te grijanje i hlađenje). Rezultate osnovne statističke analize za svaku seriju testiranih uzoraka prikazuje tabela (Tabela 14).

Tabela 14 - Osnovna statistička analiza postojanosti nekompetentnih članova IG jedinice 3

Oznaka serije	0	1	2	3	4	5
Prosječna postojanost	15.811	10.424	7.129	28.077	0.050	11.104
Standardna devijacija	11.399	6.187	2.395	25.951	0.015	16.223
Raspon	24.319	27.650	8.092	82.227	0.060	78.159
Minimum	8.501	5.431	2.906	2.632	0.026	0.376
Maksimum	32.820	33.081	10.998	84.860	0.086	78.535
Broj uzoraka	4	24	8	25	27	28
Razina pouzdanosti (95 %)	18.138	2.613	2.002	10.712	0.006	6.291

Indeks plastičnosti na usitnjenim uzorcima nekompetentnih članova IG cjeline 3 određen je na 38 uzoraka. Prosječna vrijednost indeksa plastičnosti iznosi 13.3, a ostale parametre osnovne statističke analize prikazuje tabela (Tabela 9).

Tabela 15 - Osnovna statistička analiza indeksa plastičnosti nekompetentnih članova IG cjeline 3

Prosječni indeks plastičnosti	13.3
Standardna devijacija	3.0
Raspon	14.9
Minimum	5.3
Maksimum	20.2
Broj uzoraka	38
Razina pouzdanosti (95 %)	1.0

Inženjerskogeološka klasifikacija IG cjeline 3

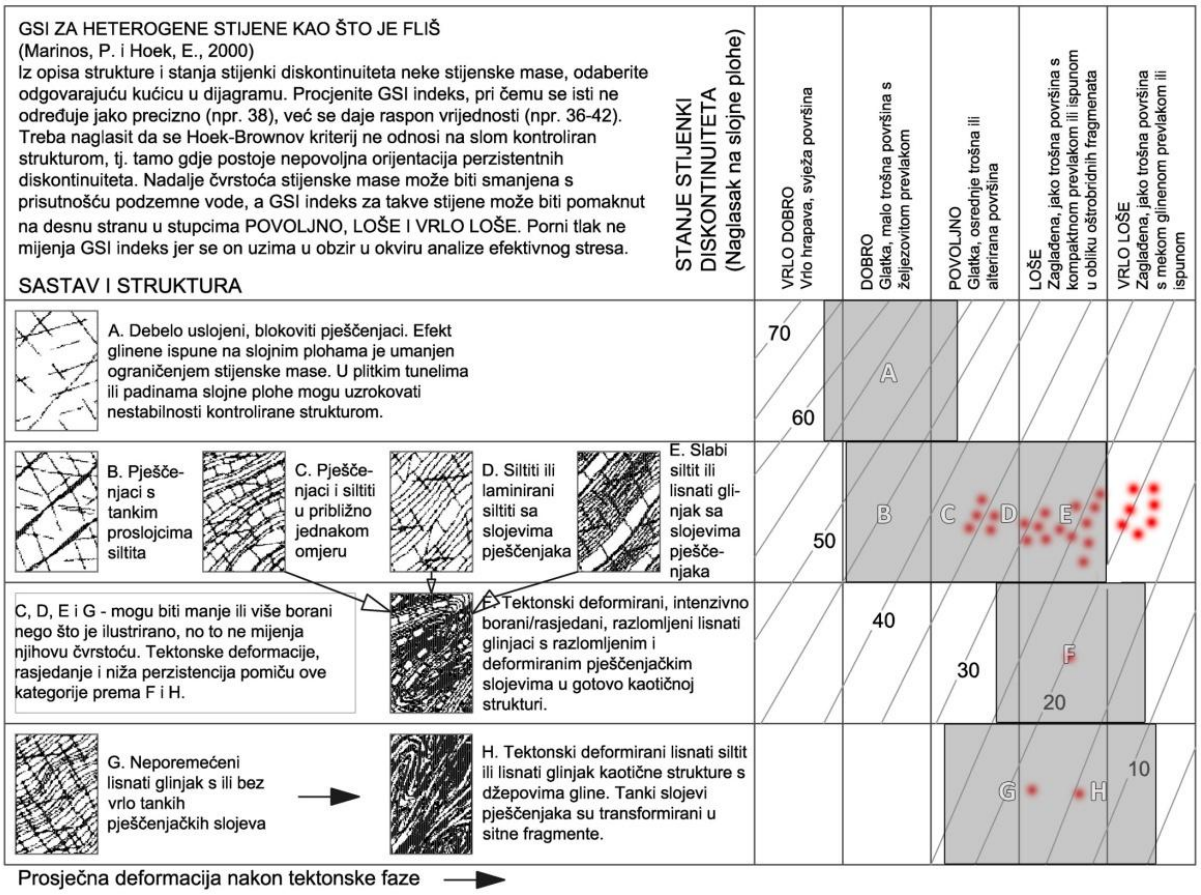
Važan parametar inženjerskogeološke klasifikacije u stijenama sličnima izučavanom flišnom kompleksu naslaga je udio kompetentnih i nekompetentnih članova. Naime čvrstoća stijenske mase se generalno povećava s povećanjem udjela kompetentnih jedinica (slojeva), i obrnuto smanjuje se s povećanjem udjela nekompetentnih slojeva (Marinos i Hoek, 2001). Upravo iz tog razloga je udio nekompetentnih i kompetentnih članova određen na 24 točke i to preko debljina slojeva, a rezultati statističke analize tog parametra prikazani su u tabeli (Tabela 16). Zbirna duljina profila sa svih mjernih točaka iznosi 75.46 m. Udio nekompetentnih članova u tom profilu iznosi 79.5 %, a kompetentnih 20.5 %.

Tabela 16 – Osnovna statistička analiza debljine kompetentnih i nekompetentnih slojeva IG jedinice 3

	Kompetentni	Nekompetentni
Prosječna debljina slojeva	4.2	17.0
Standardna devijacija	6.3	24.7
Raspon	79.5	199.5
Minimum	0.5	0.5
Maksimum	80.0	200.0
Broj uzoraka	368	352
Razina pouzdanosti (95 %)	0.6	2.6

IG klasifikacija (Marinos i Hoek, 2001) je načinjena na 28 točaka prikazanih crvenim točkama na GSI dijagramu (Slika 67). Generalno se može reći da IG jedinica 3 ima GSI vrijednosti od 17 do 35, najčešće grupirane u području kategorije E. Povremeno je moguće

na terenu naići na vrlo slabu stijensku masu ili čvrsto tlo koja spada u kategoriju G ili H. Ovim kategorijama pripadaju zone stijenske mase vrlo blizu površine terena – eluvij.

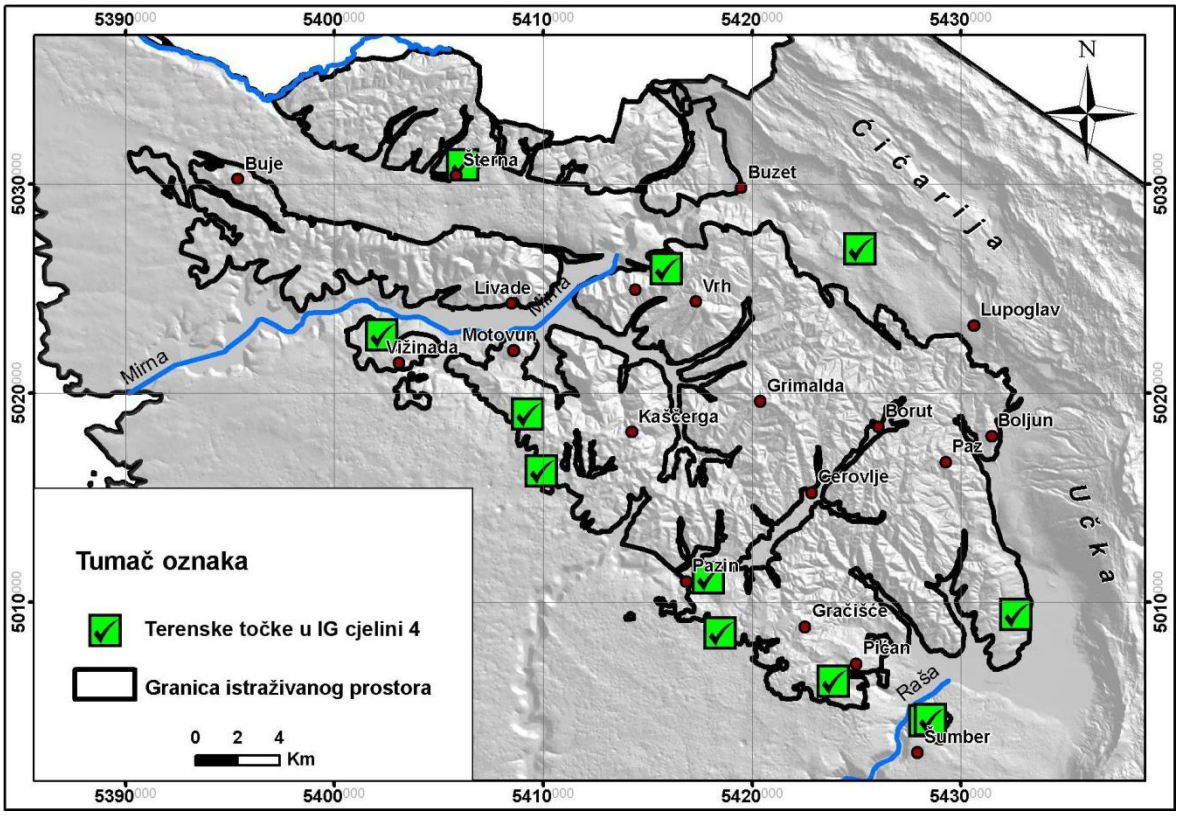


Slika 67 - GSI vrijednosti za IG jedinicu 3 (GSI dijagram prema Marinos i Hoek, 2001)

6.1.4 Inženjerskogeološka jedinica 4

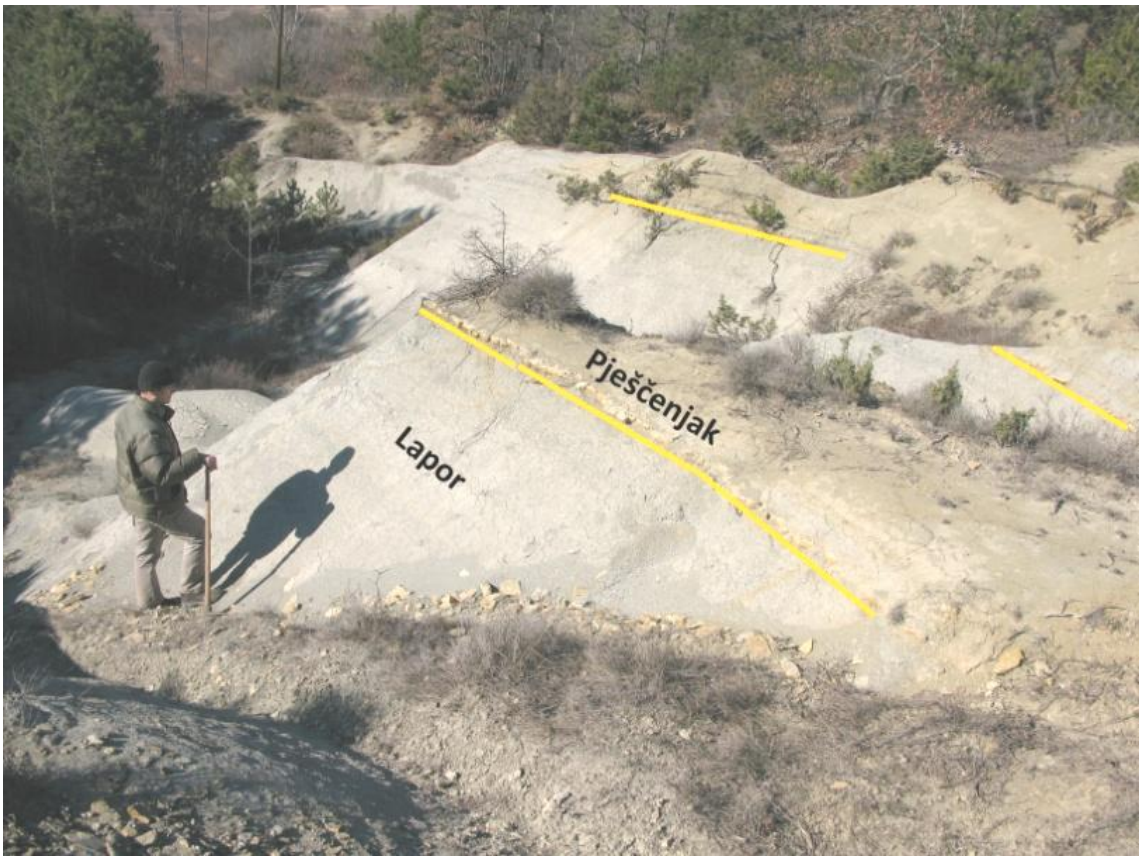
U IG jedinicu 4 spadaju lapori s globigerinama koji pripadaju donjem dijelu srednjeg eocena (Šikić i Polšak, 1973), a obzirom da se radi o naslagama starijim od flišnog kompleksa, njihovo rasprostiranje na površini terena je uglavnom vezano za rubne dijelove istraživanog područja. Slika (Slika 68) prikazuje terenske točke na kojima su determinirani globigerinski lapori. Na Osnovnoj geološkoj karti ove naslage su često taložene i nalaze se u kontaktu s tankim prijelaznim naslagama s rakovicama (listovi Trst, Rovinj, Ilirska Bistrica i Labin) u podlozi kojih se nalaze kredne ili eocenske karbonatne naslage. Iako naslage s rakovicama te kredni i eocenski vapnenci ovdje neće biti posebno razmatrane, one predstavljaju vrlo važnu kariku u egzogenim procesima izučavanim u ovom radu. Naime njihove fizikalno-mehaničke značajke uvjetuju bolju postojanost i puno slabiju erodibilnost u odnosu na naslage

globigerinskih lapora koje se nalaze na njima. Iz tog razloga one na površini trena, slično kao i kompetentni članovi karbonatnih megaslojeva (IG jedinica 1), u pravilu predstavljaju erozionu bazu po kojoj se formiraju dna jaruga. Činjenica da navedeni slojevi uglavnom nisu horizontalni uvjetuje koncentraciju površinskih tokova na kontaktu lapor-vapnenac što onda potiče napredovanje erozije i opstojanje ogoline. No, o ovom fenomenu detaljnija rasprava slijedi u poglavlju 7.4.1.1.



Slika 68 – Terenske točke s globigerinskim laporima

Naslage se sastoje uglavnom od lapora, a tek u njihovom gornjem dijelu nailazi se na proslojke pješčenjaka debljine 1 do 20 cm (Slika 69).



Slika 69 – Naslage globigerinskih lapora i pješčenjaka u blizini mjesta Šumber

Donji dijelovi ove jedinice uz lapore mogu biti izgrađeni od biokalkarenita, kalcisiltita i kvarc-kalcisiltita (Šikić i Pleničar, 1975). Mineralni sastav globigerinskih lapora na području pojedinog lista Osnovne geološke karte prikazuje tabela (Tabela 17).

Tabela 17 – Mineralni sastav globigerinskih lapora na istraživanom području (Pleničar i dr., 1973; Polšak i Šikić, 1973; Šikić i Pleničar, 1975; Šikić i Polšak, 1973)

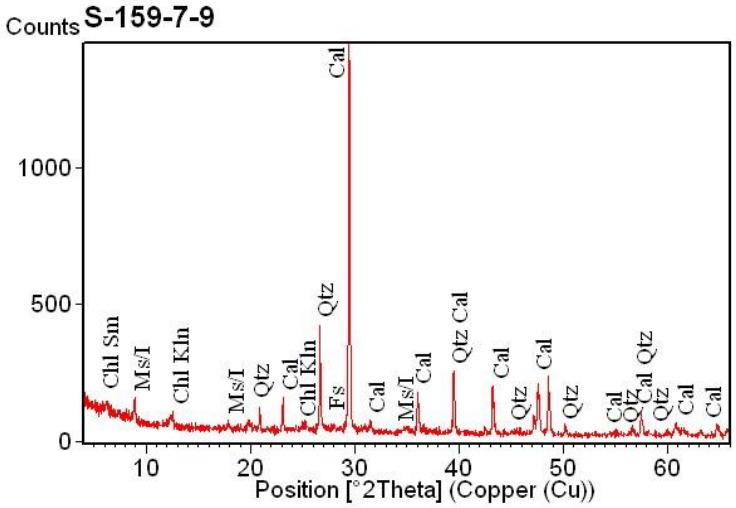
OGK list	Trst	Rovinj	Ilirska Bistrica	Labin
Minerelni sastav globigerinskih lapora	Kalcit, muskovit, kvarc, plagioklasi, klorit, ilit	Kalcit, pirit, glaukonit, anhidrit, barit	Kalcit, muskovit, kvarc, plagioklasi, klorit, ilit, glaukonit	Kalcit, pirit, glaukonit, anhidrit, barit

Na uzorcima (17 uzoraka) uzetim tijekom IG prospekcije terena izvršeno je određivanje udjela kalcita (kalcimetrija), a osnovna statistička analiza sažeta je u tabeli (Tabela 18).

Tabela 18 – Osnovni statistički pokazatelji za udio kalcita u globigerinskim laporima

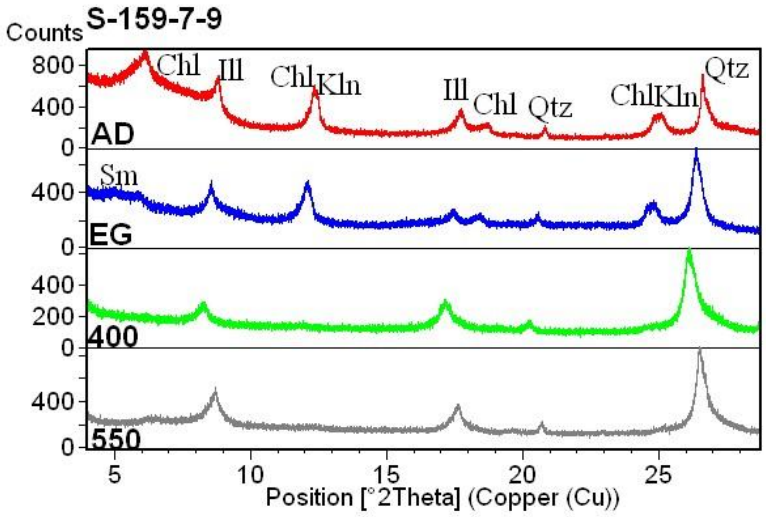
Prosječni udio kalcita [%]	59.6
Standardna devijacija	11.3
Raspon	37.1
Minimum	37.8
Maksimum	74.9
Broj uzoraka	17
Razina pouzdanosti (95 %)	5.8

Visok sadržaj kalcita globigerinskih lapora utvrđen je i kvalitativnom rendgenskom analizom na 5 uzoraka, a primjer karakterističnog rendgenograma prikazuje slika (Slika 70). Kvarc predstavlja drugi mineral po udjelu u IG jedinici 4.



Slika 70 - Rendgenogram uzorka S-159-7-9 - IG jedinica 4

Vrste minerala glina identificirane su rendgenskom difrakcijom na orijentiranom uzorku (S-159-7-9). Tom analizom dokazano je postojanje klorita, ilita, kaolinita te smektita (Slika 71).



Slika 71 - Rendgenogram orijentiranog uzorka S-159-7-9 (IG jedinica 4)

Mehaničke značajke IG jedinice 4 određene su pomoću Schmidtovog čekića i to na 25 uzoraka. Rezultati osnovne statističke analize Schmidtovog odskoka prikazuje tabela (Tabela 19). Jednoosna tlačna čvrstoća dobivena iz prosječnog odskoka iznosi 10.5 MPa.

Tabela 19 - Osnovna statistička analiza Schmidtovog odskoka – IG jedinica 4

Prosječni Schmidtov odskok	24.1
Standardna devijacija	9.9
Raspon	37.6
Minimum	0.0
Maksimum	37.6
Broj uzoraka	25
Razina pouzdanosti (95 %)	4.1

Postojanost lapora IG jedinice 4 obzirom na fizičko trošenje, slično kao i za ostale IG jedinice, određena je različitim metodama (5.1.2) ovisno o tome koji od procesa fizičkog trošenja se želio istražiti (smrzavanje i odmrzavanje, sušenje i vlaženje te grijanje i hlađenje). Rezultate osnovne statističke analize za svaku seriju testiranih uzoraka prikazuje tabela (Tabela 20).

Tabela 20 - Osnovna statistička analiza postojanosti lapora IG jedinice 4

Oznaka serije	0	1	2	3	4	5
Prosječna postojanost	8.220	4.670	0.576	27.013	0.052	6.003
Standardna devijacija	4.359	3.388	0.401	17.133	0.019	4.438
Raspon	10.345	12.021	1.070	61.358	0.076	13.664
Minimum	3.779	0.303	0.132	6.365	0.030	0.384
Maksimum	14.124	12.324	1.202	67.723	0.106	14.048
Broj uzoraka	4	12	5	11	12	17
Razina pouzdanosti (95 %)	6.936	2.153	0.498	11.510	0.012	2.282

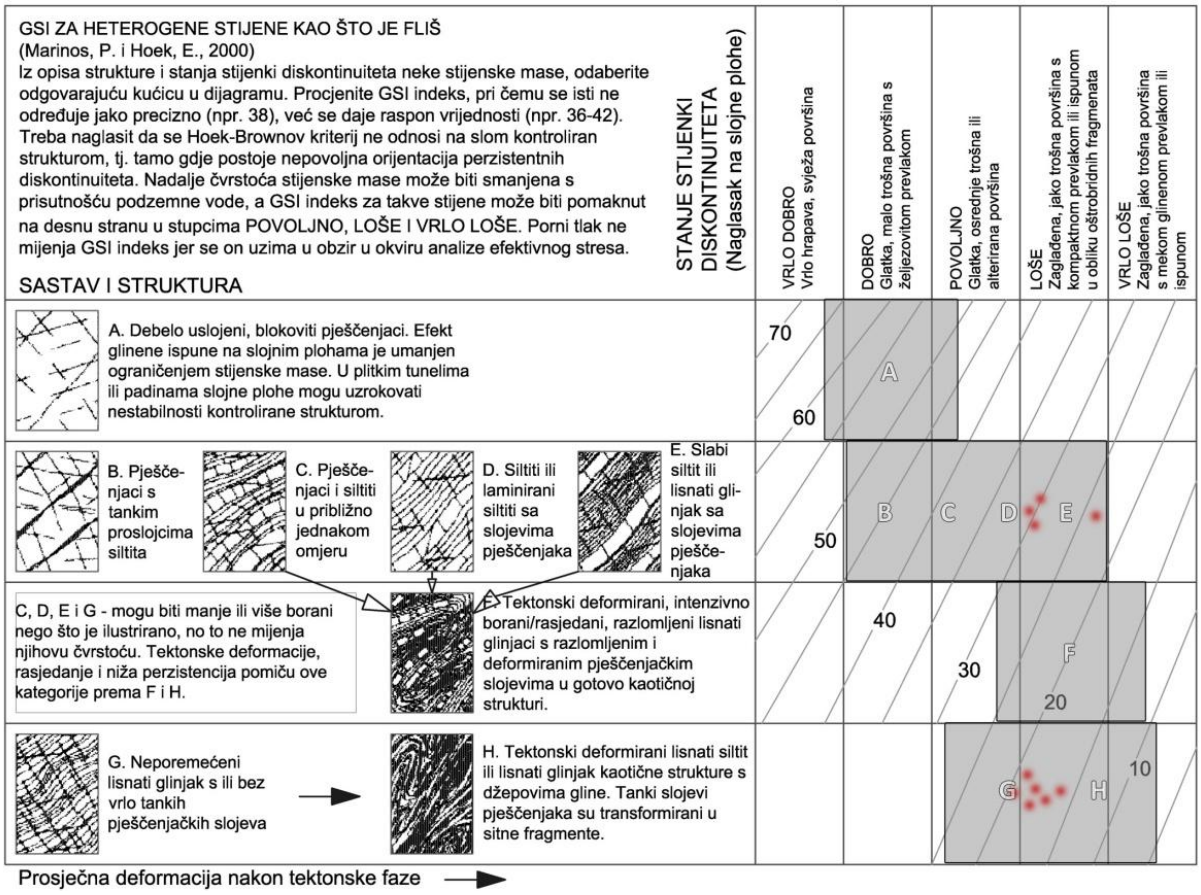
Indeks plastičnosti na usitnjenim uzorcima lapora IG cjeline 4 određen je na 17 uzoraka. Prosječna vrijednost indeksa plastičnosti iznosi 12.1, a ostale parametre osnovne statističke analize prikazuje tabela (Tabela 21).

Tabela 21 - Osnovna statistička analiza indeksa plastičnosti lapora IG cjeline 4

Prosječni indeks plastičnosti	12.1
Standardna devijacija	3.1
Raspon	12.4
Minimum	8.8
Maksimum	21.2
Broj uzoraka	17
Razina pouzdanosti (95 %)	1.6

Inženjerskogeološka klasifikacija IG cjeline 4

Prilikom inženjerskogeološke prospekcije terena izvršena je inženjerskogeološka (IG klasifikacija) klasifikacija stijenske mase IG jedinice 4. IG klasifikacija je načinjena na 10 točaka prikazanih crvenim točkama na GSI dijagramu (Slika 72). Najveći broj točaka pao je u područje kategorije G jer se uglavnom radi o homogenom laporovitom materijalu bez slojeva pješčenjaka. Nešto manji broj točaka pao je u područje kategorije D jer su na njima ipak uočeni poneki tanki pješčenjački proslojci. Iz navedenog je moguće zaključiti da raspon GSI vrijednosti za IG jedinicu 4 iznosi 15 do 30.



Slika 72 – GSI vrijednosti za IG jedinicu 4 (GSI dijagram prema Marinos i Hoek, 2001)

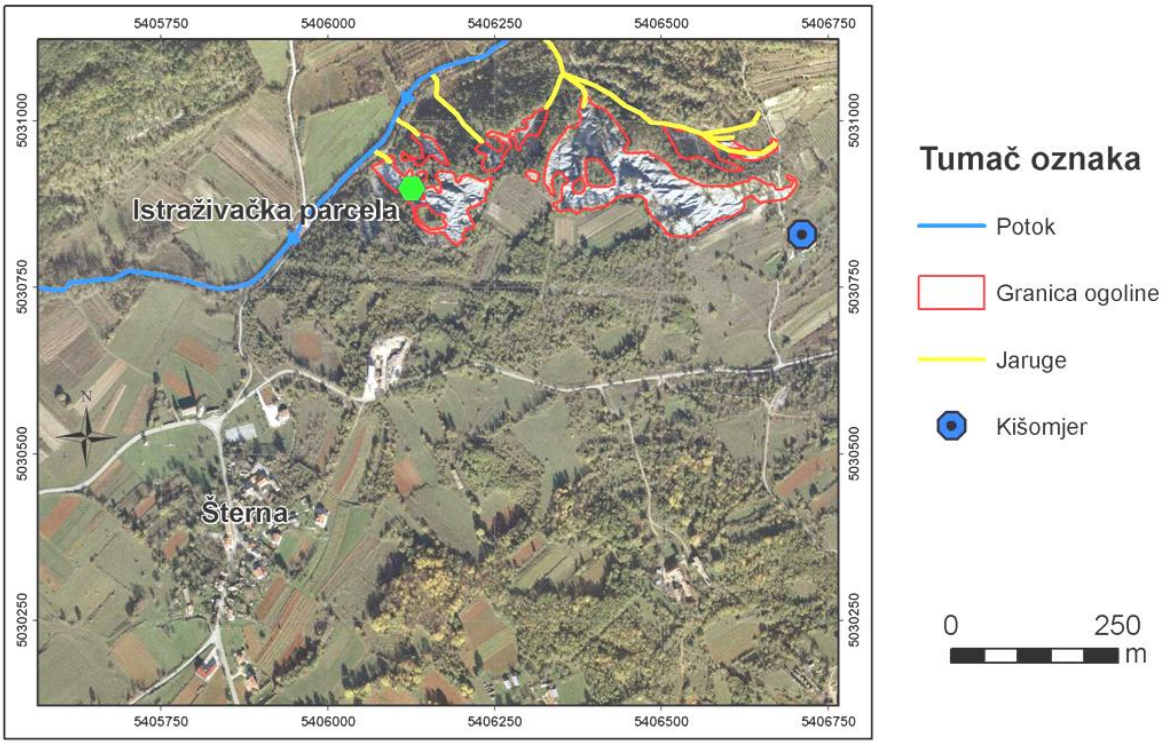
6.2 POKUSNE PARCELE

Lokalna istraživanja provedena na 4 lokacije (Šterna, Sv. Donat, Botonega, Boljun, Slika 54, str. 98) na području središnjeg dijela Istre (Sive Istre) su imala za cilj praćenje erozije i ostalih egzogenih procesa i to tijekom približno 30 mjeseci. U tom razdoblju na samim lokacijama korišteno je više istraživačkih metoda kojima je određivan iznos uzmicanja bokova jaruga, praćena je temperatura zraka te količina oborina tijekom cijelog istraživačkog perioda, te su uzeti uzorci za različite laboratorijske analize.

Odabir navedenih lokacija za praćenje erozije i drugih egzogenih procesa izvršen je u skladu sa željom da one budu što različitije s obzirom na hidrološke, litološke i morfološke parametre. Tako se na primjer sve četiri lokacije nalaze u području različitih visina oborina, imaju različite litološke karakteristike, te ih karakterizira različita morfologija. U nastavku je dan detaljan opis lokacija u pogledu već spomenutih parametara te su prikazani rezultati istraživanja na sve četiri lokacije.

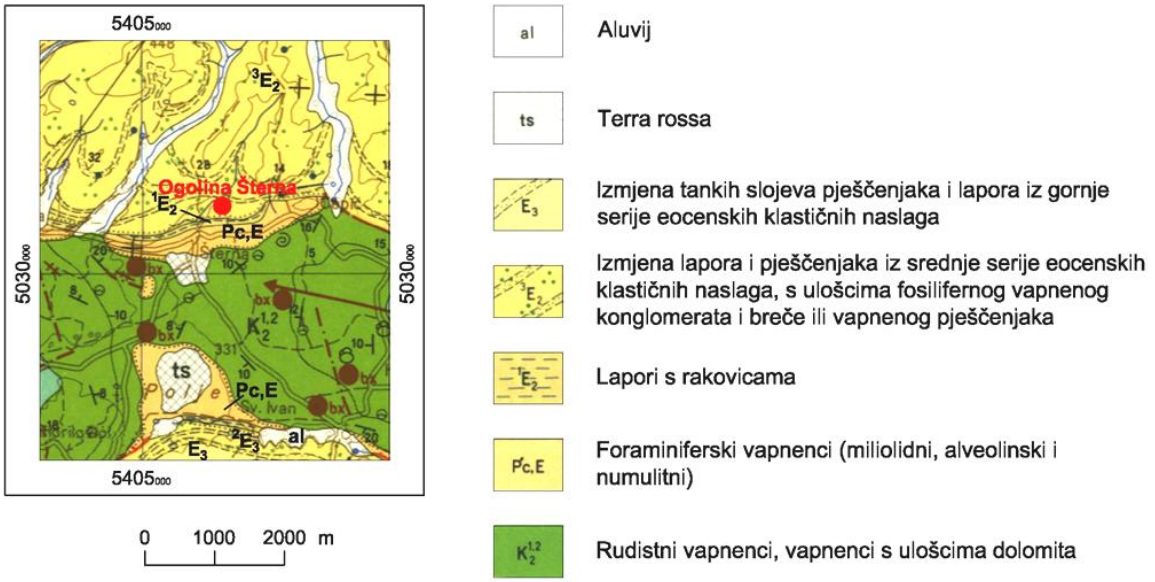
6.2.1 Ogolina Šterna

Ogolina Šterna se nalazi na samom sjeveru hrvatskog dijela Istre uz mjesto Šterna (Slika 54, str. 98). Ukupna površina ogoline iznosi približno 44.200 m^2, a iz slike (Slika 73) se može vidjeti da je ogolina vrlo razvedena te da njezini dijelovi u pravilu nisu međusobno povezani. Te odvojene površine imaju zajedničku erozionu bazu (potok na slici (Slika 73) označen plavom linijom) s kojom su povezane sustavom vrlo razvedenih jaruga koje su na slici (Slika 73) prikazane žutom linijom.



Slika 73 - Ortofoto snimka ogoline Šterna i šire okolice

Kao što je vidljivo na slici (Slika 74) ogolina se nalazi vrlo blizu transgresivnog kontakta flišnog kompleksa naslaga i lapora s rakovicama. Nastala je u sloju globigerinskih lapora koji zbog sitnog mjerila u kojem se izrađivala osnovna geološka karta nije bilo moguće prikazati. Nagib slojeva na području ogoline je prilično blagi, a orijentacija iznosi 311/13°. Ogolina pripada IG jedinici 4.



Slika 74 - Pozicija ogoline Šterna na listu OGK Trst (Pleničar i dr., 1965)

Na navedenoj lokaciji provedeno je mjerenje uzmicanja bokova jaruga fotogrametrijskim metodama i profilometrima i to na izdvojenoj površini u blizini same erozione baze (potoka, vidi sliku (Slika 73)). Također su u blizini same ogoline postavljena dva automatska mjerna uređaja (logera) koja su mjerila visinu i intenzitet oborina te temperaturu. Na samu mjernu parcelu su postavljena i tri profilometra koja na žalost nisu izdržala do kraja istraživačkog perioda (djelovanje vandala). Istraživačka parcela je uspostavljena 13.05.2008. godine, a mjerenja na njoj su trajala sve do 18.01.2011. godine.

6.2.1.1 Čvrstoća globigerinskih lapora na ogolini Šterna

Određivanje čvrstoće u točki

Čvrstoća globigerinskih lapora je određivana PLT metodom na nepravilnim uzorcima. Iako je normalizirani indeks čvrstoće ($Is_{(50)}$)određen na otprilike 60 uzoraka uzetih sa 6 točaka na samoj ogolini (Slika 75) jasna razlika u čvrstoći materijala nije zamijećena što prikazuje tabela (Tabela 22).

Slika 75 - Prikaz mjesta na kojima su uzeti uzorci za PLT analizu te mjesta na kojima je izvršeno testiranje Schmidtovim čekićem na ogolini Šterna

Tabela 22 - Normalizirani indeks čvrstoće ($Is_{(50)}$) za uzorke uzete s ogoline Šterna

Oznaka uzorka	$I_{s(50)}$ [MPa]
S-159-15-L	0.75
S-190-15-L	0.73
S-198-15-L	0.91
S-208-15-L	0.9
S-254-10-L	1.36
S-4-0-L	0.79
Aritmetička sredina	0.91

Određivanje Schmidtove čvrstoće

Na pokusnoj parceli je provedeno i testiranje Schmidtovim čekićem i to na 7 točaka pri čemu se u svakoj točki test obavljao u dva smjera. U tabeli (Tabela 23) je za svaku točku prvo prikazan rezultat testa usmjerenja okomitog na diskontinuitete paralelne sa slojevitošću, a zatim i rezultat testa usmjerenja paralelno sa slojevitošću. Na svim točkama je materijal determiniran kao lapor (La).

Tabela 23 – Rezultati testiranja Schmidtovim čekićem na pokusnoj parceli Šterna

Oznaka točke	S-234		S-198		S-190		S-208		S-4		S-254		S-159	
Dubina testa [cm]	5	5	15	15	15	15	15	15	5	5	10	10	15	15
Diskontinuitet	SS	SP1	SS	SP1	SS	SP1	SS	SP1	SS	SP	SS	SP	SS	SP
Litologija	La	La	La	La	La	La	La	La	La	La	La	La	La	La
Odskok prema ISRM-u	21.5	27.1	0	26.7	21.9	28.8	18.8	16.7	26	29.7	21	30.3	22.7	30

Iz prikazanih rezultata se uočava anizotropija u materijalu jer su gotovo sve vrijednosti odskoka manje u prvom slučaju (test u smjeru okomitom na slojevitost). Tu činjenicu uvjetuje folijacija paralelna sa slojevitošću zbog koje se stijena u zoni na dubini od 20-ak cm lomi u odlomke plosnatog habitusa dimenzija 4×10×10 cm.

Jednoosna tlačna čvrstoća lapora na pokusnoj parceli Šterna izračunata pomoću korelacijske krivulje preporučene od strane proizvođača Schmidtovog čekića iznosi 9.7 MPa.

6.2.1.2 Iznos uzmicanja bokova jaruga na pokusnoj parceli Šterna

Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Šterna je određivan fotogrametrijskim metodama i profilometrima. U nastavku su prikazani rezultati dobiveni digitalnom fotogrametrijskom metodom i to snimanjem dijela istraživačke parcele u krupnijem mjerilu.

Fotogrametrijska mjerenja s digitalnom mjernom kamerom u krupnijem mjerilu izvršena su na parceli površine približno 6 m^2 i nagiba od 18° do 40°. Mjerenje je izvršeno na 24 točke i to u razdoblju od 3.10.2008. do 18.1.2011. godine. Srednja kvadratna greška procijenjena metodom normalnog slučaja iznosila je 1.38 mm. U navedenom razdoblju napravljena su dva snimanja, nulto i prvo iz kojih se mogao odrediti ukupan iznos uzmicanja u tom razdoblju kao udaljenost između mjernih točaka dobivenih pri nultom i prvom snimanju. Prosječna udaljenost između navedenih točaka snimanja za ogolinu Šterna u promatranom razdoblju iznosila je približno 3.3 cm, što predstavlja prosječnu godišnju eroziju od približno **1.4 cm**.

Ovdje treba napomenuti da su na navedenoj pokusnoj parceli također izvršena i fotogrametrijska snimanja analognom i digitalnom metodom većeg područja. Analogna metoda nije dala dobre rezultate zbog jednoličnosti u boji snimanog motiva (ogolina je kompletno izgrađena od globigerniskih lapora) zbog čega je prilikom mjerenja bilo teško razlučivati detalje. Digitalna metoda snimanja većeg područja je zbog mjerila snimanja

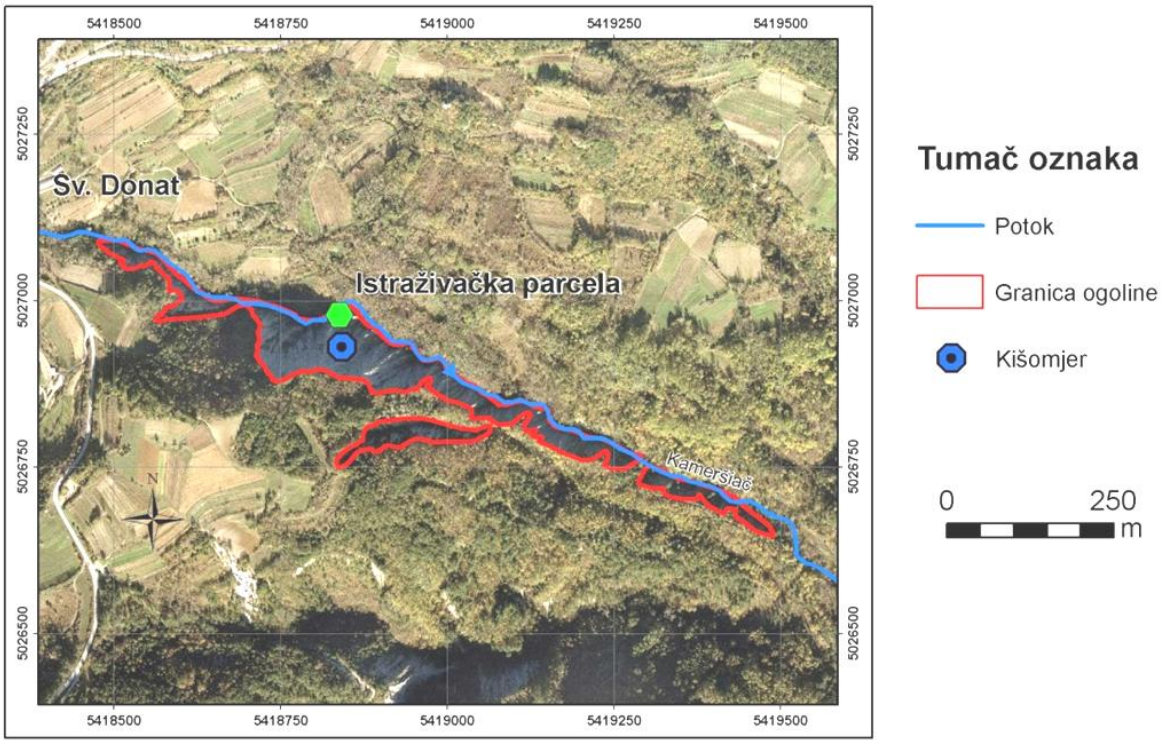
(5.2.3.2.3) polučila grešku veću od prosječnog iznosa erozije pa rezultati ovdje nisu ni prikazani.

Na kraju treba rezimirati da istraživanja na pokusnoj parceli Šterna nisu polučila očekivane rezultate, a razlog tome je bilo uništavanje opreme na samoj lokaciji. Naime tijekom istraživačkog perioda uništena su sva tri postavljena profilometra zbog čega je u ovom radu prikazan samo iznos denudacije dobiven digitalnom fotogrametrijskom metodom snimanom u krupnom mjerilu. Uništen je i jedan loger za mjerenje temperature pa su podaci o tom klimatskom faktoru nepotpuni. Na ovoj parceli također nisu obavljena sva tri predviđena fotogrametrijska snimanja pa je i analiza kakva je izvršena za ostale lokacije u poglavlju 7.2.1 zbog svega navedenog izostala za ovu lokaciju.

6.2.2 Ogolina Sv. Donat

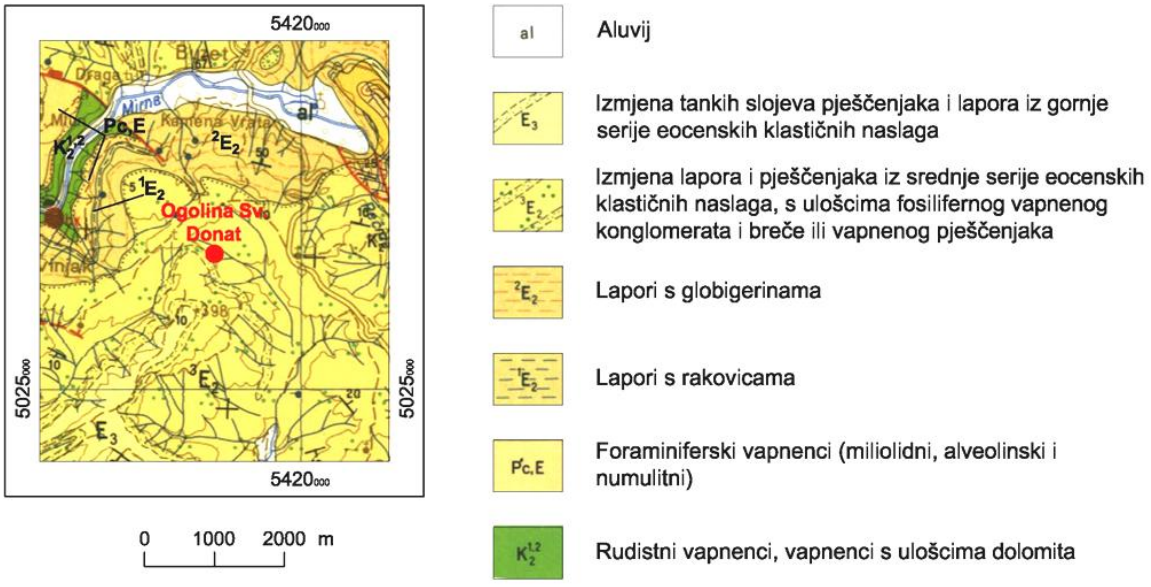
Ogolina Sv. Donat se nalazi približno 2.7 km južno od Buzeta u središtu Sive Istre. Ime je dobila po mjestu Sv. Donat koje se nalazi zapadno od ogoline. Samo mjesto se nalazi na razvodnici slivova pa se može reći da ogolina i potok Kameršiač, koji predstavlja erozionu bazu ogoline, upravo počinju kod zadnjih kuća na jugoistočnoj strani mjesta. Ukupna površina ogoline iznosi približno 51000 m^2.

Ortofoto snimka ogoline prikazana na slici (Slika 76) pokazuje da je pružanje ogoline Sv. Donat približno 112-292°, tj. da je ogolina eksponirana prema sjever-sjeveroistoku. Njezina približna duljina iznosi 1100 m, a najveća visinska razlika u središnjem dijelu mjerena okomito na pružanje iznosi 60 m. Već je spomenuto da erozionu bazu predstavlja potok Kameršiač za kojeg je bitno spomenuti da gotovo nikad ne presušuje bez obzira što mu je površina slivnog područja profila u blizini istraživačke parcele vrlo mala, približno 220000 m^2.



Slika 76 - Ortofoto snimka ogoline Sv. Donat i šire okolice

Kako se može iščitati iz geološke karte (Slika 77) ogolinu karakterizira izmjena slojeva lapora i pješčenjaka centimetarskih debljina, koje se pak može smjestiti u donji dio flišnih naslaga ($^3E_2$), a s inženjerskogeološkog stajališta ogolina pripada IG jedinici 3. Orijentacija slojeva iznosi 177/14°.



Slika 77 - Pozicija ogoline Sv. Donat na listu OGK Trst (Pleničar i dr., 1965)

Istraživačka parcela koja je locirana otprilike u središnjem dijelu ogoline Sv. Donat (Slika 76) uspostavljena je 14.05.2008. godine, a mjerenja na njoj su trajala do 18.01.2011. godine.

Tijekom navedenog istraživačkog perioda obavljena su mjerenja uzmicanja bokova jaruga fotogrametrijskim metodama i profilometrima. Iznad parcele postavljen je automatski mjerni uređaj za mjerenje količine i intenziteta oborina, a na samoj parceli postavljen je uređaj za automatsko mjerenje temperature.

6.2.2.1 Odnos kompetentnih i nekompetentnih slojeva

U uvodnom dijelu poglavlja 6.2.2 je naznačeno da ogolinu Sv. Donat karakterizira izmjena slojeva lapora i pješčenjaka što je iščitano s Osnovne geološke karte – list Trst (Pleničar i dr., 1965) (Slika 77). Duljina profila na kojem je određivan odnos pješčenjačkih (kompetentnih) i laporovitih (nekompetentnih) slojeva iznosila je približno 6 m. Duž tog profila izmjerene su sve debljine navedenih slojeva čime se kasnijom statističkom obradom dobila srednja vrijednost debljine slojeva lapora i slojeva pješčenjaka. Uz srednju vrijednost u tabeli (Tabela 24) je prikazana i standardna devijacija te postotni udio pojedinih slojeva na mjernom profilu.

Tabela 24 - Odnos pješčenjaka i lapora na istraživačkoj parceli Sv. Donat

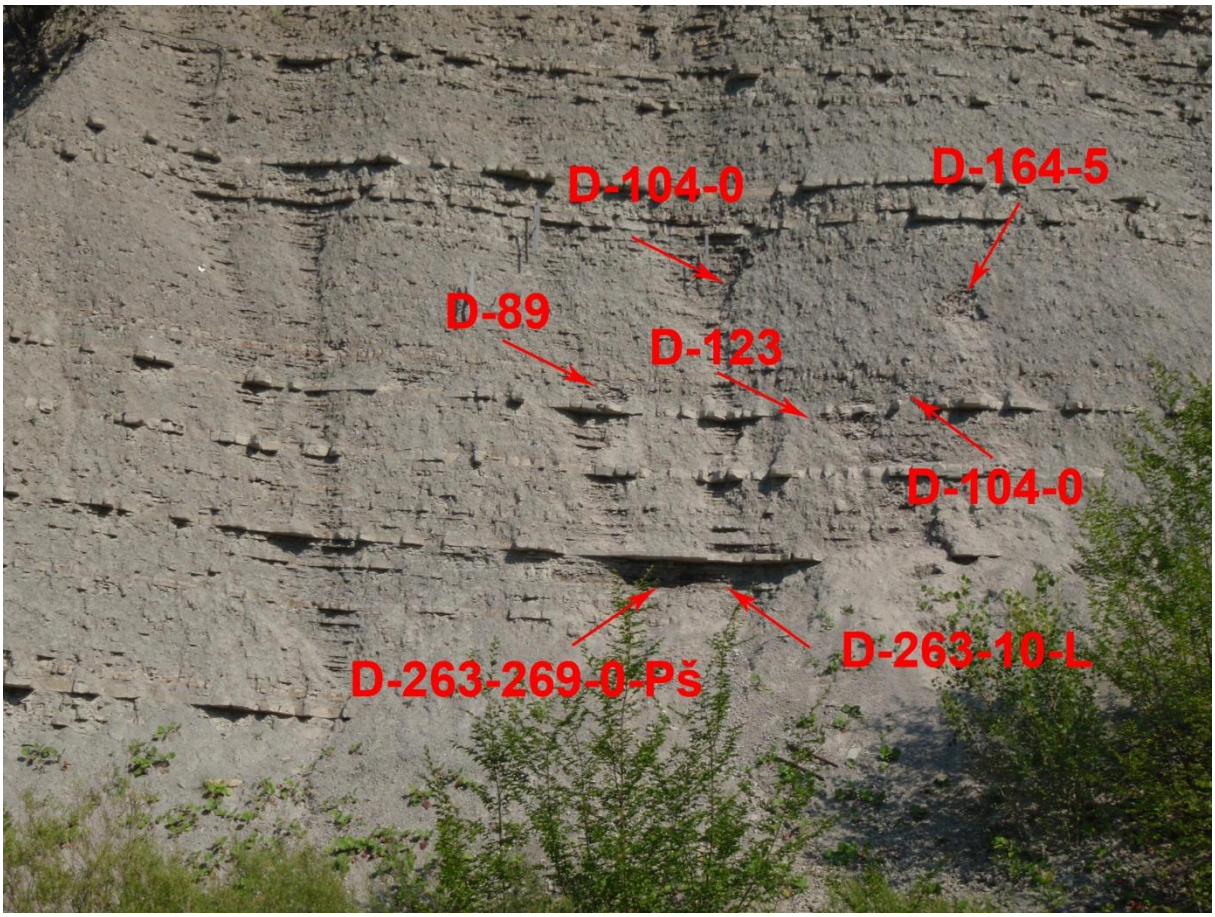
	Kompetentni slojevi (pješčenjaci)	Nekompetentni slojevi (lapori)
Srednja vrijednost debljine slojeva [cm]	3.3	7.4
Standardna devijacija debljine slojeva [cm]	2.3	3.9
Postotni udio slojeva na mjernom profilu [%]	31	69

6.2.2.2 Čvrstoća flišnih naslaga na ogolini Sv. Donat

Određivanje čvrstoće u točki

Čvrstoća flišnih naslaga uzorkovanih na ogolini Sv. Donat je određivana PLT metodom na nepravilnim uzorcima. Iz tabele (Tabela 24) je vidljivo da ogolinu Sv. Donat izgrađuje 31% kompetentnih i 69% nekompetentnih slojeva. Normalizirani indeks čvrstoće ($Is_{(50)}$) je

određen na 30 uzoraka kompetentnih članova (pješčenjaci i siltiti) uzetih s tri točke i 12 uzoraka nekompetentnih članova (lapora) uzetih s jedne točke na istraživačkoj parceli (Slika 78). Rezultati provedenog testiranja prikazani su u tabeli (Tabela 25).



Slika 78 - Prikaz mjesta na kojima su uzeti uzorci za PLT analizu te mjesta na kojima je izvršeno testiranje Schmidtovim čekićem na ogolini Sv. Donat

Tabela 25 - Normalizirani indeks čvrstoće ($Is_{(50)}$) za uzorke uzete s ogoline Sv. Donat

Oznaka uzorka	$I_{s(50)}$ [MPa]	Aritmetička sredina [MPa]
D-104-0-Pš	3.63	3.98
D-164-5-Pš	2.58	
D-263-269-0-Pš	5.72	
D-263-10-L	1.63	1.63

Određivanje Schmidtove čvrstoće

Schmidtova čvrstoća je na ogolini Sv. Donat određivana na 5 točaka (Slika 78). Kako ogolinu karakterizira izmjena kompetentnih (Pš) i nekompetentnih (La) slojeva tijekom testiranja pokušala se odrediti Schmidtova čvrstoća i jednih i drugih članova. Također se prilikom testiranja bilježilo i na kojem od diskontinuiteta osnovnog strukturnog sklopa je

izvršeno mjerenje (SS – slojni diskontinuitet; SP1 i SP2 – setovi dikontinuiteta koji najvjerojatnije odgovaraju klivažu paralelnom s osi boranja i klivažu okomitom na os boranja; uvriježeno OR i OB). Dubine na kojima je izvršeno mjerenje iznosile su od 0 do 20 cm, a rezultate mjerenja prikazuje slijedeća tabela (Tabela 26).

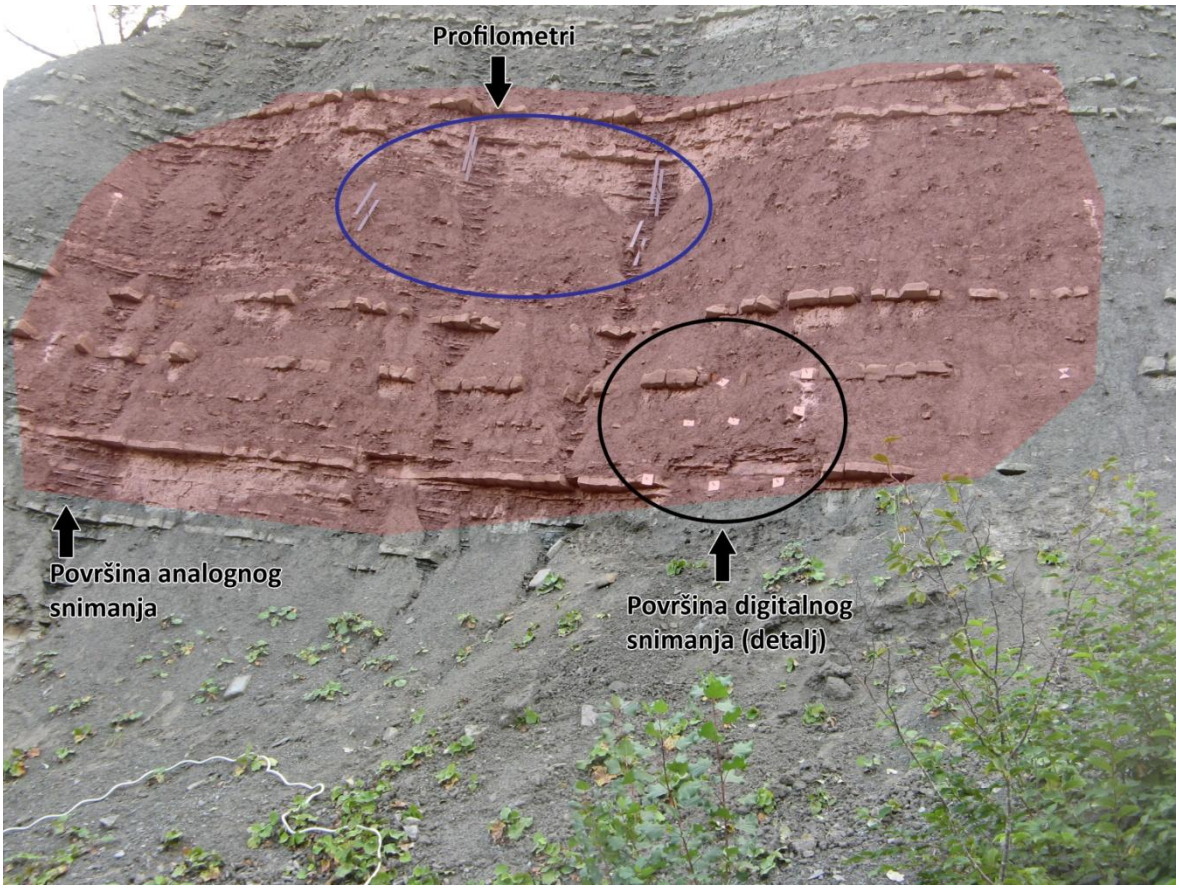
Tabela 26 – Schmidtova čvrstoća na ogolini Sv. Donat

Oznaka točke	D-164		D-104		D-89	D-123				D-142	
Diskontinuitet	SP1 i SP2	SP1 i SP2	SP1	SP1	SP1	SP1	SS	SP1	SS	SP1 i SP2	SS
Litologija	La	Pš	La	Pš	La	Pš		La		Pš	Pš
Odskok prem ISRM-u	17.3	15.4	22.6	21.5	19.1	17.7	26.3	21	23.9	44.7	36.4

Iz prikazanih rezultata u tabeli (Tabela 26) moguće je izračunati jednoosnu tlačnu čvrstoću za kompetentne i nekompetentne slojeve pomoću korelacijske krivulje preporučene od strane proizvođača uređaja. Tako ona za kompetentne slojeve iznosi 13.7 MPa, a za nekompetentne 8.3 MPa.

6.2.2.3 Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Sv. Donat

Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Sv. Donat je određivan fotogrametrijskim metodama i profilometrima (Slika 79). Od fotogrametrijskih metoda korištene su obje navedene metode i to na sva tri navedena načina (5.2.3.2.3). Prikazani su rezultati fotogrametrijskog snimanja i to digitalnom kamerom u krupnom mjerilu (detalj) te analognom kamerom u sitnijem mjerilu. Digitalna metoda snimanja većeg područja je zbog mjerila snimanja (5.2.3.2.3) polučila grešku veću od prosječnog iznosa uzmicanja bokova jaruga pa rezultati ovdje nisu ni prikazani.



Slika 79 – Istraživačka parcela na ogolini Sv. Donat

<u>Digitalno fotogrametrijsko snimanje u krupnom mjerilu</u>

Fotogrametrijsko snimanje izvršeno u krupnom mjerilu na parceli približne površine 14 m^2 i nagiba između 64° i 68° provedeno je u razdoblju od 2.10.2008. godine do 18.1.2011. godine pri čemu je obavljeno nulto, prvo i drugo snimanje. Unutarnja greška pri snimanja je iznosila 1.25 mm. Ukupan iznos uzmicanja bokova jaruga za razdoblje između nultog i prvog te prvog i drugog snimanja prikazan je u slijedećoj tabeli (Tabela 27):

Tabela 27 - Iznos uzmicanja bokova brazdi na ogolini Sv. Donat određen digitalnom fotogrametrijskom metodom u krupnom mjerilu

	Podaci za razdoblje između nultog i prvog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	Podaci za razdoblje između prvog i drugog snimanja (7.10.2009. - 18.1.2011.)
Uzmicanje/taloženje [cm]	-4.7	-2.3
Broj mjernih točaka	41	36
Broj mjernih točaka na kojima se dogodilo uzmicanje	38	29
Broj mjernih točaka na kojima se dogodilo taloženje	3	7
Prosječno uzmicanje na točkama na kojima se ono i dogodilo [cm]	-5.1	-3.0
Prosječno taloženje na točkama na kojima se ono i dogodila [cm]	0.89	0.66
Prosječno godišnje uzmicanje [cm]	-4.6	-1.8

Iz prikazane tabele se može zaključiti da je ukupno uzmicanje bokova jaruga na ogolini Sv. Donat mjereno digitalnom fotogrametrijskom metodom u razdoblju između nultog i drugog snimanja (ukupno 838 dana) iznosilo kumulativno 7.0 cm što odgovara prosječnom godišnjem uzmicanju od **3.0 cm**.

Analogno fotogrametrijsko snimanje u sitnom mjerilu

Fotogrametrijsko snimanje izvršeno analognom kamerom u sitnijem mjerilu na parceli približne površine 175 m^2 i nagiba između 50° do 80°. provedeno je u razdoblju od 2.10.2008. godine do 7.10.2009. godine pri čemu je obavljeno nulto i prvo snimanje. Procijenjena unutarnja greška pri snimanja je iznosila 6.1 mm. Mjereno je 775 točaka, od kojih je na 134 točke determinirano taloženje, a na 641 točki uzmicanje. Ukupan iznos uzmicanja bokova jaruga za razdoblje između nultog i prvog snimanja prikazan je u slijedećoj tabeli (Tabela 27):

Tabela 28 - Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Sv. Donat određen analognom fotogrametrijskom metodom u sitnom mjerilu

	Uzmicanja	Taloženja
Broj mjerenja	641	134
Prosjek [cm]	-6.65	5.65
Min [cm]	-0.03	0.01
Max [cm]	-32.50	51.25

Uzimajući u obzir sve podatke (i uzmicanje i taloženje) prosječna vrijednost uzmicanja na ogolini Sv. Donat izmjerena u navedenom razdoblju iznosi 4.5 cm. Dobivenu vrijednost je moguće svesti na godišnji vrijednost uzmicanja, a ona iznosi **4.4 cm**.

Mjerenje profilometrima

Mjerenje iznosa uzmicanja bokova jaruga metodom profilometara na ogolini Sv. Donat započelo je 14.05.2008. godine, a završno mjerenje je obavljeno 18.01.2011. godine. Iznosi uzmicanja određeni ovom metodom prikazani su u tabeli (Tabela 29). Uzmicanje bokova jaruga određeno profilometarskom metodom u razdoblju koje je trajalo 979 dana iznosilo je u prosjeku 5.4 cm iz čega se može dobiti srednji godišnji iznos uzmicanja od **2 cm**.

Tabela 29 - Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Sv. Donat određen profilometrima

Oznaka profilometra	Iznos uzmicanja na profilometru u vremenskom intervalu od 32 mjeseca [cm]
4	6.0
5	5.5
6	6.0
7	4.2
Prosjek	5.4

6.2.2.4 Oborine i temperatura na ogolini Sv. Donat

Osnovni klimatski faktori mjereni za pokusnu parcelu Sv. Donat prikazani su u tabelama (Tabela 30 i Tabela 31) i to kao prosječne vrijednosti za razdoblja definirana fotogrametrijskim snimanjem u krupnom mjerilu.

Tabela 30 – Kišomjerni podaci

	Ukupna količina kiše [mm]	Maksimalni intenzitet u razdoblju [mm/h]	Prosječni satni intenzitet [mm/h]	Broj sati s intenzitetom većim od					
				5 l/h	10 l/h	15 l/h	20 l/h	25 l/h	30 l/h
Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	956.4	26.8	7.0	39	13	6	4	1	0
Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (7.10.2009 - 18.1.2011.)	1735.4	24.0	6.9	53	16	8	4	0	0

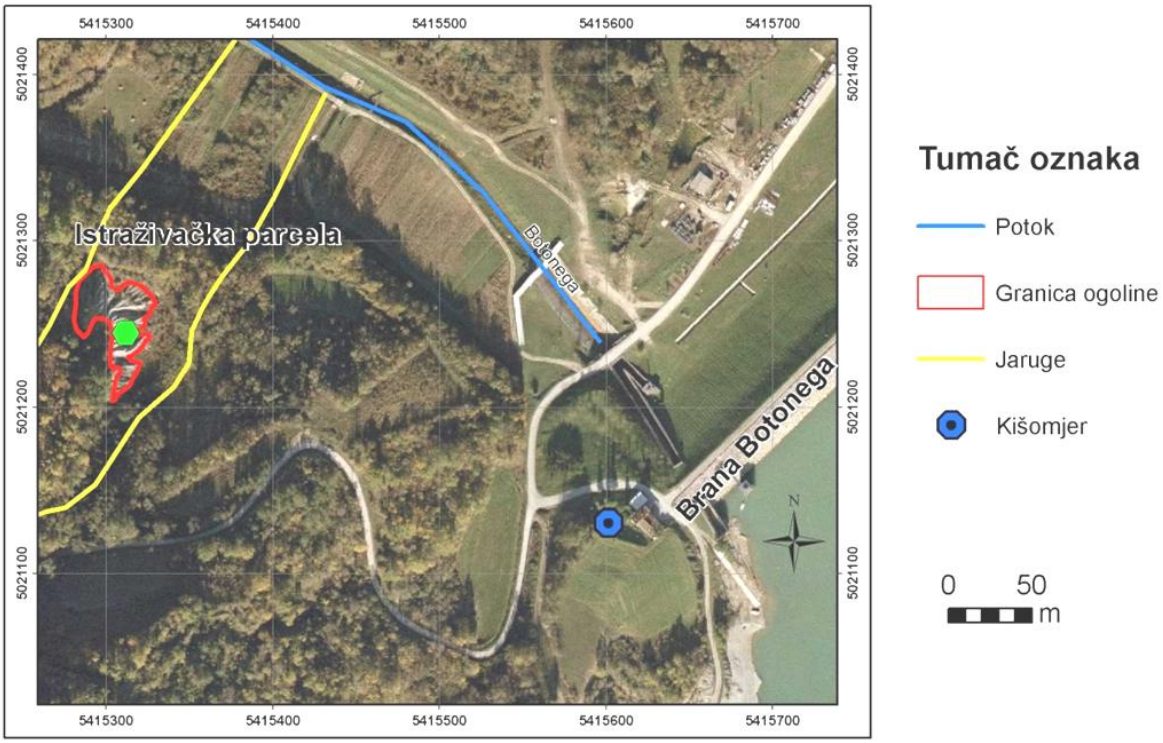
Tabela 31 – Podaci iz logera za mjerenje temperature

	Minimalna temperatura u promatranom razdoblju	Srednja dnevna temperatura	Broj dana s temperaturom ispod ledišta	Srednja dnevna temperaturna razlika u promatranom razdoblju
Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	-7.7	13.3	61.0	11.5
Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (7.10.2009 - 18.1.2011.)	-9.0	11.0	82.0	9.9

Iz obje navedene tabele je vidljivo da se radi o godinama s velikim razlikama u izmjerenim klimatskim faktorima. Analiza i usporedba podataka s iznosima uzmicanja bokova brazdi je prikazana u poglavlju 7.2.1.

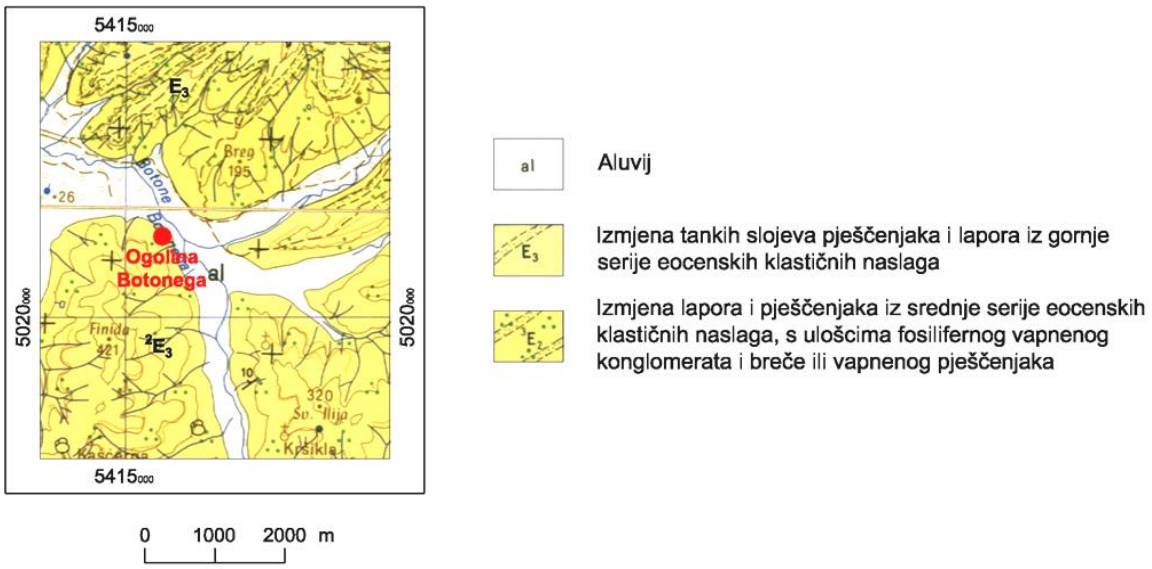
6.2.3 Ogolina Botonega

Ogolina Botonega se nalazi približno 350 m (Slika 80) zapadno od brane Botonega. Površina ogoline iznosi približno 1800 m^2, te je kao takva najmanja ogolina od sve četiri na kojima su uspostavljene pokusne parcele.



Slika 80 - Ortofoto snimka ogoline Botonega i šire okolice

Ogolina je nastala u donjem dijelu flišnih naslaga (Slika 36), konkretno u debelom gotovo horizontalnom sloju lapora u bazi kojeg se nalazi debeli (približno 2 m) sloj kalkarenita (megasloj). Prema osnovnoj geološkoj karti lista Rovinj ogolina je smještena u srednji eocen (Slika 81 - $^{3}E_{2}$). Inženjerskogeološki ona pripada IG jedinici 2.



Slika 81 - Pozicija ogoline Botonega na listu OGK Rovinj (Polšak i Šikić, 1963)

Istraživačka parcela koja je locirana na južnom dijelu ogoline (Slika 80) uspostavljena je 15.05.2008. godine, a mjerenja na njoj su trajala do 18.01.2011. godine. Na ogolini su izvršena fotogrametrijska mjerenja digitalnom i analognom mjernom kamerom. Također su na lokaciji postavljena četiri profilometra te jedan automatski uređaj za mjerenje temperature. U neposrednoj blizini ogoline nalazi se i meteorološka postaja koju opslužuju čuvari brane Botonega, a koja je iskorištena za postavljanje automatskog uređaja za mjerenje visine i intenziteta oborina (Slika 80).

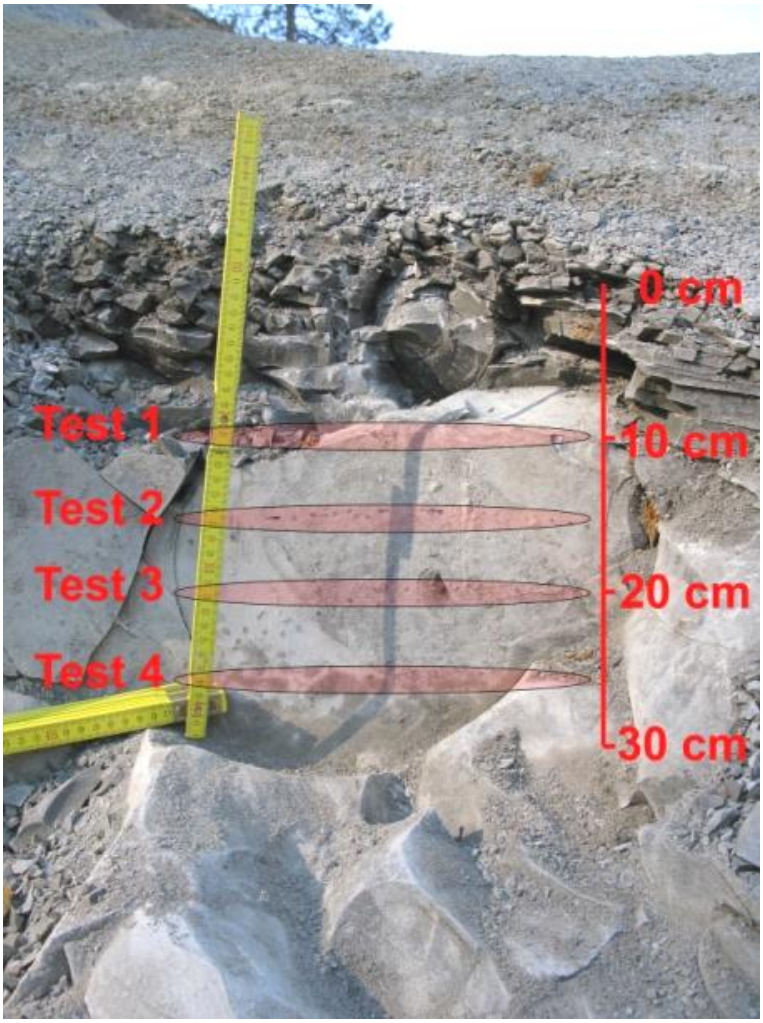
6.2.3.1 Čvrstoća flišnih naslaga na ogolini Botonega

Određivanje čvrstoće u točki

Čvrstoća flišnih naslaga uzorkovanih na ogolini Botonega je određivana PLT metodom na nepravilnim uzorcima. Kako je ogolina izgrađena isključivo od lapora svi testirani uzorci su bili tog tipa. Normalizirani indeks čvrstoće ($Is_{(50)}$) je određen na 12 uzoraka, a njegova prosječna vrijednost je iznosila 0.75 MPa.

Određivanje Schmidtove čvrstoće

Schmidtova čvrstoća je na ogolini Botonega zbog njenog uniformnog sastava određivana samo na jednoj točki, ali je zato na njoj napravljeno testiranje po dubini (Slika 82).



Slika 82 – Testiranje Schmidtove čvrstoće na različitim dubinama ogoline Botonega

Naime uočeno je da se s dubinom povećavaju blokovi u masi lapora pa je prema tome pretpostavljeno da bi i Schmidtova čvrstoća trebala rasti s dubinom. Dobiveni rezultati su potvrdili tu tezu (Tabela 32).

Tabela 32 – Rezultati mjerenja Schmidtove čvrstoće na ogolini Botonega

Dubina [cm]	10	15	20	25
Prosječna vrijednost Schmidtovog odskoka	43.4	47.8	48.0	48.0

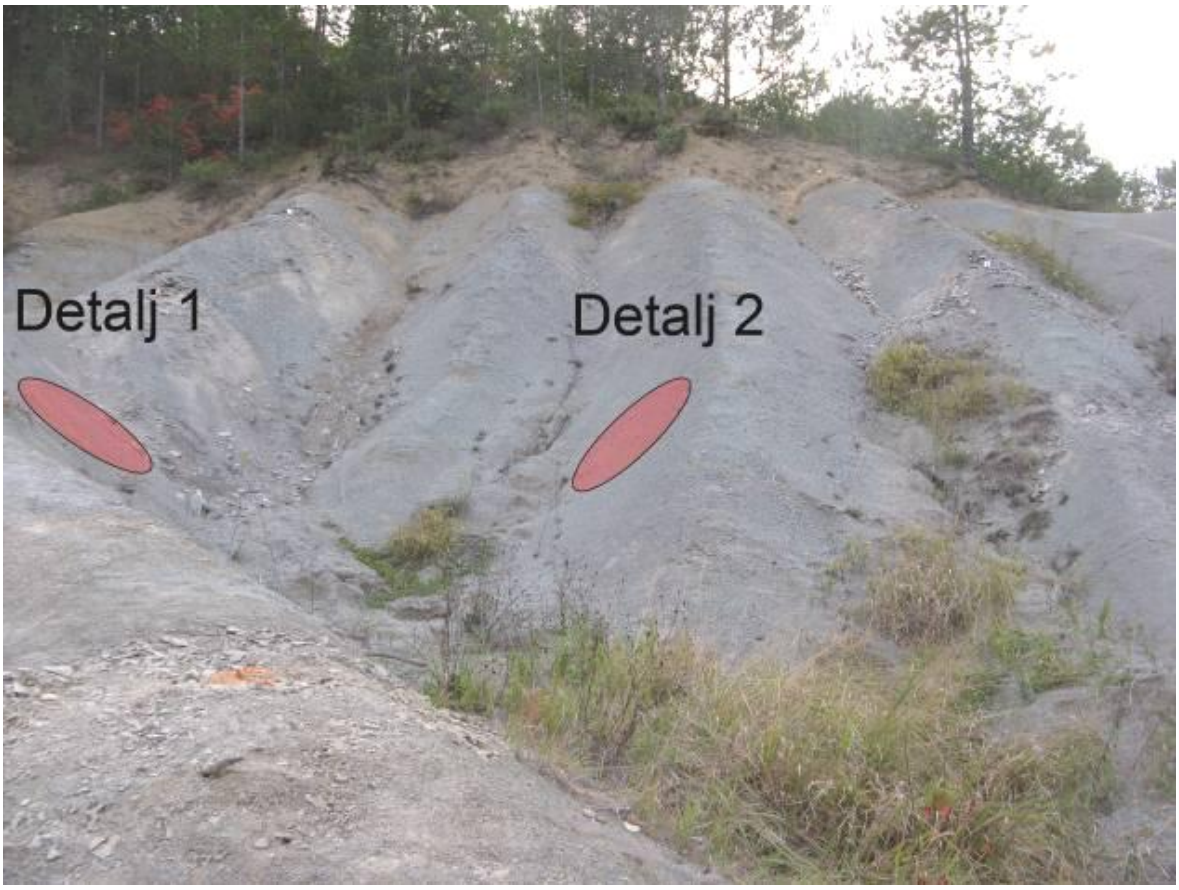
Iz dobivenih vrijednosti Schmidtovog odskoka moguće je odrediti jednoosnu tlačnu čvrstoću lapora koja na 10 cm dubine iznosi 36.5 MPa, a na 25 cm dubine iznosi 43.5 MPa.

6.2.3.2 Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Botonega

Iako je na ogolini Botonega izvršeno fotogrametrijsko snimanje i analognom i digitalnom kamerom i to na sva tri navedena načina (5.2.3.2.3), u nastavku su prikazani samo rezultati snimanja digitalnom kamerom i to u krupnijem mjerilu. Kartiranje snimki dobivenih analognom i digitalnom kamerom u sitnijem mjerilu nije bilo moguće kvalitetno načiniti zbog blagog nagiba ogoline te zbog nerazvedenosti reljefa na samoj ogolini zbog čega je razlučivost detalja na fotogramima bila znatno umanjena.

Digitalno fotogrametrijsko snimanje u krupnom mjerilu

Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Botonega određivan fotogrametrijskom metodom i to snimanjem u krupnijem mjerilu je određen na dva detalja. Navedeni detalji predstavljaju dio lijevog i desnog boka jaruge koja se proteže od vrha ogoline do njenog podnožja u kojem se akumulira materijal (Slika 83).



Slika 83 - Položaj detalja na ogolini Botonega

Približna površina prvog detalja iznosila je 8.6 m^2, dok je površina drugog detalja iznosila otprilike 3.5 m^2. Oba detalja imaju sličan nagib (1. detalj 39°, 2. detalj 35°) i različitu ekspoziciju, što znači da je 1. detalj eksponiran prema sjeveru, a drugi prema jugu. Procijenjena unutarnja greška pri snimanja je iznosila 1.18 mm. Ukupan iznos uzmicanja bokova brazdi za razdoblje između nultog i prvog te prvog i drugog snimanja za oba detalja prikazan je u slijedećoj tabeli (Tabela 33):

Tabela 33 - Iznos erozije na ogolini Botonega određen fotogrametrijskom metodom

	Detalj 1		Detalj 2	
	Podaci za razdoblje između nultog i prvog snimanja (2.10.2008-7.10.2009.)	Podaci za razdoblje između prvog i drugog snimanja (7.10.2009.-18.1.2011.)	Podaci za razdoblje između nultog i prvog snimanja (2.10.2008-7.10.2009.)	Podaci za razdoblje između prvog i drugog snimanja (7.10.2009.-18.1.2011.)
Prosječno uzmicanje u promatranom razdoblju [cm]	-0.8	-0.04	-0.7	-0.1
Broj mjernih točaka	15	27	8	8
Broj mjernih točaka na kojima se dogodilo uzmicanje	12	16	7	6
Broj mjernih točaka na kojima se dogodilo taloženje	3	11	1	6
Prosječno uzmicanje na točkama na kojima se ono i dogodila [cm]	-1.1	-0.2	-0.9	-0.3
Prosječno taloženje na točkama na kojima se ono i dogodilo [cm]	0.6	0.2	0.5	0.1
Prosječno godišnje uzmicanje [cm]	-0.8	-0.04	-0.6	-0.08

Iz tabele (Tabela 33) se vidi da je na obje pokusne parcele u oba perioda ukupno praćeno 58 točaka. Iz tog je bilo moguće odrediti ukupno uzmicanje bokova jaruga kao udaljenost između točaka dobivenih nultim i drugim snimanjem. Prosječna udaljenost između navedenih točaka snimanja za ogolinu Botonega u promatranom razdoblju iznosila je približno 0.8 cm, što predstavlja prosječan godišnji iznos uzmicanja bokova jaruga od približno **0.3 cm**.

Mjerenje profilometrima

Mjerenje iznosa uzmicanja bokova jaruga metodom profilometara na ogolini Botonega započelo je 15.05.2008. godine, a završno mjerenje je obavljeno 18.01.2011. godine. Iznosi uzmicanja određeni ovom metodom prikazani su u slijedećoj tabeli (Tabela 34). Prosječan godišnji iznos uzmicanja mjeren profilometrima na ogolini Botonega iznosi **0.6 cm**.

Tabela 34 - Iznos uzmicanja jaruga na ogolini Botonega određen profilometrima

Oznaka profilometra	Iznos uzmicanja na profilometru u vremenskom intervalu od 32 mjeseca [cm]
8	1.9
9	2.6
10	1.2
11	1.1
Prosjek	1.7

Podaci o prosječnom godišnjem iznosu uzmicanja bokova jaruga dobiveni s dvije različite metode ukazuju na vrlo nisku produkciju nanosa.

6.2.3.3 Oborine i temperatura na ogolini Botonega

Osnovni klimatski faktori mjereni za pokusnu parcelu Botonega prikazani su u tabelama (Tabela 35 i Tabela 36) i to kao prosječne vrijednosti za razdoblja definirana fotogrametrijskim snimanjem u krupnom mjerilu.

Tabela 35 - Kišomjerni podaci

	Ukupna količina kiše [mm]	Maksimalni intenzitet u razdoblju [mm/h]	Prosječni satni intenzitet [mm/h]	Broj sati s intenzitetom većim od					
				5 l/h	10 l/h	15 l/h	20 l/h	25 l/h	30 l/h
Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	955.6	41.8	7.0	36	13	4	1	1	1
Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (7.10.2009 - 18.1.2011.)	1672.8	40.2	6.9	40	14	7	3	1	1

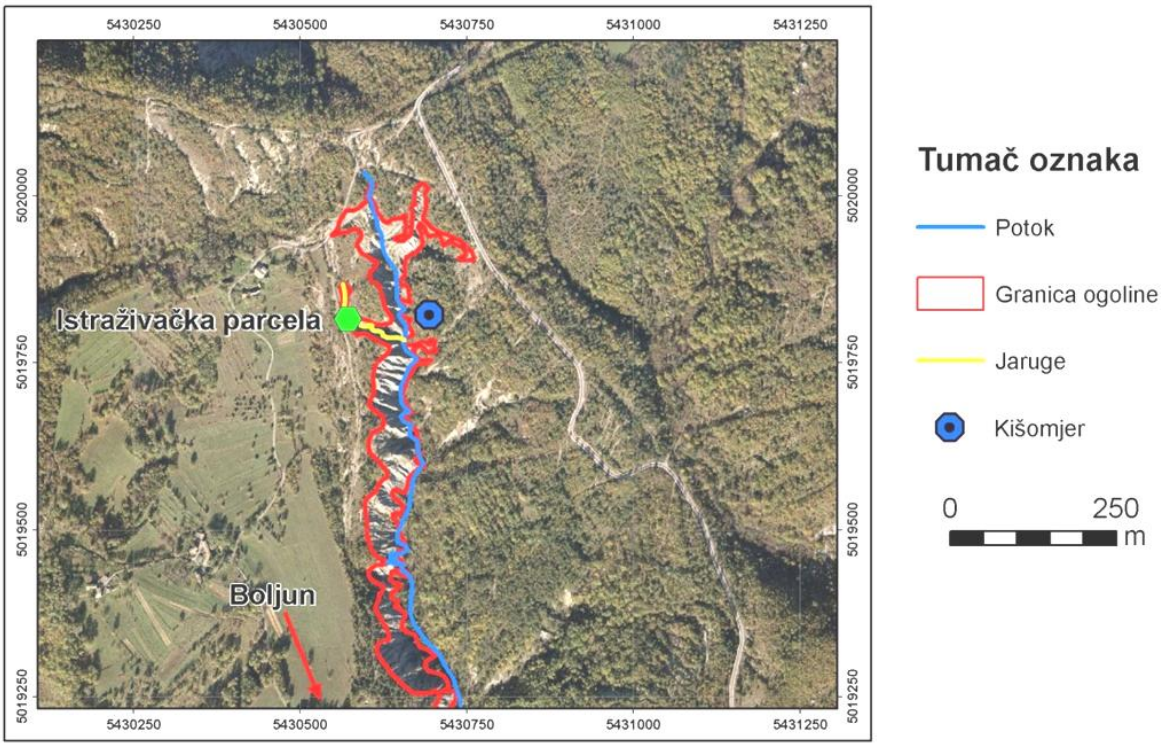
Tabela 36 - Podaci iz logera za mjerenje temperature

	Minimalna temperatura u promatranom razdoblju	Srednja dnevna temperatura	Broj dana s temperaturom ispod ledišta	Srednja dnevna temperaturna razlika u promatranom razdoblju
Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	-8.2	15.9	63.0	22.4
Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (7.10.2009 - 18.1.2011.)	-10.5	13.9	77.0	20.7

Klimatski faktori za Botonegu pokazuju sličnu tendenciju kao i oni prikazani uz pokusnu parcelu Sv. Donat. Naime i ovdje je vidljivo iz obje navedene tabele da se radi o godinama s velikim razlikama u izmjerenim klimatskim faktorima. Analiza i usporedba podataka s iznosima uzmicanja bokova brazdi je prikazana u poglavlju 7.2.1.

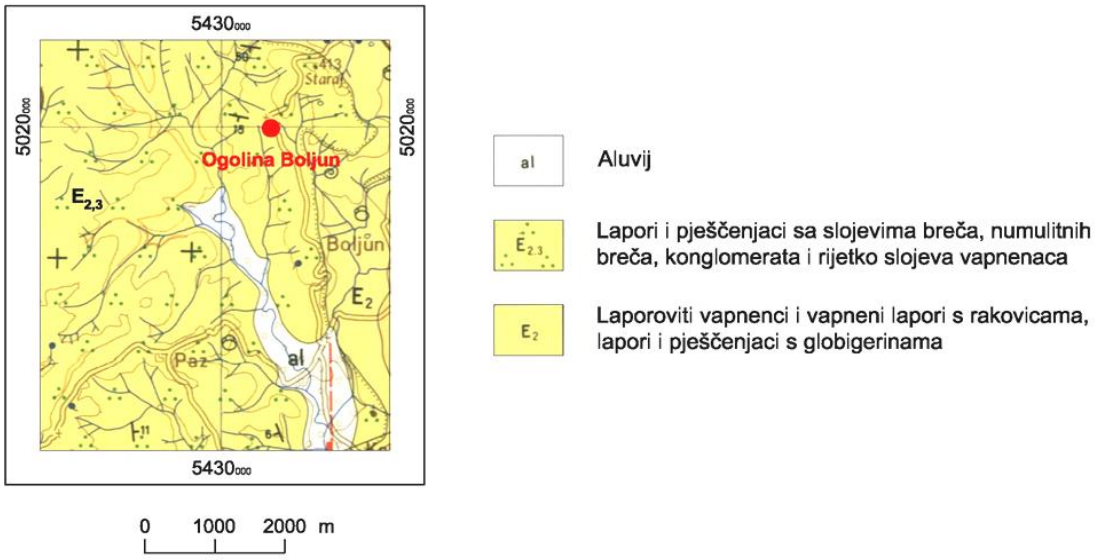
6.2.4 Ogolina Boljun

Ogolina Boljun se nalazi u blizini rijeke Boljunčice 2000 m sjever sjeverozapadno od malog grada Boljuna. Šire područje na kojem je uspostavljena pokusna parcela karakteriziraju velike ogoljele površine terena (Slika 84). Kao što je vidljivo iz orotfoto snimke na slici (Slika 84) jaruga u kojoj je formirana pokusna parcela na svojoj desnoj strmijoj obali ima vrlo malo vegetacijom pokrivenih površina, dok je lijeva obala gušće obrasla grmljem i niskim stablima. Pružanje jaruge je približno 0-180°, dok je orijentacija slojnih ploha 244/28°. Njezina približna duljina iznosi 2300 m, a površina ogoljelog terena uz nju otprilike 51000 m^2.



Slika 84 - Ortofoto snimka ogoline Boljun i šire okolice

Pokusna parcela je smještena unutar flišne serije naslaga i to, kao što se može vidjeti na slici (Slika 85), vrlo blizu kontakta fliša s prijelaznim naslagama. Litološki pokusna parcela je smještena u dio stupa koji karakterizira izmjena debljih (decimetarskih) slojeva lapora i tanjih (centimetarskih) slojeva pješčenjaka u IG jedinicu 3



Slika 85 – Pozicija ogoline Boljun na listu OGK Labin (Šikić i dr., 1967)

Istraživačka parcela koja je locirana gotovo na samom početku jaruge čiji sliv predstavlja jedan od podslivova rijeke Boljunčice uspostavljena je 16.05.2008. godine, a mjerenja na njoj su trajala do 02.12.2010. godine.

Tijekom navedenog istraživačkog perioda obavljena su mjerenja erozije fotogrametrijskim metodama i profilometrima. Iznad parcele postavljen je automatski mjerni uređaj za mjerenje visine i intenziteta oborina, a na samoj parceli postavljen je uređaj za automatsko mjerenje temperature.

6.2.4.1 Odnos kompetentnih i nekompetentnih slojeva

Odnos nekompetentnih (laporovitih) i kompetentnih (pješčenjačkih) slojeva promatran je na mjernom profilu duljine približno 8.5 m i to od vrha pa sve do podnožja pokusne parcele. Za razliku od pokusne parcele Sv. Donat gdje je udio kompetentnih slojeva bio 31% na pokusnoj parceli Boljun taj udio je približno 8% (Tabela 37).

Tabela 37 - Odnos pješčenjaka i lapora na istraživačkoj parceli Boljun

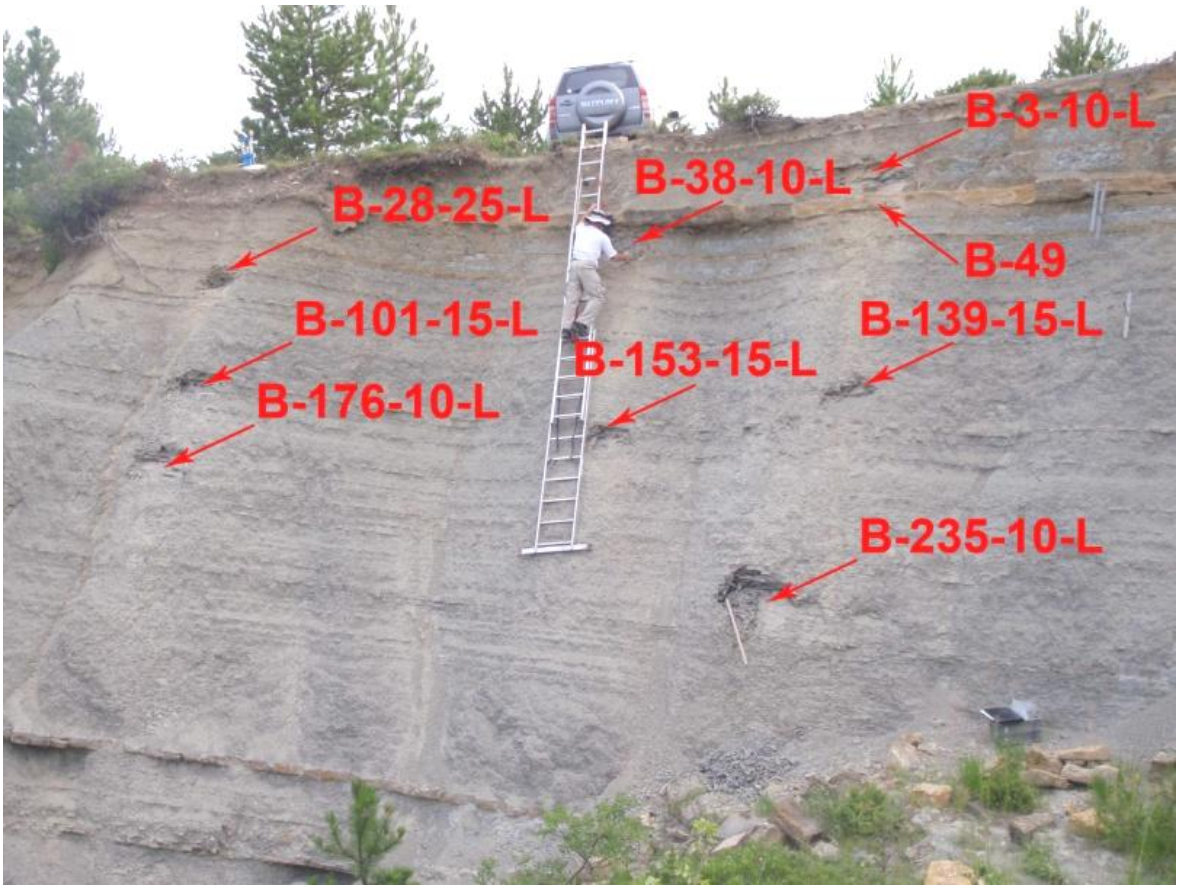
	Kompetentni	Nekompetentni
Srednja vrijednost debljine slojeva [cm]	2.8	29.9
Standardna devijacija debljine slojeva [cm]	3.8	28.1
Postotni udio slojeva na mjernom profilu [%]	8	92

Iz tabele (Tabela 37) se također može uočiti da je aritmetička sredina debljine kompetentnih slojeva (u pravilu pješčenjaka) otprilike 10.5 puta manja od aritmetičke sredine debljine slojeva lapora. Ovdje treba naglasiti postojanje mogućnosti da se tijekom mjerenja debljine slojeva nenamjerno preskočio neki od kompetentnih slojeva. Razlog tome je površinski trošni sloj koji se nalazi u rastresitom stanju zbog čega je vrlo teško prepoznati granice slojnih plohi. No bez obzira na to, činjenica je da su kompetentni slojevi na pokusnoj parceli Boljun tanji i manje učestali od onih na pokusnoj parceli Sv. Donat te se prema tome mogao očekivati različiti režim uzmicanja bokova brazdi na te dvije pokusne parcele.

6.2.4.2 Čvrstoća flišnih naslaga na ogolini Boljun

Određivanje čvrstoće u točki

Čvrstoća flišnih naslaga uzorkovanih na ogolini Boljun je određivana PLT (point load test) metodom na nepravilnim uzorcima. Iako je pokusna parcela Boljun izgrađena i od lapora i od pješčenjaka testirani su samo uzorci lapora. Razlog tome su male debljine slojeva pješčenjaka iz kojih nije bilo moguće dobiti uzorak koji bi odgovarao ISRM standardu po kojemu je test određivanja PLT čvrstoće bio proveden. Ukupno je testirano 96 uzoraka lapora uzetih s 8 točaka raspoređenih uzduž cijele pokusne parcele (Slika 86). Rezultati navedenog testiranja su prikazani u tabeli (Tabela 38).



Slika 86 - Prikaz mjesta na kojima su uzeti uzorci za PLT analizu te mjesta na kojima je izvršeno testiranje Schmidtovim čekićem na ogolini Boljun

Aritmetička sredina normaliziranog indeksa čvrstoće ($Is_{(50)}$) određenog na 8 točaka s pokusne parcele Boljun iznosi 0.86 MPa. Iznos indeksa ukazuje da je čvrstoća lapora na ogolini Boljun malo niža od čvrstoće lapora na ogolini Šterna.

Tabela 38 - Normalizirani indeks čvrstoće ($Is_{(50)}$) za uzorke uzete s ogoline Boljun

Oznaka uzorka	$I_{s(50)}$ [MPa]
B-101-15-L	0.52
B-139-15-L	0.99
B-153-15-L	0.91
B-176-10-L	1.14
B-235-10-L	1.25
B-28-25-L	0.39
B-3-10-L	0.95
B-38-10-L	0.93
Aritmetička sredina	0.89

Određivanje Schmidtove čvrstoće

Schmidtova čvrstoća je na ogolini Boljun određivana na 9 točaka (Slika 86). Obzirom da je pokusna parcela izgrađena od 92 % nekompetentnih slojeva (lapora), testiranje Schmidtovim čekićem je većinom obavljeno upravo na njima. Samo jedan test je izvršen na kompetentnom članu (pješčenjaku). Rezultate navedenog testiranja prikazuje tabela (Tabela 39).

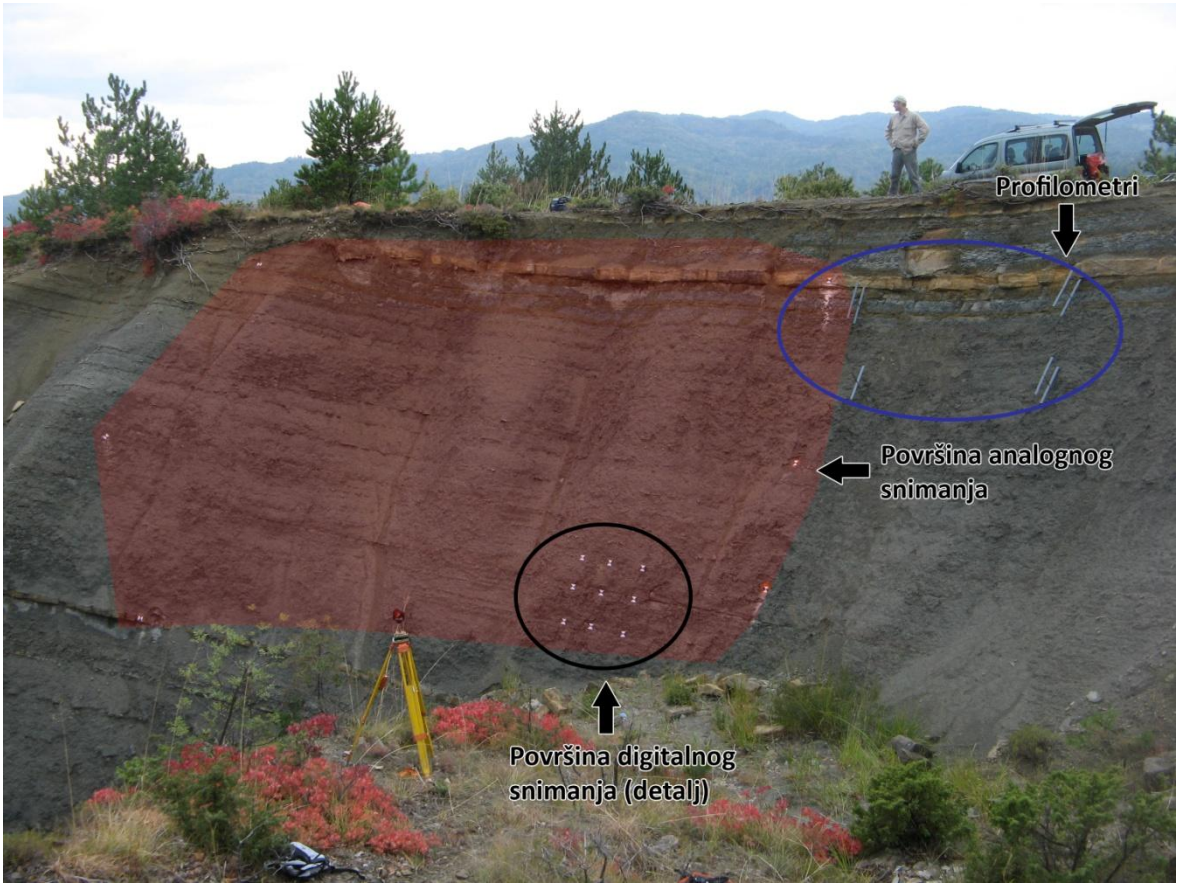
Tabela 39 - Rezultati mjerenja Schmidtove čvrstoće na ogolini Boljun

Oznaka točke	B-176	B-28	B-101	B-139	B-3	B-38	B-153	B-235	B-49
Dubina testa [cm]	10	25	15	15	10	10	15	10	0
Diskontinuitet	SP1	SP1	SP1	SP1	SP1	SP1	SP1	SP1	SP1
Litologija	La	La	La	La	La	La	La	La	Pš
Odskok prem ISRM-u	36.5	24.6	37.0	38.9	26.2	29.2	30.4	41.7	47.7

Iz podataka prikazanih u tabeli (Tabela 39) moguće je dobiti jednoosnu tlačnu čvrstoću pomoću korelacijskih krivulja preporučenih od strane proizvođača uređaja. Ona za lapore iznosi 19.7 MPa, a za pješčenjake 43.0 MPa.

6.2.4.3 Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Boljun

Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Boljun je određivan fotogrametrijskim metodama i profilometrima (Slika 87). Od fotogrametrijskih metoda korištena je i digitalna i analogna i to na sva tri navedena načina (5.2.3.2.3). Od rezultata su prikazani podaci dobiveni digitalnom kamerom u krupnom mjerilu (detalj) te podaci dobiveni analognom kamerom u sitnijem mjerilu. Digitalna metoda snimanja većeg područja (sitnije mjerilo) je zbog mjerila snimanja (5.4.2.2) polučila grešku veću od prosječnog iznosa uzmicanja bokova brazdi pa rezultati ovdje nisu ni prikazani.



Slika 87 - Istraživačka parcela na ogolini Boljun

Digitalno fotogrametrijsko snimanje u krupnom mjerilu

Fotogrametrijsko snimanje izvršeno u krupnom mjerilu na parceli približne površine 16 m^2 i nagiba od 55° do 60° provedeno je u razdoblju od 1.10.2008. godine do 2.12.2010. godine pri čemu je obavljeno nulto, prvo i drugo snimanje. Unutarnja greška pri snimanju je iznosila 1.62 mm. Ukupan iznos uzmicanja bokova jaruga za razdoblje između nultog i prvog te prvog i drugog snimanja prikazan je u slijedećoj tabeli (Tabela 40):

Tabela 40 - Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Boljun određen fotogrametrijskom metodom

	Podaci za razdoblje između nultog i prvog snimanja (1.10.2008-6.10.2009.)	Podaci za razdoblje između prvog i drugog snimanja (6.10.2009.-2.12.2010.)
Prosječno uzmicanje u promatranom razdoblju [cm]	-5,4	-3,6
Broj mjernih točaka	56	30
Broj mjernih točaka na kojima se dogodilo uzmicanje	56	28
Broj mjernih točaka na kojima se dogodilo taloženje	0	2
Prosječno uzmicanje na točkama na kojima se ono i dogodila [cm]	-5,4	-3,8
Prosječno taloženje na točkama na kojima se ono i dogodilo [cm]	0	0,1
Prosječno godišnje uzmicanje [cm]	-5,3	-1,8

Iz prikazane tabele (Tabela 40) se može zaključiti da je ukupno uzmicanje bokova jaruga na pokusnoj parceli Boljun mjereno digitalnom fotogrametrijskom metodom u krupnijem mjerilu u razdoblju između nultog i drugog snimanja (ukupno 792 dana) iznosilo približno 9.0 cm, što odgovara prosječnom godišnjem uzmicanju od **4.1 cm**.

Analogno fotogrametrijsko snimanje u sitnom mjerilu

Fotogrametrijsko snimanje izvršeno analognom kamerom u sitnijem mjerilu na parceli približne površine 95 m^2 i nagiba između 40° i 70° provedeno je u razdoblju od 1.10.2008. godine do 6.10.2009. godina pri čemu je obavljeno nulto i prvo snimanje. Unutarnja greška pri snimanju je iznosila 2.9 mm. Mjerenje je izvršeno na 409 točaka, od kojih je na 43 točke determinirano taloženje, a na 366 točaka uzmicanje. Ukupan iznos uzmicanja bokova jaruga za razdoblje između nultog i prvog snimanja prikazan je u slijedećoj tabeli (Tabela 41):

Tabela 41 - Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Boljun određen analognom fotogrametrijskom metodom u sitnom mjerilu

	Uzmicanja	Taloženja
Broj mjerenja	366	43
Prosjek [cm]	-4.99	1.96
Min [cm]	-0.09	0.09
Max [cm]	-25.45	9.21

Uzimajući u obzir sve podatke (i uzmicanje i taloženje) prosječna vrijednost uzmicanja na ogolini Boljun izmjerena u navedenom razdoblju dobivena metodom analgne fotogrametrije iznosi 4.3 cm. Dobivenu vrijednost je moguće svesti na godišnji vrijednost uzmicanja, a ona iznosi **4.2 cm**.

Mjerenje profilometrima

Mjerenje uzmicanja bokova jaruga metodom profilometara na ogolini Boljun započelo je 16.05.2008. godine, a završno mjerenje je obavljeno 2.12.2010. godine. Iznos uzmicanja je određen na dva postavljena profilometra, a rezultati su prikazani u tabeli (Tabela 42).

Tabela 42 - Iznos uzmicanja bokova jaruga na ogolini Boljun određen profilometrima

Oznaka profilometra	Iznos erozije na profilometru u vremenskom intervalu od 31 mjeseca [cm]
12	8.9
13	7.3
Prosjek	8.1

Iznos uzmicanja bokova brazdi određen metodom profilometara i to u razdoblju od 930 dana približno odgovara vrijednosti od 8,1 cm što predstavlja prosječnu godišnju eroziju u iznosu od **3.2 cm**.

6.2.4.4 Oborine i temperatura na ogolini Boljun

Osnovni klimatski faktori mjereni za pokusnu parcelu Boljun prikazani su u tabelama (Tabela 43 i Tabela 44) i to kao prosječne vrijednosti za razdoblja definirana fotogrametrijskim snimanjem u krupnom mjerilu.

Tabela 43 - Kišomjerni podaci

	Ukupna količina kiše [mm]	Maksimalni intenzitet u razdoblju [mm/h]	Prosječni satni intenzitet [mm/h]	Broj sati s intenzitetom većim od					
				5 l/h	10 l/h	15 l/h	20 l/h	25 l/h	30 l/h
Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (1.10.2008. - 6.10.2009.)	1368.6	31.2	8.7	64	19	10	5	2	1
Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (6.10.2009 - 2.12.2010.)	1787.0	23.2	7.6	65	14	4	3	0	0

Tabela 44 - Podaci iz logera za mjerenje temperature

	Minimalna temperatura u promatranom razdoblju	Srednja dnevna temperatura	Broj dana s temperaturom ispod ledišta	Srednja dnevna temperaturna razlika u promatranom razdoblju
Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (1.10.2008. - 6.10.2009.)	-7.3	15.7	43.0	16.6
Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (6.10.2009 - 2.12.2010.)	-8.7	13.9	50.0	13.6

Klimatski faktori za Boljun pokazuju sličnu tendenciju kao i oni prikazani za prethodne dvije lokacije (Sv. Donat i Botonega). Razlika je ipak vidljiva u ukupnoj količini oborina koja je u prvom istraživačkom razdoblju nešto niža od one u drugom, no nije toliko izražena kao na prethodno opisanim parcelama. Razlog tome je vjerojatno blizina planinskog masiva Učke koji doprinosi višim iznosima količina oborina (Slika 30 a).

Analiza i usporedba podataka s iznosima uzmicanja bokova brazdi je prikazana u poglavlju 7.2.1.

6.3 REGIONALNA ISTRAŽIVANJA

Regionalna istraživanja su u ovom radu podijeljena u dvije faze, a to su prikupljanje podataka i njihova prostorna analiza. Ove dvije faze su se međusobno ispreplitale jer se vrlo često događalo da nakon analize prikupljenih podataka bude ustanovljena njihova neprikladnost (nedostatnost) za određeni tip analize. Tada bi se u pravilu pristupilo analizi detaljnijih podloga ili pak analizi manjeg segmenta istraživanog područja. U nastavku su prikazani rezultati regionalnih istraživanja i to kroz katastar ogolina, a iz njega su derivirane karte udjela ogolina. Ove dvije podloge su predstavljale temelj za daljnju analizu podataka koja je prezentirana u poglavlju 7.3.

6.3.1 Katastar ogolina

Ogoline na području središnje Istre, kao što je već više puta napomenuto, predstavljaju područja koje karakterizira ekscesivna erozija, još točnije to su mjesta na kojima se vrlo intenzivno odvijaju gotovo sve vrste egzogenih procesa. Kako bi se locirala ogoljela područja načinjen je katastar navedenih pojava. Katastar ogolina na području središnje Istre poslužio je za:

1) Određivanje udjela ogoljelih površina u ukupnoj površini istraživanog prostora;
2) Dobivanje prostorne razdiobe ogoljelih površina, tj. determinaciju područja s maksimalnim i minimalnim udjelima navedenih pojava;
3) Provođenje prostornih analiza.

U svijetu su razvijene mnoge tehnike detekcije i izdvajanja područja na kojima se događa slična ekscesivna erozija, a generalno ih možemo podijeliti u dvije grupe to su:

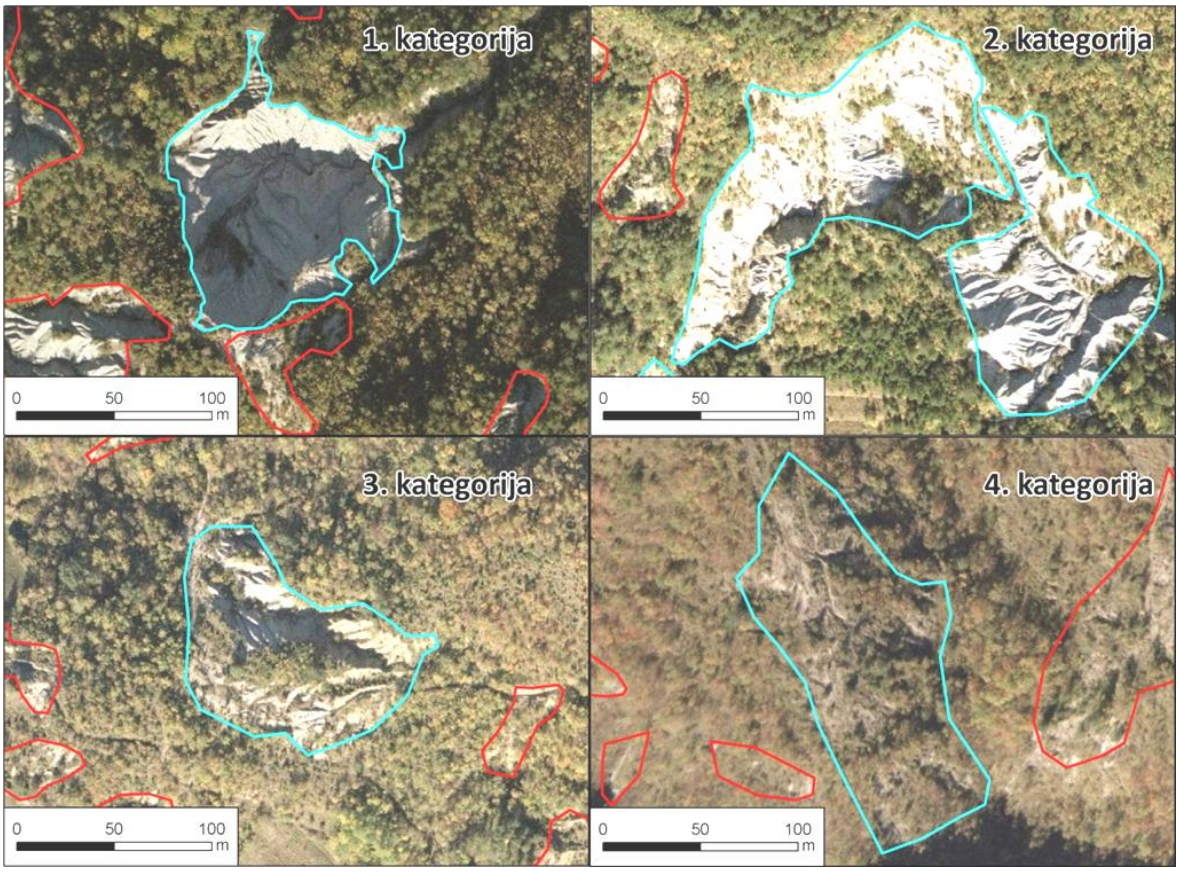
- Terensko kartiranje;
- Daljinsko kartiranje (*eng. remote sensing*).

Kako se radi o velikom području s relativno velikim udjelom ogolina u ukupnoj površini (prema Juraku i Fabiću, 2000 ogoline u slivu Krbunskog potoka zauzimaju 6% površine) nije bilo moguće fizički obići sve ogoline te ih na terenu okonturiti već se morala pronaći metoda kojom će se u kraćem vremenskom roku i uz nižu cijenu koštanja dobiti dovoljno dobar rezultat. Iz tog razloga se pristupilo metodi daljinskog kartiranja. Pregledom ortofoto karata (DOF Hrvatske) tog područja ustanovljeno je da su one vrlo dobra podloga koja se može iskoristiti u gore navedenu svrhu.

Već je u uvodu naveden podatak da je površina istraživanog prostora iznosila približno 487 km^2 na kojem su izdvojene **5568** zasebne ogoljele površine (poligona). Tijekom daljinskog kartiranja ogolina uočeno je da je veći dio njih djelomično obrastao nekom vrstom vegetacije. Zato su tijekom tog procesa izdvajane 4 kategorije ogolina (Tabela 45; Slika 88) i to procjenom opažača.

Tabela 45 – Kategorije ogoljelih površina

Kategorija	Postotak površine prekriven vegetacijom	Faktor umanjenja površine ogolina
1	0	1.00
2	do 25	0.75
3	25 do 75	0.50
4	više od 75	0.25



Slika 88 – Primjeri ogolina različitih kategorija

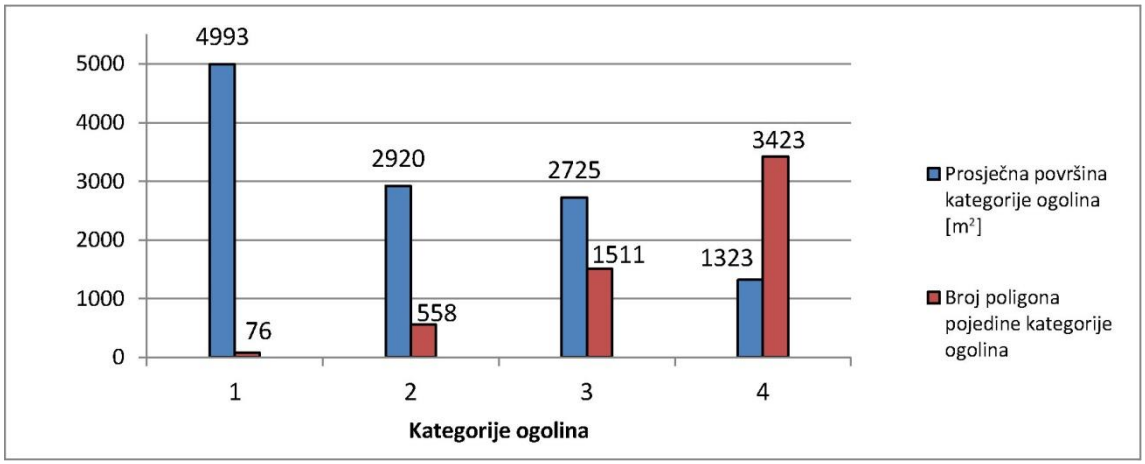
Opisane kategorije su služile prilikom provedbe prostornih analiza prikazanih u nastavku zbog čega je ovdje važno definirati dva pojma, a to su **ogoline** i **ogoljele površine**. Pojam **ogoline** u provedenim prostornim analizama podrazumjeva ukupnu površinu izdvojenih poligona, dok pojmam **ogoljele površine** podrazumjeva ukupnu površinu pomnoženu s faktorom umanjenja prikazanim u tabeli (Tabela 45).

Iz katastra ogolina dobivena je ukupna površina ogolina na istraživanom prostoru koja iznosi 10.7 km^2, što predstavlja 2.2 % od ukupno istraživane površine. Ukupne vrijednosti površina po pojedinim kategorijama prikazane su u tabeli (Tabela 46).

Tabela 46 – Razdioba površina po kategorijama ogolina

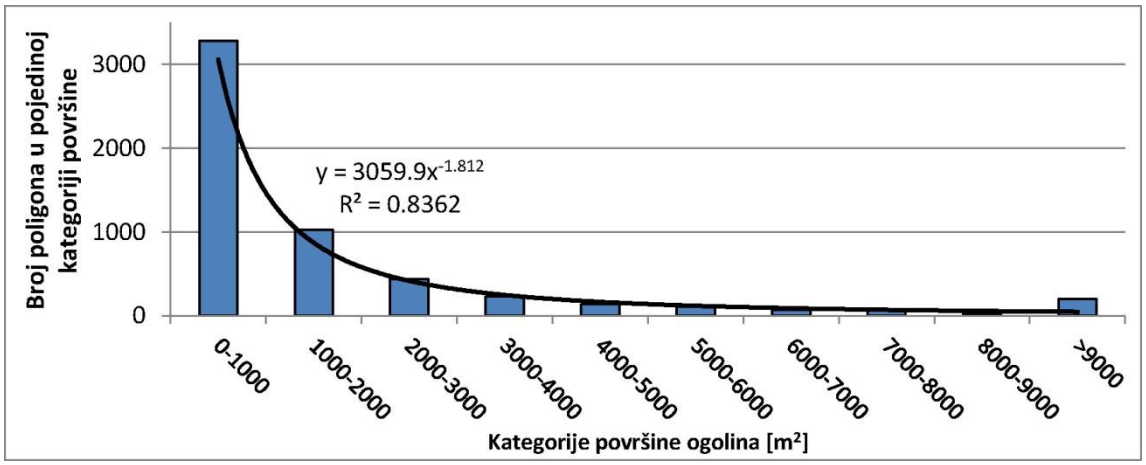
Kategorija	Ukupna površina kategorije na istraživanom prostoru [km^2]	Postotak kategorije u ukupnoj površini ogolina [%]	Postotak kategorije u ukupnoj površini istaživanog prostora [%]	Prosječana površina pojedine kategorije ogolina [m^2]	Broj poligona pojedine kategorije ogolina
1	0.38	3.6	0.08	4993	76
2	1.63	15.3	0.33	2920	558
3	4.12	38.6	0.85	2725	1511
4	4.53	42.5	0.93	1323	3423

U tabeli (Tabela 46) je također prikazano prosječna površina ogolina po pojedinoj kategoriji te broj poligona pojedine kategorije ogolina. Zorniji prikaz ove dvije statističke veličine predstavlja histogram prikazan na slici (Slika 89). Iz njega se vidi da prosječna površina ima trend rasta idući od prve pa prema četvrtoj kategoriji, dok broj poligona po pojedinoj kategoriji ogolina ima obrnuti trend.



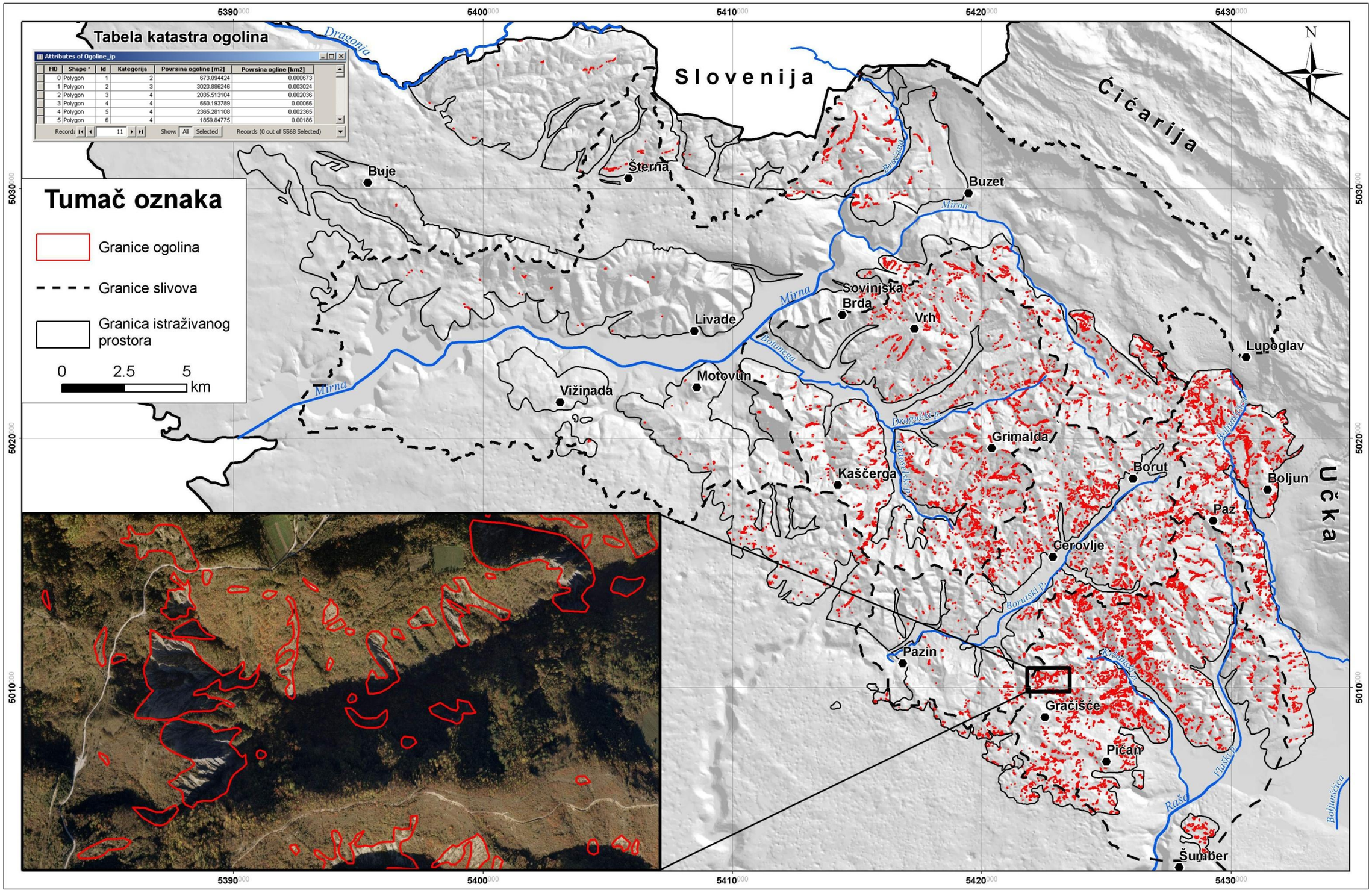
Slika 89 – Prosječna površina i broj poligona pojedinih kategorija ogolina

Kako bi se još bolje sagledala razdioba površina ogolina na istraživanom prostoru izrađen je histogram (Slika 90) na kojemu je izdvojeno 10 kategorija površina ogolina sa širinom razreda od 1000 m^2. Iz njega je vidljivo da najveći broj izdvojenih poligona ima površinu do 1000 m^2. Ostale kategorije karakterizira manji broj poligona, a taj trend pada se može izraziti pomoću funkcije prikazane uz graf (Slika 90).



Slika 90 – Razdioba kategorija površina ogolina

Slika (Slika 91) prikazuje istraživano područje i izdvojene poligone ogoljelog terena i to u mjerilu približno 1:150 000. Na slici (Slika 91) je također prikazan detalj u krupnijem mjerilu na kojemu je podloga ortofoto snimka terena s lako uočljivim ogoljelim površinama. U gornjem lijevom uglu slike (Slika 91) je prikazana atributna tablica s površinama pojedinih poligona te s poljem "Kategorija" u kojemu je tijekom vektorizacije upisivan broj koji ovisi o pokrivenosti pojedine ogoline vegetacijom kako je gore objašnjeno.



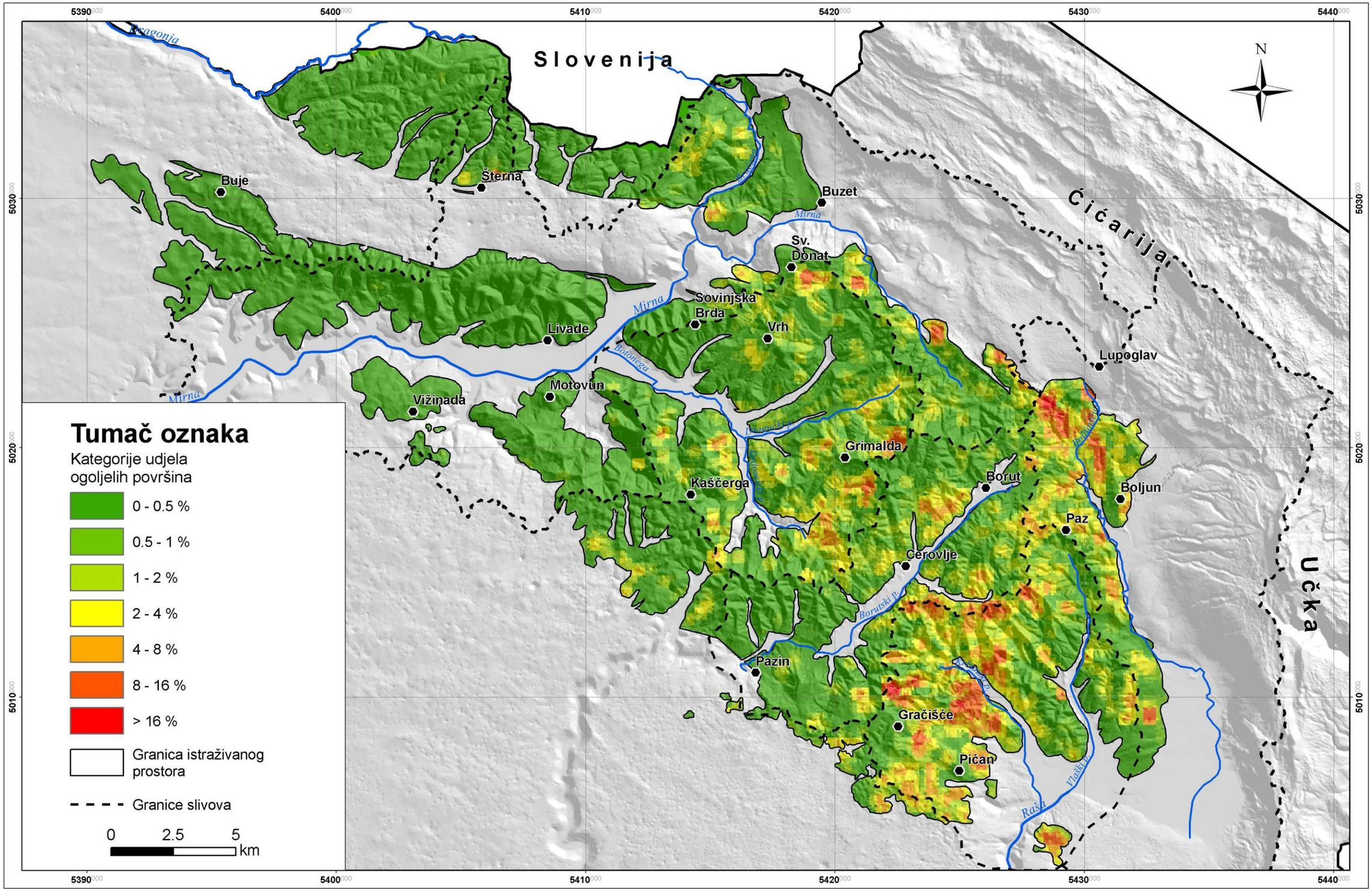
Slika 91 – Katastar ogolina na području središnje Istre

6.3.2 Prostorna distribucija udjela ogolina

Katastar ogolina poslužio je za izradu karte udjela ogoljelih površina prikazane na slici (Slika 92). Karta je izrađena tako da je istraživani teren podijeljen mrežom kvadratića dimenzija stranica 250 m. Svakom pojedinom kvadratiću pridružena je površina ogolina unutar dotičnog kvadratića. Nakon toga je površina ogolina unutar pojedinog kvadratića umanjena za faktor pokrivenosti terena vegetacijom (Slika 88) te potom podijeljena s površinom kvadratića (62500 m^2). Na taj način se dobio udio ogoljlih pvršina unutar svakog pojedinog kvadratića. Kvadratićna mreža je zamijenjena mrežom točaka smještenih u središta kvadrata kojima je opet pridružena vrijednost udjela ogoljelih površina na dotičnom kvadratu. Mreža točaka je poslužila za interpolaciju udjela ogoljelih površina metodom Kriginga kojom je dobivena rasterska karta veličine ćelije 100 m.

Na karti je izdvojeno sedam kategorija udjela ogoljelih površina granice kojih su prikazane na legendi uz kartu na slici (Slika 92). Maksimum, od preko 40 % ogoljele površine terena, zabilježen je sjeverozapadno od Boljuna i jugozapadno od Lupoglava na krajnjim sjevernim granicama flišnog dijela sliva rijeke Boljunšćice. Općenito tako visoke vrijednosti udjela ogoljelih površina su vezane za krajnji istočni dio istraživanog prostora i to u području sliva Boljunšćice i Raše te na krajnjim istočnim i sjevernim granicama sliva Botonega. Minimalne vrijednosti udjela ogoljelih površina, tj. područja u kojima ogoline nisu zabilježene uglavnom su zabilježene na krajnjim zapadnim dijelovima sliva Mirne te na južnom dijelu Borutskog potoka, tj. u okolici Pazinske jame.

Diskusija provedena u nastavku je između ostalog imala za cilj determiniranje razloga nastanka pojedinih maksimuma udjela ogolina i ogoljelih površina na istraživanom području. Pri tome su se pokušali u vezu staviti svi dostupni geomorfološki i geološki podaci.



Slika 92 – Karta udjela ogoljelih površina

7 DISKUSIJA

U uvodu je naznačeno da su ciljevi rada fokusirani na tri kategorije veličine područja i to na kategoriju uzorka, kategoriju izdanka i kategoriju regije. Diskusija prikazana u nastavku je koncipirana upravo takvim redosljedom u kojemu su prvo obrađeni i analizirani svi rezultati dobiveni terenskim i laboratorijskim mjerenjima na uzorcima, zatim terenskim mjerenjima na razini izdanka, te je na kraju prikazana prostorna analiza u kojoj su između ostalog korišteni i podaci dobiveni iz dva prethodno naznačena veličinska područja. Na kraju diskusije je predstavljen inženjerski osvrt na dosadašnje mjere zaštite od erozije te su prikazane preporuke za njihovo poboljšanje.

7.1 POSTOJANOST LAPORA

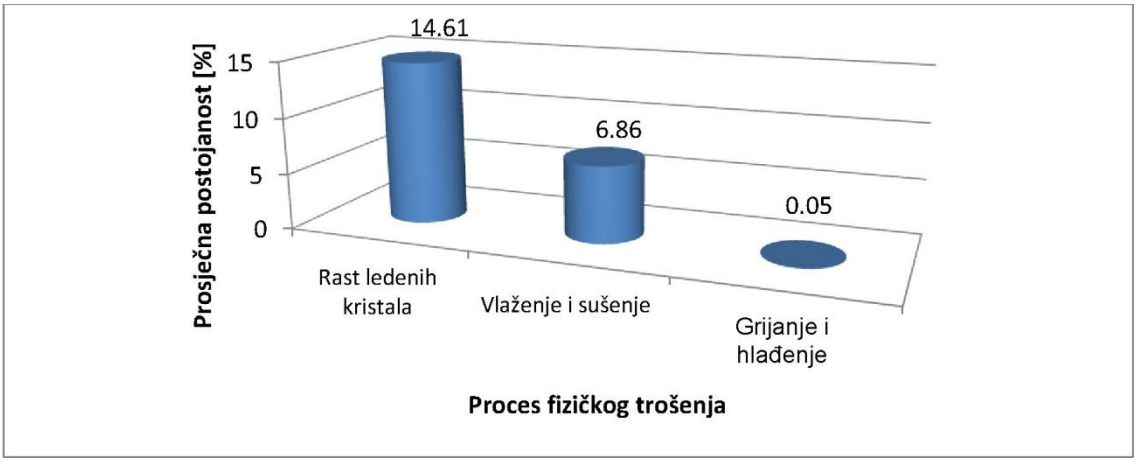
Laboratorijska i terenska istraživanja na uzorcima su imala za cilj određivanje postojanosti materijala stijene, određivanje najutjecajnijeg procesa fizičkog trošenja, determinaciju optimalne laboratorijske ili terenske metode procjene postojanost te detekciju najvažnijeg mineraloško-petrografskog faktora koji utječe na postojanost. Pri tome se polazilo od hipoteze da su manje postojani uzorci, tj. sveukupno gledajući manje postojana stijenska masa podložnija formiranju ogolina što se pokušalo dokazati u nastavku predstavljenim prostornim analizama (7.3.4). Svi testovi provođeni na istraživanom porostoru su u fokusu imali lapore kao najnepostojanije litološke članove svih definiranih IG jedinica.

7.1.1 Fizičko trošenje

U ovom radu su provođene različite metode određivanja postojanosti kako bi se utvrdilo koji od procesa fizičkog trošenja najviše utječe na postojanost uzoraka. Tako se može reći da su testovi provedeni na uzorcima iz 0., 1. i 3. serije (Tabela 5) simulirali fizičko trošenje kao poslijedicu rasta ledenih kristala u porama, iz 2. i 5. serije su simulirali proces

vlaženja i sušenja, dok je 4. serija testiranih uzoraka simulirala proces grijanja i hlađenja, tj. insolacije (2.2).

Prema prikazanim rezultatima laboratorijskih ispitivanja najutjecajniji proces fizičkog trošenja je svakako rast ledenih kristala, što je vidljivo iz histograma na slici (Slika 93) na kojem su prikazana sva tri gore navedena procesa. Grijanje i hlađenje predstavlja najmanje utjecajan proces jer prosječna postojanost za ovaj proces iznosi tek 0.05 %. Valja naglasiti da su u ovoj analizi u obzir uzeti svi istraživani uzorci bez obzira u koju IG jedinicu ili u koji litološki član pojedine IG jedinice spadali. Broj uzoraka testiranih na proces rasta ledenih kristala je iznosio 100, vlaženja i sušenja 73 te grijanja i hlađenja 50.



Slika 93 – Utjecaj različitih fizičkih procesa trošenja na postojanost uzoraka

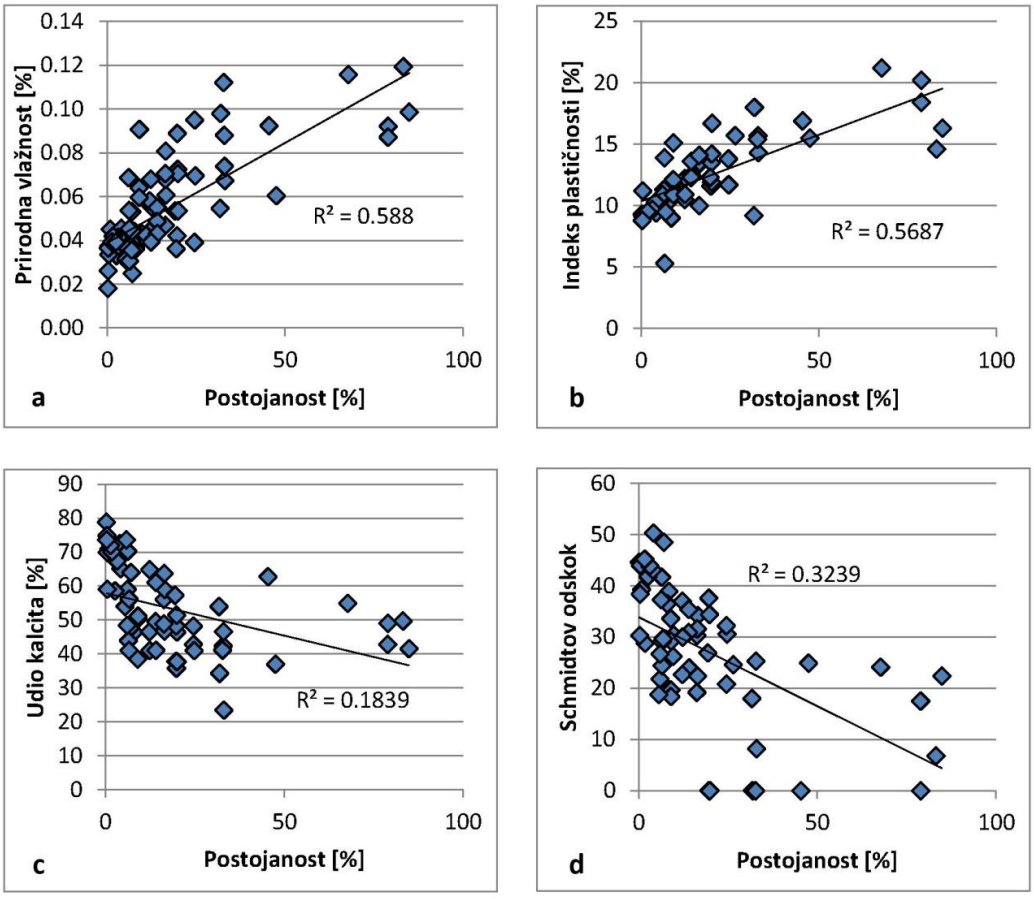
7.1.2 Utvrđivanje optimalne metode procjene postojanosti

Pretpostavka da je manje postojana stijenska masa na terenu označena s većim udjelom ogolina ponukala je provođenje različitih laboratorijskih i terenskih testiranja kojima je cilj bio određivanje optimalne metode determinacije postojanosti. Naime test određivanja postojanosti u kojem se koriste opetovani ciklusi vlaženja i sušenja, smrzavanja i odmrzavanja te grijanja i hlađenja, iako prilično niske cijene koštanja, iziskuje puno vremena. Stoga je za neke inženjerske projekte s nešto intenzivnijom dinamikom vrlo važno odrediti postojanost metodama za provođenje kojih nije potrebno toliko vremena, a s cijenom koštanja koja je u razini standardnih metoda određivanja postojanosti (2.2). U tu svrhu su korišteni sljedeći testovi i metode:

1) Određivanje prirodne vlažnosti;
2) Određivanje indeksa plastičnosti usitnjenih uzoraka lapora;
3) Određivanje udjela kalcita (kalcimetrija);
4) Određivanje Schmidtovog odskoka.

Korelacije prikazane na dijagramima (Slika 94) uzele su u obzir samo uzorke koji predstavljaju nepostojane (nekompetentne) članove IG jedinica što znači uglavnom lapore. Također u korelacije su uvršteni samo rezultati postojanosti dobiveni iz serija 1. i 3. jer je njima determinirana postojanost obzirom na najutjecajniji proces fizičkog trošenja – rast ledenih kristala.

Iz prikazanih dijagrama na slici (Slika 94) se vidi da su najviši faktori korelacije zabilježeni prilikom korelacije postojanosti s prirodnom vlažnosti i indeksom plastičnosti i to oba veća od 0.55. Najnižu ovisnost pokazuje korelacija između postojanosti i udjela kalcita u uzorku (R^2=0.18), dok nešto bolju ovisnost pokazuje korelacija postojanosti i Schmidtovog odskoka (R^2=0.32).



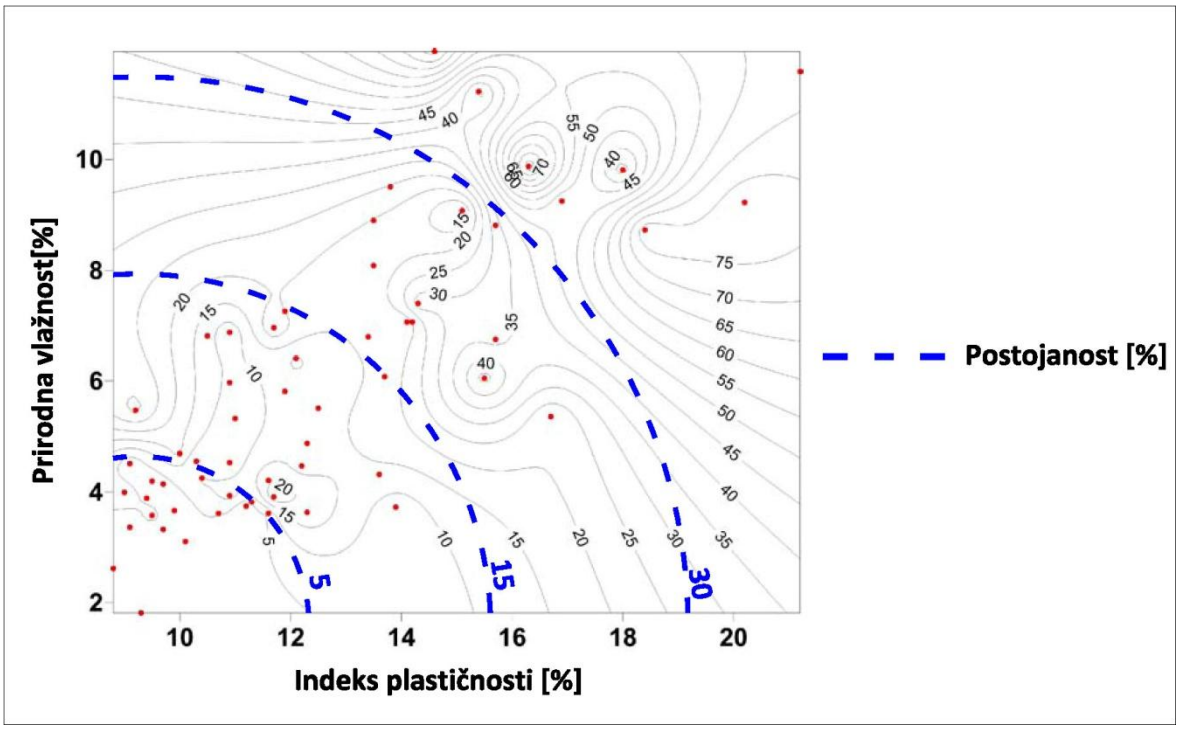
Slika 94 – Ovisnost postojanosti lapora o drugim parametrima: a) Postojanost – prirodna vlažnost; b) Postojanost – indeks plstičnosti; c) Postjanost – udio kalcita; d) Postojanost – Schmidtov odskok

Postojanost ne ovisi o udjelu kalcita jer uz minerale glina u uzorcima lapora vrlo često dolazi i kvarc koji u većim količinama može jako povećati postojanost nekog uzorka.

Schmidtov odskok kao mjera čvrstoće nekog uzorka ne može poslužiti za određivanje postojanosti bez obzira što čvrstoća lapora u pravilu jako ovisi o udjelu minerala glina pa što im je udio veći, čvrstoća bi trebala biti manja i obrnuto. Problem pri takvoj procjeni može biti činjenica da Schmidtova čvrstoća ovisi i o drugim faktorima kao što je na primjer razmak diskontinuiteta i prisustvo deformacija u uzorku. Ovi faktori ne moraju značajno snižavati postojanost, no na Schmidtovu čvrstoću značajno utječu.

Za prirodnu vlažnost bi se moglo reći da dobro odražava poroznost materijala lapora, tj. da viša prirodna vlažnost ukazuje na višu poroznost koja očito u velikoj mjeri snižava postojanost lapora. Slično tome bi se moglo reći da indeks plastičnosti direktno ovisi o udjelu i sastavu minerala gilina u nekom uzorku pa je on pouzdana indikacija prisustava minerala glina koji također smanjuju postojanost lapora. Iz navedenog bi se moglo zaključiti da postojanost najviše ovisi o poroznosti te o udjelu i sastavu minerala glina pa je procjena postojanosti preko ove dvije varijable zapravo najopravdanija.

Navedeni zaključak ponukao je izradu dijagrama (Slika 95) na kojemu su u odnos stavljeni indeks plastičnosti i prirodna vlažnost. Treću dimenziju čini postojanost koja je na slici (Slika 95) prikazana izolinijama. Iako izolinije postojanosti na slici (Slika 95) karakterizira izvjesna razvedenost moguće je izdvojiti, s većom ili manjom točnošću 4 kategorije uzoraka obzirom na indeks plastičnosti, prirodnu vlažnost i postojanost. Pri tome se uočava trend smanjenja postojanosti s povećanjem indeksa plastičnosti i prirodne vlažnosti.



Slika 95 – Dijagram indeks plastičnosti – prirodna vlažnost - postojanost

7.1.3 Utjecaj vrste minerala glina na postojanost

Pretpostavka da bubrenje kao jedna od najvažnijih fizičkih značajki minerala glina i to posebno onih iz skupine smektita jako utječe na postojanost uzoraka lapora je logična zbog činjenice da se lapor može sastojati od 20 do 80 % minerala glina. Opetovanim vlaženjem i sušenjem uzoraka lapora bogatih mineralima glina dolazi do njihovog opetovanog bubrenja i stezanja čime je lapor konstantno izložen promjeni naprezanja koja malo po malo kida veze među mineralnim zrnima te na taj način dezintegrira uzorak (2.2).

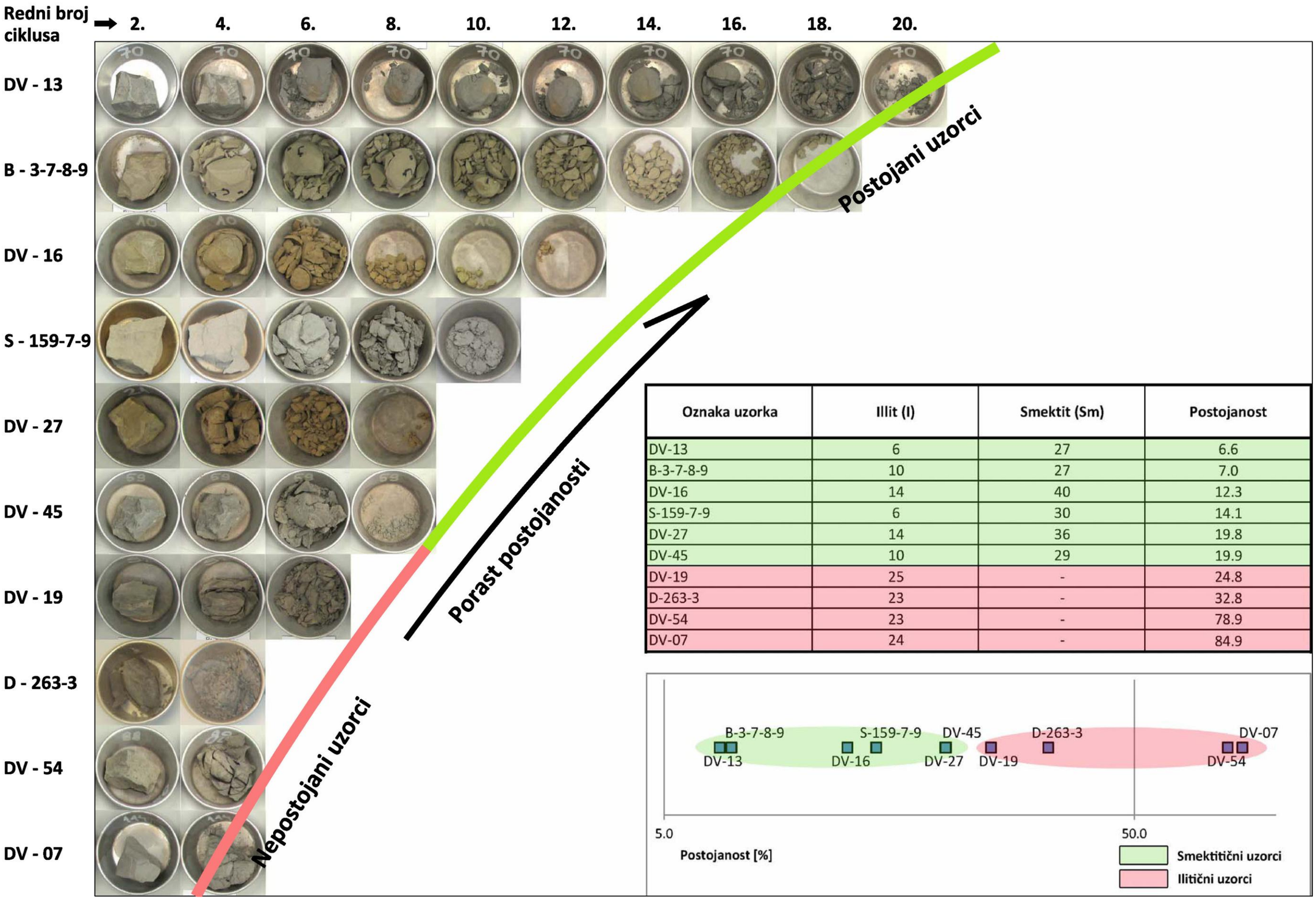
Navedeno je ponukalo provođenje kvantitativne rendgenske analize koja je imala za cilj odrediti udjele pojedinih minerala, a posebno udjele minerala glina u laporima. Rezultati dobiveni analizom su prikazani u tabeli (Tabela 47).

Tabela 47 – Udio minerala i postojanost uzoraka lapora

Uzorak	Kalcit (Cal) [%]	Kvarc (Qtz) [%]	Feldspat (Fs) [%]	Illit (I) [%]	Kaolinit (Kln) [%]	Klorit (Chl) [%]	Smektit (Sm) [%]	Vermikulit (V) [%]	Postojanost [%]
DV-13	39	4	12	6	5	7	27	-	6.6
B-3-7-8-9	28	6	14	10	6	9	27	(+)	7.0
DV-16	23	6	11	14	6	-	40	(+)	12.3
S-159-7-9	39	4	9	6	6	6	30	-	14.1
DV-27	20	10	12	14	8	-	36	(+)	19.8
DV-45	31	4	14	10	4	8	29	-	19.9
DV-19	24	7	18	25	13	13	-	-	24.8
D-263-3	23	7	17	23	14	16	-	-	32.8
DV-54	23	6	20	23	14	14	-	-	78.9
DV-07	24	7	17	24	15	13	-	-	84.9

Analiza podataka koja je uključivala usporedbu postojanosti za pojedine uzorke s udjelom minerala smektita i ilita prikazuje slika (Slika 96). Na slici (Slika 96) je prikazan suprotan trend koji opovrgava hipotezu iz uvodnog dijela ovog poglavlja - *veći udio smektita = niža postojanost*. Naime iz tabele koja se nalazi u donjem desnom uglu slike (Slika 96) je vidljivo da uzorke s nižom postojanošću (>20%) karakterizira potpuni nedostatak minerala iz grupe smektita i obrnuto uzroci s višom postojanošću (<20%) pokazuju i visoke udjele smektita.

U prirodi u pravilu na neku pojavu ne utječe samo jedan faktor pa je tako i ovdje slučaj da uz vrstu minerala na postojanost utječu i uvjeti u kojima se nalazila stijena na površini terena. Naime, vrlo važno je znati na koji način nastaju pojedini minerali jer uvjeti geneze mogu jako utjecati na fizička i mahanička svojstva recentnih uzoraka. Ovdje je važno napomenuti da ilit vrlo često u površinskim uvjetima i pri niskim temperaturama (uvjeti na površini ogolina s kojih su uzeti uzorci) može nastati procesom ilitizacije smektita i to opetovanim vlaženjem i sušenjem (Eberl i dr., 1986). U prisustvu kalijevih iona ciklusi vlaženja i sušenja vode fiksaciji kalija i formiranju ilitnih slojeva (Mileusnić, 2007). Ciklusi vlaženja i sušenja su karakteristični za površinu terena te je stoga logično zaključiti da su uzorci označeni crvenom šrafurom na slici (Slika 96) na površini terena proveli duže vremena, dakle dovoljno da se smektit u potpunosti preobrazi u ilit. Ciklusi vlaženja i sušenja koji su se očito dogodili na terenu (jer u suprotnom ne bi nastao ilit) su oslabili stijenu do te mjere da su se uzorci u laboratoriju raspadali već nakon 5. ciklusa vlaženja i sušenja.



Oznaka uzorka	Illit (I)	Smektit (Sm)	Postojanost
DV-13	6	27	6.6
B-3-7-8-9	10	27	7.0
DV-16	14	40	12.3
S-159-7-9	6	30	14.1
DV-27	14	36	19.8
DV-45	10	29	19.9
DV-19	25	-	24.8
D-263-3	23	-	32.8
DV-54	23	-	78.9
DV-07	24	-	84.9

Slika 96 – Ovisnost postojanosti o vrsti minerala glina

Analizom fotografija dva ekstrema iz prethodne analize (Slika 97 a i b), u ovom slučaju uzorka DV-13 i DV-07, može se zaključiti da udio ilita vrlo često upućuje na aktivnost ogolina. Iz slike (Slika 97 a) se vidi da prikazanu ogolinu (ogolina TIPA 1, zavjesasti tip ogoline, 7.6.1) karakterizira visok iznos denudacije na što upućuje stablo bora koji gubi podlogu iz koje raste. Procijeni li se njegova starost na nekih 20 do 30 godina lako se može zaključiti da je minimalni iznos uzmicanja bokova brazde na mjestu ispod bora 3 do 5 cm godišnje. S druge strane slika (Slika 97 b) prikazuje u pogledu erozije slabije aktivnu ogolinu (ogolina TIPA 4, ogolinu obraslu vegetacijom u IG cjelini 4, 7.6.4) na kojoj su vidljivi borovi i trava (slika je iz veljače) dakle vegetacija za razvoj koje je potrebno da podloga određeno vrijeme bude stabilna (bez značajnog iznosa erozije). Sve navedeno ukazuje na nisku denudacijsku aktivnost ogoline prikazane na slici (Slika 97 b), tj. stijenski materijal na površini ogoline je dovoljno vremena bio stabilan što je, moguće, pogodovalo preobrazbi smektita u ilite.

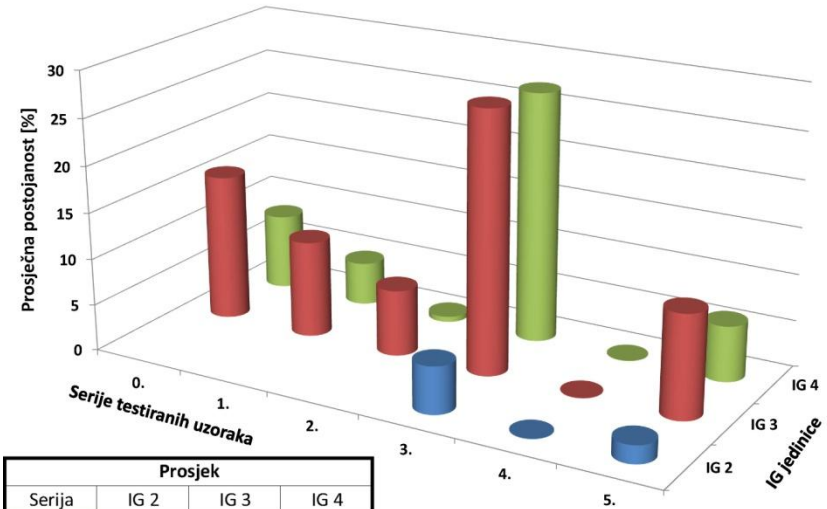
Slika 97 – Ogoline s različitim intenzitetom denudacijskih procesa; a) ogolina s visokim iznosima uzmicanja boka jaruge; b) ogoline obrasle vegetacijom u IG jedinici 3

Iz svega navedenog se može zaključiti da ilit u laporu koji je duže vrijeme bio izložen na površini nastaje kao posljedica opetovanog vlaženja i sušenja. Ta činjenica objašnjava brzu dezintegraciju lapora u laboratorijskom testu određivanja postojanosti, a isto tako ona posredno može upućivati na iznose denudacije na promatranom ogoljelom terenu. Ovi zaključci upućuju da povećan udio smektita nije najvažniji faktor koji će pospješivati brže

trošenje lapornih jedinica. Kao najvažnij faktor snižavanja postojanosti nekog uzorka mogu se istaći uvjeti u kojima se uzorak nalazio na površini. Također postojanost neke stijene se nikako ne može smatrati glavnim faktorom koji utječe na nastanka ogolina ili pak na brzinu denudacije što dokazuju slika (Slika 97 a i b). Stijensku masu na slici (Slika 97 a) karakterizira visoka postojanost i visoki iznos denudacije, a stijensku masu na slici (Slika 97 b) niska postojanost i niski iznosi denudacije. Jedino što razlikuje dva prikazana slučaja je energija toka u podnožju ogoline koja je definitivno veća na slici (Slika 97 a). Navedena konstatacija predstavlja vrlo važan zaključak kojega se u nastavku, a posebno u poglavlju koje obuhvaća prostorne analize, detaljnije obrazlaže.

7.1.4 Postojanost lapora definiranih inženjerskogeoloških jedinica

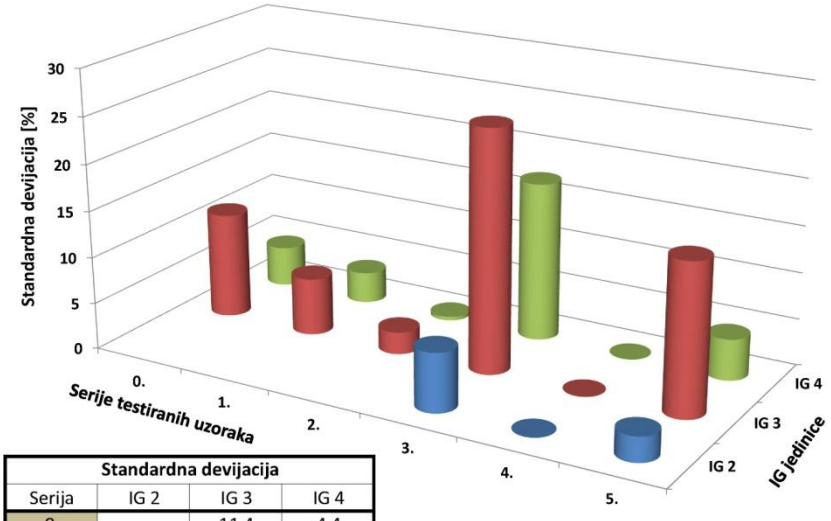
Cilj ove kratke diskusije u vezi s postojanošću uzoraka iz pojedine definirane IG jedinice (6.1) je utvrđivanje najnepostojanije među njima. U tu svrhu izrađen je dijagram prikazan na slici (Slika 98) na kojem je vidljivo da najnižu postojanost imaju uzorci lapora uzeti iz IG jedinice 3, zatim slijede oni uzeti iz IG jedinice 4 te na kraju uzorci iz IG jedinice 2.



Prosjek			
Serija	IG 2	IG 3	IG 4
0.		15.8	8.2
1.		10.4	4.7
2.		7.1	0.6
3.	5.1	28.1	27.0
4.	0.042	0.050	0.052
5.	1.9	11.1	6.0

Slika 98 – Prosječana postojanost nekonpetentnih članova IG jedinica za sve provedene serije testiranja

Što se pak tiče srednjeg kvadratnog odstupanja ili standardne devijacije (Slika 99) može se reći da je i ovaj statistički parametar vrlo visok za sve tri prikazane jedinice, a najviši je kod uzoraka iz IG jedinice 3. Ovaj podatak govori o heterogenosti građe flišnog kompleksa naslaga, ali isto tako u velikoj mjeri upućuje na prethodno diskutiranu pojavu kemijskog trošenja lapora koja nastaje kao posljedica fizičkog trošenja u vidu opetovanog vlaženja i sušenja. Kako je uzorkovanje na svim lokacijama obavljeno na površini terena (dubine nisu prelazile 30 cm) utjecaj fizičkog trošenja na alteraciju mineralnih vrsta uzorkovanog materijala je logičan. Podaci o visokim standardnim devijacijama možda više upućuju na mineralnu heterogenost dijelova stijenske mase izloženih na površini nego na ukupnu heterogenost kompleksa.



Standardna devijacija			
Serija	IG 2	IG 3	IG 4
0.		11.4	4.4
1.		6.2	3.4
2.		2.4	0.4
3.	6.4	26.0	17.1
4.	0.006	0.015	0.019
5.	2.7	16.2	4.4

Slika 99 – Standardna devijacija postojanosti nekompetentnih članova IG jedinice za sve provedene serije testiranja

Heterogenost flišnog kompleksa naslaga je utvrđena i prostornom analizom koja je predstavljena u poglavlju 7.3.4. Obzirom da u toj analizi nije utvrđeno grupiranje ekstrema na većoj površini terena može se zaključiti da amplitude u mineralnom sastavu, a onda i u postojanosti predstavljaju lokalnu pojavu te je prema tome ocjenjivanje flišne stijenske mase kao kvazihomogenog medija u poglavlju 7.3.5 opravdano.

7.2 ISTRAŽIVANJA NA POKUSNIM PARCELAMA

Istraživanja na pokusnim parcelama su predstavljala tehnički i logistički najkompliciraniji segment istraživanja u ovom radu jer su mjerenja iziskivala veliku količinu opreme koju je trebalo prenijeti na uglavnom vrlo nepristupačan teren (šikara i nisko grmlje). Cilj istraživanja na pokusnim pracelama je bila determinacija faktora koji najviše utječu na denudacijske procese i to na razini izdanka, te pronalaženje optimalne metode mjerenja iznosa uzmicanja bokova jaruga. S tim u vezi su tijekom dužeg vremena praćeni osnovni klimatološki parametri rezultati kojih su prikazani uz svaku pokusnu parcelu u poglavlju 6.2, a također je praćena denudacija na 4 lokacije pomoću tri metode mjerenja (profilometri, digitalna fotogrametrija, analogna fotogrametrija).

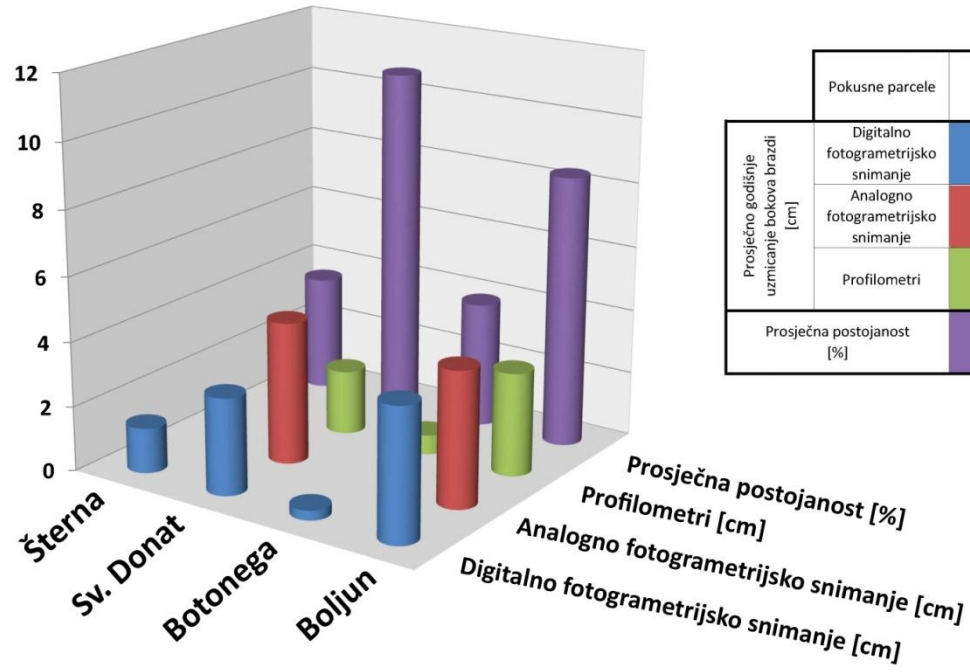
7.2.1 Denudacijski faktori na razini izdanka

Lokacije koje su bile odabrane za pokusne parcele pokrivale su sve definirane IG jedinice. Tako je Botonega predstavljala IG jedinicu 1 i 2, Sv. Donat i Boljun IG jedinicu 3, a Šterna IG jedinicu 4. Također su navedene lokacije bile smještene na dva najvažnija tipa ogolina (opisane u nastavku, 7.5) u okviru istraživanog prostora središnje Istre, a to su ogoline tipa 1 (Sv. Donat i Boljun) te ogoline tipa 3 (Botonega i Šterna).

Obzirom da su se sve ogoline nalazile u blizini vrlo erozivnih tokova najvažniji faktor nastanka i opstanka ogolina (postojanje erozivnog toka u neposrednoj blizini ogoline) je u sva 4 slučaja bio prisutan. To znači da su se na lokacijama definiranih pokusnih parcela mogli nesmetano pratiti ostali važni parametri.

7.2.1.1 Litologija

Litologija predstavlja najvažniji faktor koji utječe na uzmicanje bokova brazdi uz preduvjet da je zadovoljeno konstantno odnošenje akumuliranog materijala iz podnožja ogoline. To dokazuje usporedba dobivenih laboratorijskih vrijednosti postojanosti uzoraka i vrijednosti uzmicanja bokova jaruga (Slika 100) dobivenih pomoću metoda navedenih u poglavlju 5.2.3.



	Pokusne parcele		Šterna	Sv. Donat	Botonega	Boljun
Prosječno godišnje uzmicanje bokova brazdi [cm]	Digitalno fotogrametrijsko snimanje		1.4	3.0	0.3	4.1
	Analogno fotogrametrijsko snimanje			4.4		4.2
	Profilometri			2.0	0.6	3.2
Prosječna postojanost [%]			3.6	10.7	3.9	8.4

Slika 100 – Usporedba postojanosti uzoraka lapora i vrijednosti uzmicanja bokova brazdi dobivenih različitim metodama

Iako vrijednosti uzmicanja bokova jaruga i postojanosti nisu na grafu (Slika 100) u istim mjernim jedinicama jasno je vidljiv isti trend. Ogoline Sv. Donat i Boljun koje su izgrađene od IG jedinice 3 označavaju najveći iznosi uzmicanja bokova jaruga te najniža postojanost lapora (najviše postotne vrijednosti izgubljene mase tijekom jednog ciklusa). Ogoline izgrađene isključivo od lapora (Botonega i Šterna) pokazuju višu potojanost te sukladno tome i niže vrijednosti uzmicanja bokova jaruga.

7.2.1.2 Klimatski čimbenici

U poglavlju 6.2 su prikazane tabele s vrijednostima klimatskih čimbenika za sve obrađivane lokacije koje su u nastavku uspoređene s podacima uzmicanja bokova brazdi dobivenih metodom digitalne fotogrametrije (Slika 101). Svaka prikazana lokacija (Sv. Donat, Boljun i Botonega) je podijeljena na dva razdoblja snimanja trajanje kojih je prikazano u stupcu 1. Stupac 2 prikazuje vrijednosti uzmicanja bokova jaruga, stupci 3 do 12 pokazuju vrijednosti parametara vezanih uz oborine u promatranim razdobljima, a stupci 13 do 16 vrijednosti paremetra temperature zraka također za definirana razdoblja.

Analiza predstavljena na slici (Slika 101) je provedena tako da se od svih vrijednosti mjerenih parametara dobivenih za prvo razdoblje oduzmu vrijednosti parametara dobivene za drugo razdoblje. Tako dobivena razlika nije bilježena brojčanim iznosom, već je na

dijagramu u podnožju tabela za svaku lokaciju prikazano da li je ona pozitivna ili negativna i to u obliku plavog pravokutnika postavljenog na pozitivnoj ili negativnoj strani osi ordinate. Provođenjem takve jednostavne analize pokušalo se objasniti anomaliju koja je uočena za sve tri lokacije, a ona se očituje u činjenici da je prvo razdoblje bilo kraće od drugog dok je uzmicanje bokova brazdi bilo veće u prvom razdoblju (*1. razdoblje* = manje dana = veće uzmicanje; *2. razdoblje* = više dana = manje uzmicanje), iako bi možda logično bilo očekivati obrnuto. Kako su i litologija i morfologija (nagib) na promatranim lokacijama u oba perioda bile jednake, logičan je zaključak da je na navedenu anomaliju mogao uzrokovati jedino neki od klimatskih faktora koji ima isti trend navedenoj anomaliji.

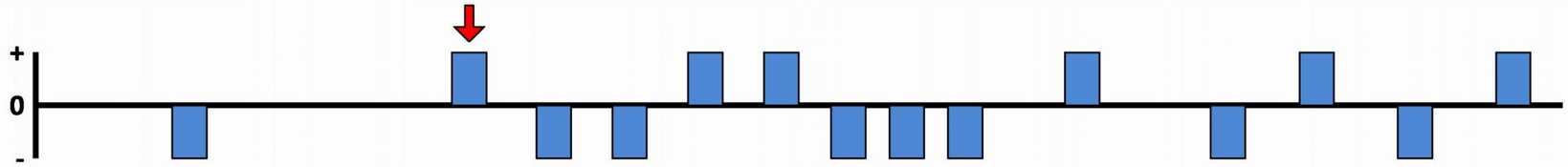
Tako je vidljivo da su se na pozitivnoj strani grafa uz uzmicanje našli parametri vezani uz maksimalni i prosječni intenzitet oborina (stupci 5 i 6) te parametri vezani uz srednju dnevnu temperaturu i srednju denevnu temperaturnu razliku (stupci 14 i 16). Prema tome može se zaključiti da su upravo navedeni faktori ili još bolje rečeno, njihova kombinacija, razlog gore navedene anomalije odnosno navedeni faktori predstavljaju najutjecajnije klimatske faktore na području flišne Istre.

Objašnjenje ove pojave je vezano uz činjenicu da je erodibilnost tla veća za vrijeme sušnih perioda godine (Toy i dr., 2002) pa ako se još na to vežu događaji u obliku intenzivnih (erozivnih) kišnih oluja onda su zadovoljeni svi uvjeti za visoke iznose denudacije. Naime u ljetnim mjesecima se na površini ogolina stvara površinska kora koja uzrokuje slabu infiltraciju te vrlo brzu pojavu erozivnog površinskog toka (3.1.1). Upravo ovaj slučaj se i dogodio u prvom istraživačkom periodu kada je na suhi površinski sloj (koru) ogolina, koji zapravo predstavlja tlo, a ne stijenu (vidi sliku - Slika 82, st. 135), pala kiša visokog intenziteta. Kako bi se još zornije predstavio navedeni fenomen u nastavku su prikazana dva dijagrama (Slika 102 a i b) s kumulativnim krivuljama količine oborina te krivuljama intenziteta oborina. Oba dijagrama predstavljaju periode od polovice travnja do polovice rujna za svako istraživačko razdoblje i to na ogolini Sv. Donat.

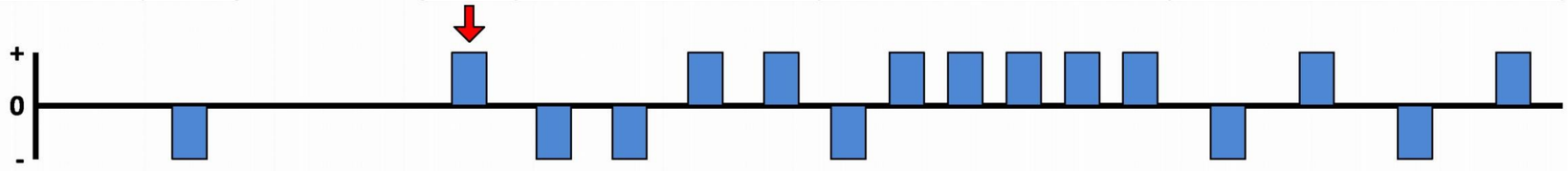
U navedenom razdoblju prvog istraživačkog perioda je palo 354 L/m^2 kiše, dok je u drugom istaživačkom periodu u istom vremenskom intervalu palo 514 L/m^2 kiše. Prvo razdoblje za prikazani vremenski interval karakterizira srednja dnevna temperatura od 22 °C, dok je u drugom ona bila 21 °C. Sve navedeno vodi zaključku da je u prvom razdoblju zbog ukupno

manje količine kiše i više prosječne dnevne temperature evaporacija bila veća što je doprinjelo većoj erodibilnosti podloge u razdobljima koji se podudaraju s intenzivnim ljetnim pljuskovima. Također se uočava da su intenziteti oborina u prvom periodu izraženiji.

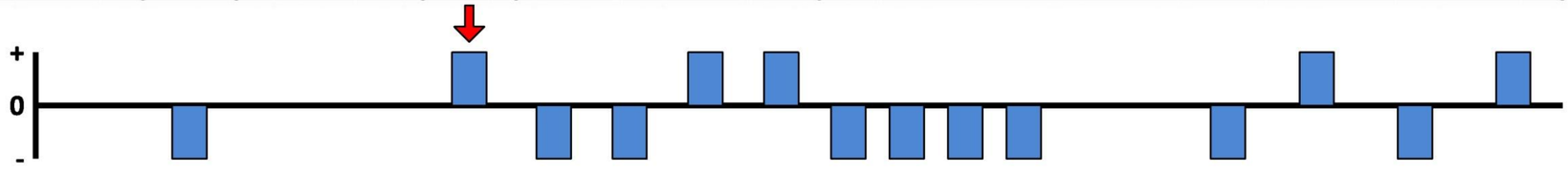
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Broj dana između fotogrametrijskih snimanja	Iznos uzmicanja bokova brazdi u promatranom razdoblju [cm]	Ukupna količina kiše [mm]	Ukupna količina kiše svedena na godišnju razinu [mm]	Maksimalni intenzitet u razdoblju [mm/h]	Prosječni satni intenzitet [mm/h]	Broj sati s intenzitetom većim od						Minimalna temperatura u promatranom razdoblju [°C]	Srednja dnevna temperatura [C°]	Broj dana s temperaturom ispod ledišta	Srednja dnevna temperaturna razlika u promatranom razdoblju [C°]
								5 l/h	10 l/h	15 l/h	20 l/h	25 l/h	30 l/h				
Sv. Donat	Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	370	-4.7	956.4	943.5	26.8	7.0	39	13	6	4	1	0	-7.7	13.3	61.0	11.5
	Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (7.10.2009 - 18.1.2011.)	468	-2.3	1735.4	1353.5	24.0	6.9	53	16	8	4	0	0	-9.0	11.0	82.0	9.9



Boljun	Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (1.10.2008. - 6.10.2009.)	370	-5,4	1368.6	1350.1	31.2	8.7	64	19	10	5	2	1	-7.3	15.7	43.0	16.6
	Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (6.10.2009 - 2.12.2010.)	422	-3,6	1787.0	1545.6	23.2	7.6	65	14	4	3	0	0	-8.7	13.9	50.0	13.6

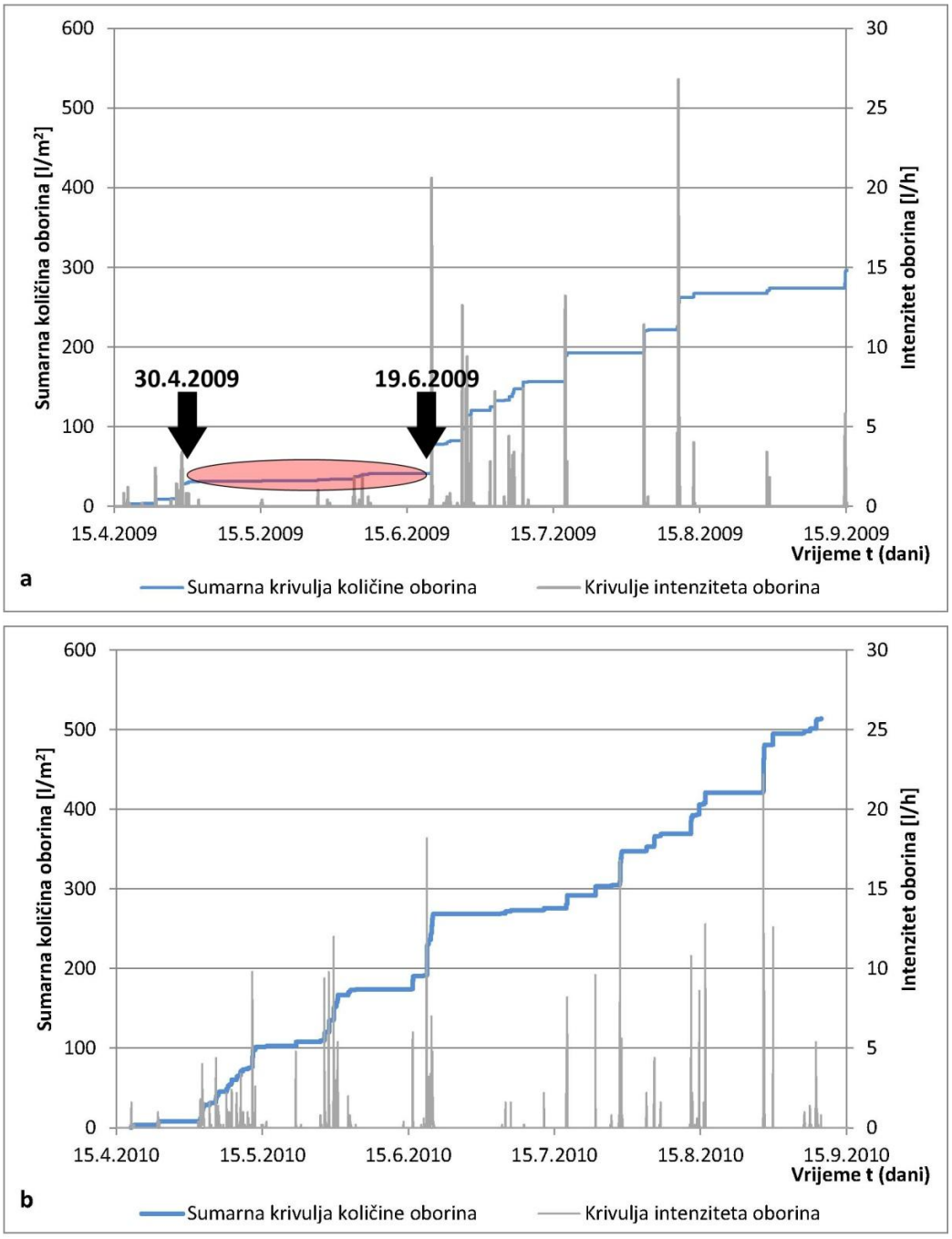


			1. parcela	2. parcela	Prosjek													
Botonega	Vrijeme između 0. i 1. fotogrametrijskog snimanja (2.10.2008. - 7.10.2009.)	370	-0.8	-0.7	-0.75	955.6	942.7	41.8	7.0	36	13	4	1	1	1	-8.2	15.9	63.0	22.4
	Vrijeme između 1. i 2. fotogrametrijskog snimanja (7.10.2009 - 18.1.2011.)	468	-0.04	-0.1	-0.07	1672.8	1304.6	40.2	6.9	40	14	7	3	1	1	-10.5	13.9	77.0	20.7



Slika 101 – Usporedba vrijednosti uzmicanja bokova jaruga i važnijih klimatoloških faktora

Na slici (Slika 102 a) je također istaknuto ekstremno sušni vremenski interval u razdoblju od 30.4. do 19.6.2009. godine nakon kojeg dolazi ekstremna oborina s intenzitetom većim od 20 l/h. Kako kombinacija ovakvih ekstrema nije zabilježena u drugom istraživačkom periodu u kojem je između ostalog zabilježeno niže uzmicanje bokova brazdi logično je još jednom zaključiti da su na području središnje Istre duža sušna razdoblja pračena intenzivnim oborinama glavni klimatski faktori u pogledu uzmicanja bokova brazdi na nivou izdanka.



Slika 102 – Količina i intenzitet oborina na ogolini Sv. Donat a) razdoblje od 15.4.2009 do 15.9.2009; b) razdoblje od 15.4.2010 do 15.9.2010

7.2.2 Utvrđivanje optimalne metode mjerenja denudacije

U ovom radu su korištene tri metode mjerenja iznosa denudacije koje su detaljno opisane u poglavlju 5.2.3. Kako bi se se utvrdila koja je od njih optimalna za mjerenje iznosa uzmicanja bokova brazdi na području flišne Istre analizirane su njihove slijedeće karakteristike:

1) Točnost;
2) Površina mjerenja;
3) Rezolucija mjerenja;
4) Težina rukovanja opremom na terenu;
5) Izloženosti opreme na terenu;
6) Cijene koštanja.

Za ocjenu točnosti može poslužiti dijagram prikazan na slici (Slika 100) na kojem se vidi da sve tri metode pokazuju slične rezultate uzmicanja bokova jaruga na svim istraživanim lokacijama. Iz toga može slijediti zaključak kako su sve korištene metode odgovarajuće u pogledu točnosti dobivenih podataka.

Sljedeće važno u pogledu mjerenja denudacije je površina koju je moguće obraditi svakom od metoda. U tom pogledu je sigurno najbolja metoda analogne terestičke fotogrametrije jer se njezinim korištenjem mogu obrađivati površine veće od 100 m^2 s točnošću manjom od 7 mm. Najlošija metoda u tom pogledu su profilometri jer se njima može odrediti denudacija na pravcu približene duljine 40-ak cm.

Rezolucija mjerenja je još jedna od karakteristika koja ide na stranu analogne fotogrametrijske mjerene tehnike jer se pomoću nje može postići mjerenje velikog broja točaka na velikoj površini pri čemu je važno napomenuti da se svako mjerenje u bilo kojem trenutku može ponoviti i na taj način provjeriti. U tom pogledu i digitalna fotogrametrijska metoda daje bolje rezultate od profilometara je se teoretski svakom pikselu na mjernoj snimci mogu odrediti njegove koordinate. Obzirom da današnji fotoaparati produciraju snimke u milijunima piksela broj mjernih točaka teoretski također može biti u razini nekoliko milijuna.

Od svih metoda u pogledu jednostavnosti potrebne terenske opreme svakako prednjači metoda digitalne terestričke fotogrametrije. Za njezinu primjenu na terenu, nakon što se postave fotogrametrijski reperi (klinovi), potrebno je imati samo kalibrirani fotoaparat i stativ. Analogna terestrička fotogrametrija uz sebe veže vrlo tešku i robusnu kameru s kojom je na nepristupačnim i negostoljubivim terenima vrlo teško rukovati. Profilometri također ne iziskuju puno opreme nakon što se zabiju u stijenu, no zbog njihovog osnovnog nedostatka, a to je njihova dostupnost, iste treba postaviti na što nepristupačnijem mjestu. Da bi se to učinilo na terenu vrlo često treba upotrebljavati alpinističku opremu (Slika 51, str. 88) ili visoke ljestve što jako komplicira provođenje mjerenja.

Na kraju cijenom koštanja profilometri predstavljaju najbolju metodu mjerenja denudacije. Iza profilometara cijenom je najprihvatljivija metoda digitalne fotogrametrije, a tek onda metoda analogne fotogrametrije.

Iz predstavljene kratke analize moguće je napraviti tabelu (Tabela 48) s bodovima za svaku od analiziranih karakteristika. Svaka metoda je mogla dobiti maksimalno 3, a minimalno 1 bod zbroj kojih je predstavljao ukupnu ocjenu pojedine metode.

Tabela 48 – Analiza optimalnosti pojedinih metoda određivanja uzmicanja bokova jaruga

	Točnost	Površina mjerenja	Rezolucija mjerenja	Težina rukovanja opremom na terenu	Izloženosti opreme na terenu	Cijene koštanja	Ukupan zbroj bodova
Profilometri	3	1	1	1	1	3	10
Digitalna fotogrametrijska metoda	3	2	3	3	3	1	15
Analogna fotogrametrijska metoda	3	3	3	1	3	1	14

Iz svega navedenog može se zaključiti da digitalna fotogrametrijska metoda predstavlja optimalnu metodu mjerenja denudacije na istraživanom području središnje Istre. Ova metoda je svakim danom sve bolja i u pogledu točnosti mjerenja pa je danas uz dodatnu kalibraciju moguće dobiti prihvatljiva mjerenja i s vrlo jednostavnim kamerama, relativno

niske cijene koštanja. Korištenje ovakvih instrumenata predstavlja budućnost u izučavanju i mjerenju procesa sličnih ovima obrađivanim u okviru ovog rada.

7.3 PROSTORNE ANALIZE

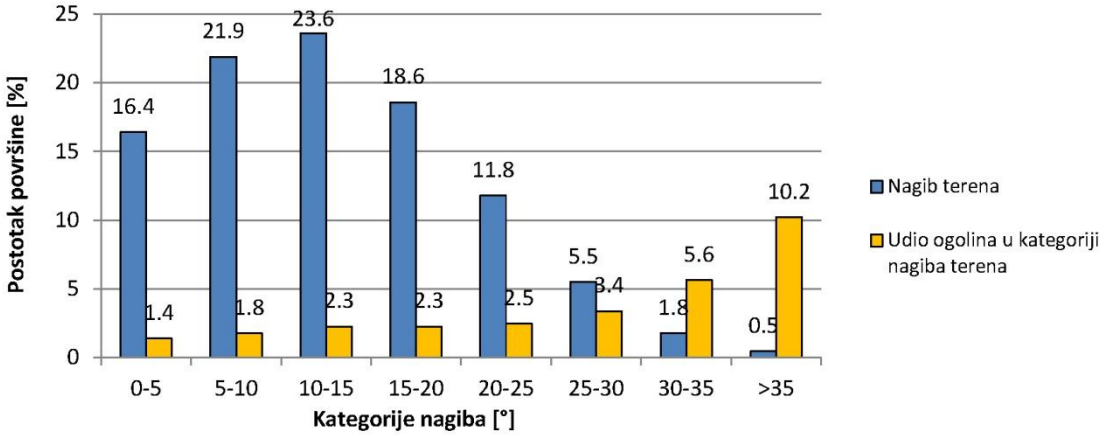
Jedan od glavnih ciljeva naznačen u uvodu ovog rada je odgovor na pitanje koji faktor najviše utječe na pojavnost (udio) ogolina na istraživanom prostoru, tj. koji od faktora (litologija, klima, reljef, čovjek) najviše utječe na iznos erozije i denudacije. Da bi se odgovorilo na ovo pitanje potrebno je bilo provesti različite prostorne analize u kojima je težište stavljeno na geomorfologiju istraživanog prostora. Diskusija iznijeta u ovom dijelu rada je u prvom redu fokusirana na objašnjavanje zona maksimalnih gustoća ogolina vidljivih na slici (Slika 92).

7.3.1 Nagib terena

Nagib terena kao važan faktor reljefa direktno utječe na erozivnost površinskih tokova i to na način da s njegovim povećanjem erozivnost tokova raste i obrnuto. Ova lako dokaziva tvrdnja je bila dovoljan razlog da se maksimumi udjela ogolina pokušaju povezati s iznosom nagiba na okolnom terenu.

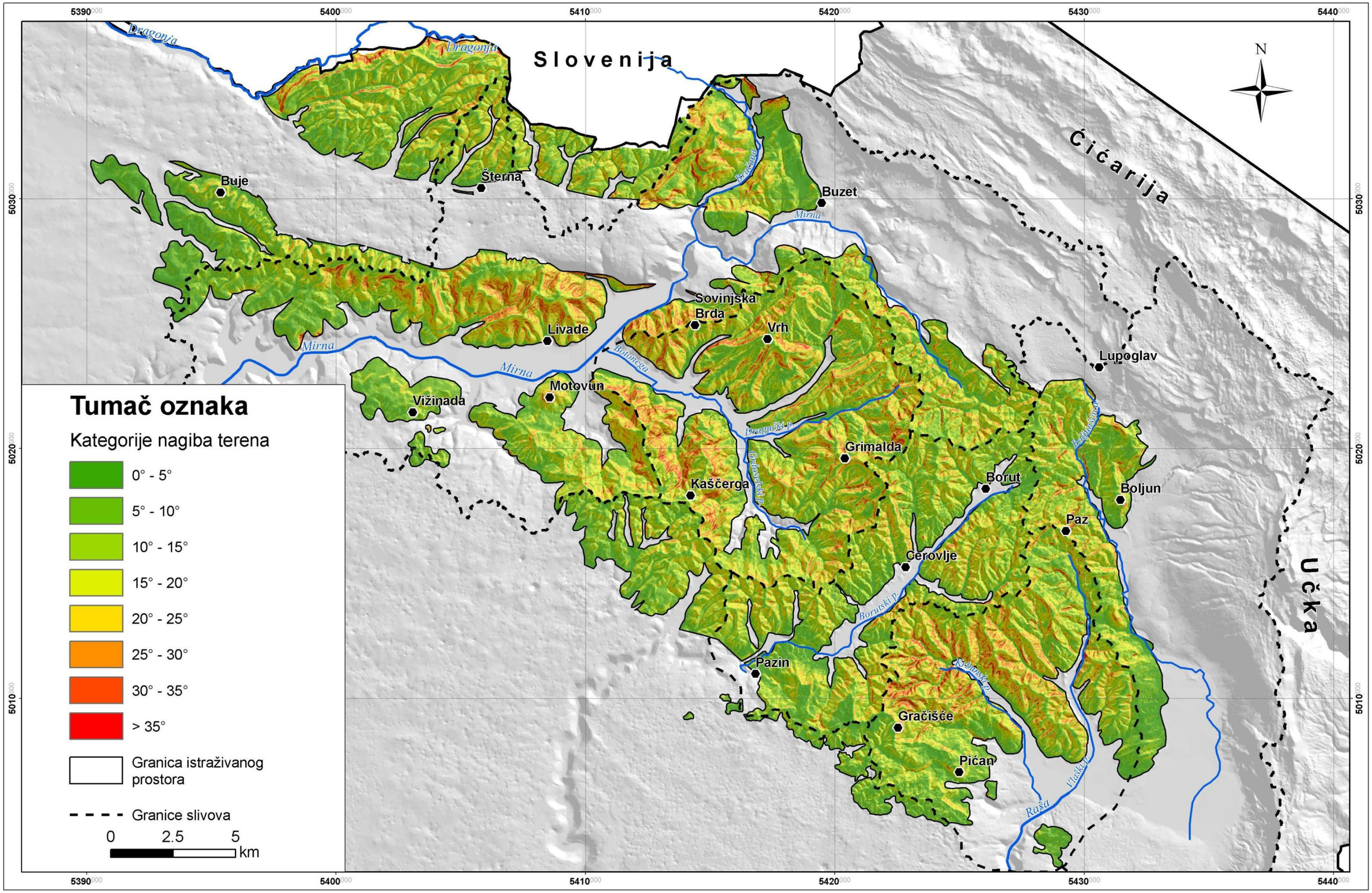
Tako je u tu svrhu iz digitalnog modela terena površine piksela 400 m^2 načinjena rasterska karta nagiba trena također površine piksela 400 m^2. Kartu nagiba terena prikazuje slika (Slika 104) pri čemu su kategorije terena prema nagibu izdvojene u tumaču oznaka u donjem desnom uglu. Analizom udjela pojedinih kategorija nagiba terena u ukupnoj površini istraživanog prostora dobiven je histogram razdiobe koji prikazuje slika (Slika 103).

U nastavku analize dobivena rasterska karta nagiba terena je *klipan* s poligonima iz katastra ogolina. Tim postupkom je dobivena nova rasterska karta koja pokriva samo područja koja su ogoljela, a analizom te rasterske karte dobiven je histogram (žuti stupci na slici (Slika 103)) kojim se definira koliko postotaka pojedine kategorije nagiba istraživanog prostora otpada na ogoline.



Slika 103 – Histogram razdiobe kategorija nagiba i udjela ogolina u pojedinoj kategoriji

Ova analiza definitivno pokazuje trend porasta udjela ogolina na sve strmijim dijelovima terena. Time je ovisnost ogolina o nagibu donekle dokazana, ali se maksimumi udjela ogolina prikazani na slici (Slika 92) prostorno ne podudaraju s maksimumima nagiba terena prikazanim na slici (Slika 104). Već je rečeno da maksimumi udjela ogolina (Slika 92, str. 155) u pravilu prekrivaju istočne dijelove istraživanog prostora i to konkretno područje sjeverno od Pićna, zatim područje između Boljuna i Lupoglava na sjeveroistočnom dijelu istraživanog prostora te istočne dijelove sliva Botonege. Na karti nagiba terena (Slika 104) ova područja zaista karakterizira visok udio kategorija nagiba većih od 20°. No mogu se zamijetiti da na području u okolici ušća potoka Botonege u Mirnu postoji vrlo niski udio ogolina (Slika 104) praćen vrlo visokim iznosima udjela kategorija nagiba većih od 20°. Ova činjenica je u kontradikciji s iznesenom hipotezom o vezi između gustoće ogolina na nekom području i nagiba terena na istom području iz čega proizlazi zaključak da nagib terena utječe na razvoj ogolina, no on nije primarni faktor u tom smislu. Drugim riječima maksimumi udjela ogolina vidljivi na slici (Slika 92, str. 155) nisu izravno vezani za nagib terena na tom području, ali histogram na slici (Slika 103) dokazuje postojanje veze.



Slika 104 – Karta nagiba terena na istraživanom području

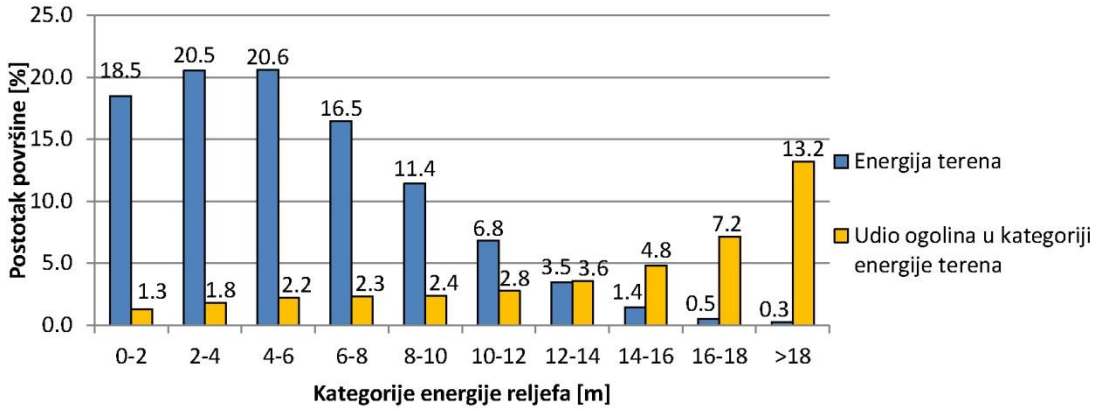
7.3.2 Energija reljefa

Energija reljefa kao važan geomorfološki parametar predstavlja razliku između hipsometrijski najviše i najniže točke na nekoj površini terena. Vrlo često se koristi kako bi se definirala vertikalna raščlanjenost nekog područja (Marković, 1983).

Analizu energije reljefa područja središnje Istre, slično kao i analizu nagiba terena, pratila je hipoteza da površinski tokovi vezani uz dijelove terena s višom energijom reljefa imaju višu erozivnost. To je povlačilo slijedeću hipotezu koja kaže da dijelovi terena s višom energijom imaju i veći udio ogolina što bi se u pravilu trebalo dokazati preklapanjem podloga udijela ogolina i energije reljefa.

Za dobivenje rasterske karte energije reljefa prikazanog na slici (Slika 106) korišten je alat izrađen u okvru ArcGIS softvera objašnjenog u poglavlju 5.3. Analizom udjela pojedinih kategorija energije reljefa u ukupnoj površini istraživanog prostora dobiven je histogram razdiobe koji prikazuje slika (Slika 105).

Slično kao i za analizu nagiba terena, dobivena rasterska karta energije reljefa je *klipan* s poligonima iz katastra ogolina. Taj postupak je producirao novu rastersku kartu koja pokriva samo područja koja su ogoljela, a analizom te rasterske karte dobiven je histogram (žuti stupci na slici (Slika 105)) kojim se definira koliki postotak pojedine kategorije energije reljefa istraživanog prostora otpada na ogoline.



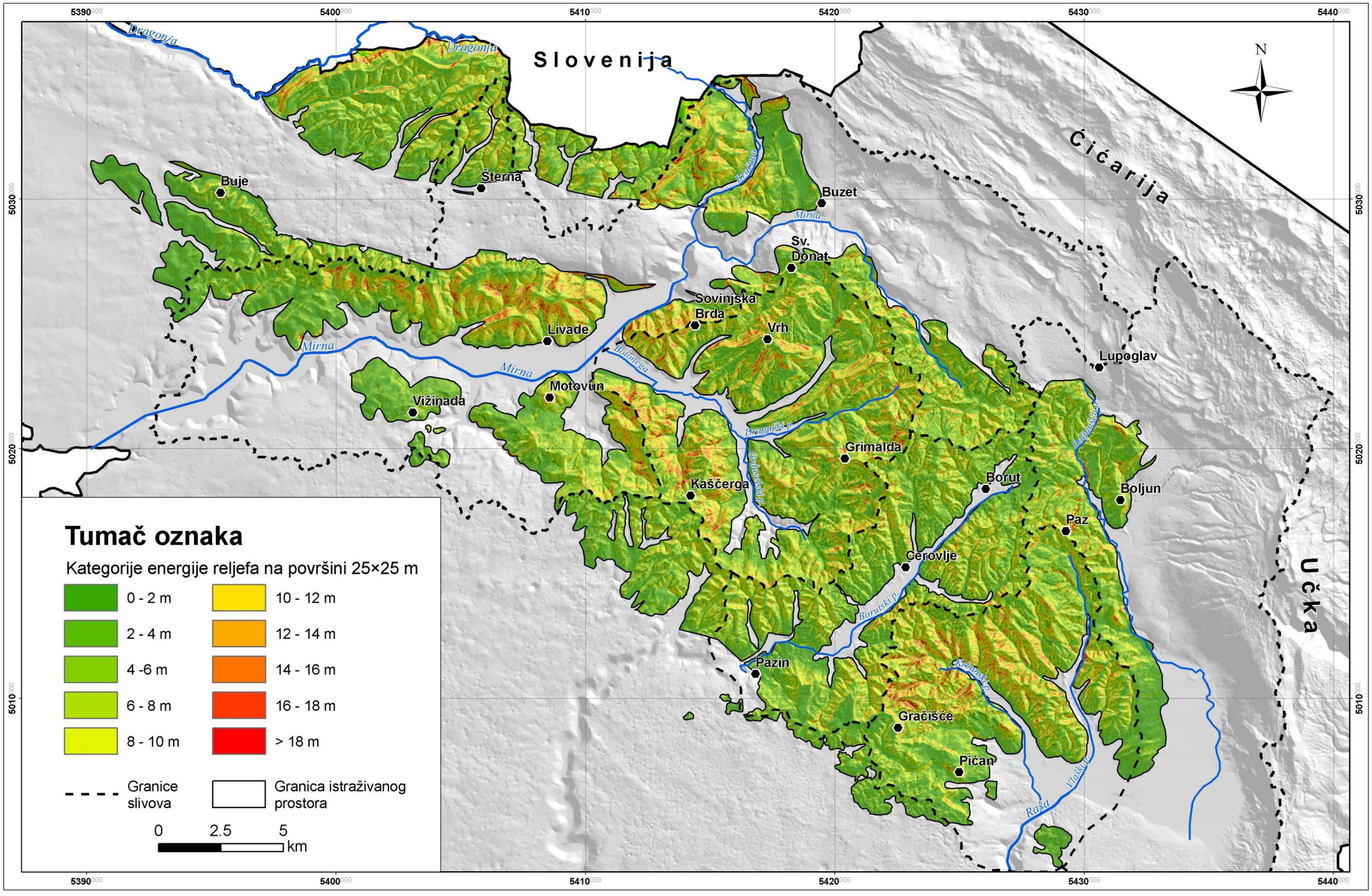
Slika 105 - Histogram razdiobe kategorija energije reljefa i udjela ogolina u pojedinoj kategoriji

Histogram razdiobe kategorija prikazan na slici (Slika 105) dokazuje vezu između energije reljefa i pojavljivanja ogolina na terenu. No i ovdje, gotovo identično analizi nagiba

terena, maksimumi energije reljefa svugdje ne korespondiraju s maksimumima gustoće ogolina (Slika 92, str. 155). Tako je vidljivo da više puta navedena područja istočnog dijela istraživanog prostora i područja istočnog dijela sliva Botonege karakterizira visok udio ogolina koju prate i velike površine terena u kategoriji energije iznad 10 m. No, područje sjeverno od mjesta Livade te istočno od Motovuna karakterizira niski udio ogolina, a istovremeno velike površine kategorija energije reljefa iznad 10 m.

Iz navedenog proizlazi zaključak da i energija reljefa moguće utječe na stvaranje i opstojanje ogolina, no ni ona ne može u potpunosti objasniti maksimume i minimume udjela ogolina na istraživanom području (Slika 92, str. 155). Iz tog razloga se prostorna analiza nastavila u vidu testiranja ostalih, u dostupnoj literaturi navedenih, važnih parametara.

Ovdje valja istaći još jedan važan moment u provođenju analiza vezanih uz nagib i energiju reljefa, a to je izvor podataka. Naime digitalni model terena korišten za dobivanje rasterskih karata nagiba i energije reljefa je deriviran iz slojnica prilagođenih mjerilu 1:25000 s ekvidistancom od 10 m. Slojnice načinjene u tom mjerilu ne mogu realno predstaviti ogoljele površine terena zbog čega je dobiveni iznos nagiba ili energije na ogolinama nerealno nizak. Tako su se maksimalni analizom dobiveni iznosi nagiba kretali oko 40°, dok su vrijednosti izmjerene na terenu na nebrojeno mjesta dosezale iznos od 90°. Izneseno valja uzeti u obzir prilikom uspoređivanja karata nagiba (Slika 104) i energije (Slika 106) s kartom udjela ogolina na istraživanom prostoru (Slika 92, str. 155).



Slika 106 - Karta energije reljefa istraživanog područja

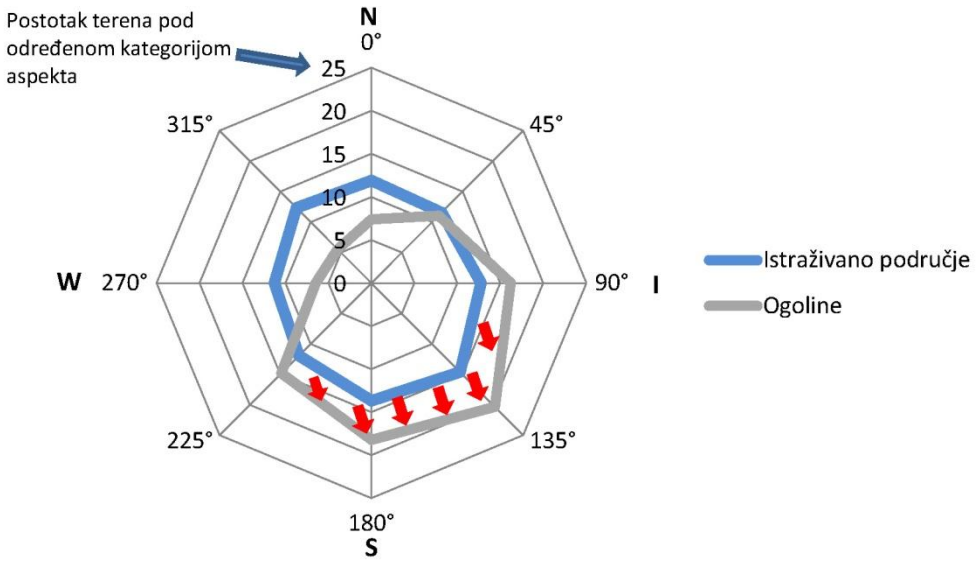
7.3.3 Aspekt padina

Aspekt padina u literaturi biva apostrofiran kao jedan od važnijih parametra reljefa s kojim se može povezati intenzitet erozije, a onda i nastanak ogolina (Churchill, 1981; Benito i dr., 1992; Regüés i dr., 2000). Razlog tome je činjenica da upravo aspekt jako utječe na intenzitet trošenja, uglavnom fizičkog, neke stijene pa se tako navodi da sjeverno orijentirane padine imaju najveću pojavnost ogoljelih površina (Alatorre i Beguería, 2009) što se objašnjava činjenicom da je na takvim padinama intenzitet fizičkog trošenja uslijed rasta ledenih kristala puno izraženiji. Također se navodi da je i na južnim padinama izražen proces fizičkog trošenja, ali ovdje je to u obliku insolacije (2.2).

Upravo su navedeni radovi potakli provođenje prostorne analize koja je imala za cilj ispitivanje veze između aspekta padina i pojavljivanja ogolina na istraživanom prostoru. U tu svrhu iz digitalnog modela terena površine piksela 400 m^2 načinjena je rasterska karta aspekta padina na istraživanom prostoru površine piksela 25 m^2. Kategorije prema kojima je reklasificirana rasterska karta su prikazane na slici (Slika 108) u okviru tumača oznaka. Prostornu distribuciju aspekta padina na istraživanom prostoru prikazuje plava linija na dijagramu (Slika 107). Siva linija pak prikazuje prostornu distribuciju ogolina na istraživanom prostoru. Iz dijagrama na slici (Slika 107) se vidi da je distribucija aspekta padina terena na istraživanom prostoru uniformna (približno simetrična), tj. da se vrijednosi kreću u rasponu od 11.3 % (padine orijentirane prema zapadu) do 14.6 % (padine orijentirane prema jugoistoku). Situacija u pogledu distribucije ogoljelih padina na istraživanom prostoru je nešto drugačija. Na slici (Slika 107) se uočava izražena asimetrija u distribuciji ogolina i to s maksimumom orijentiranim prema jugoistoku (20.3 % površine ogolina), a minimumom orijentiranim prema sjeverozapadu (5.5 % površine ogolina).

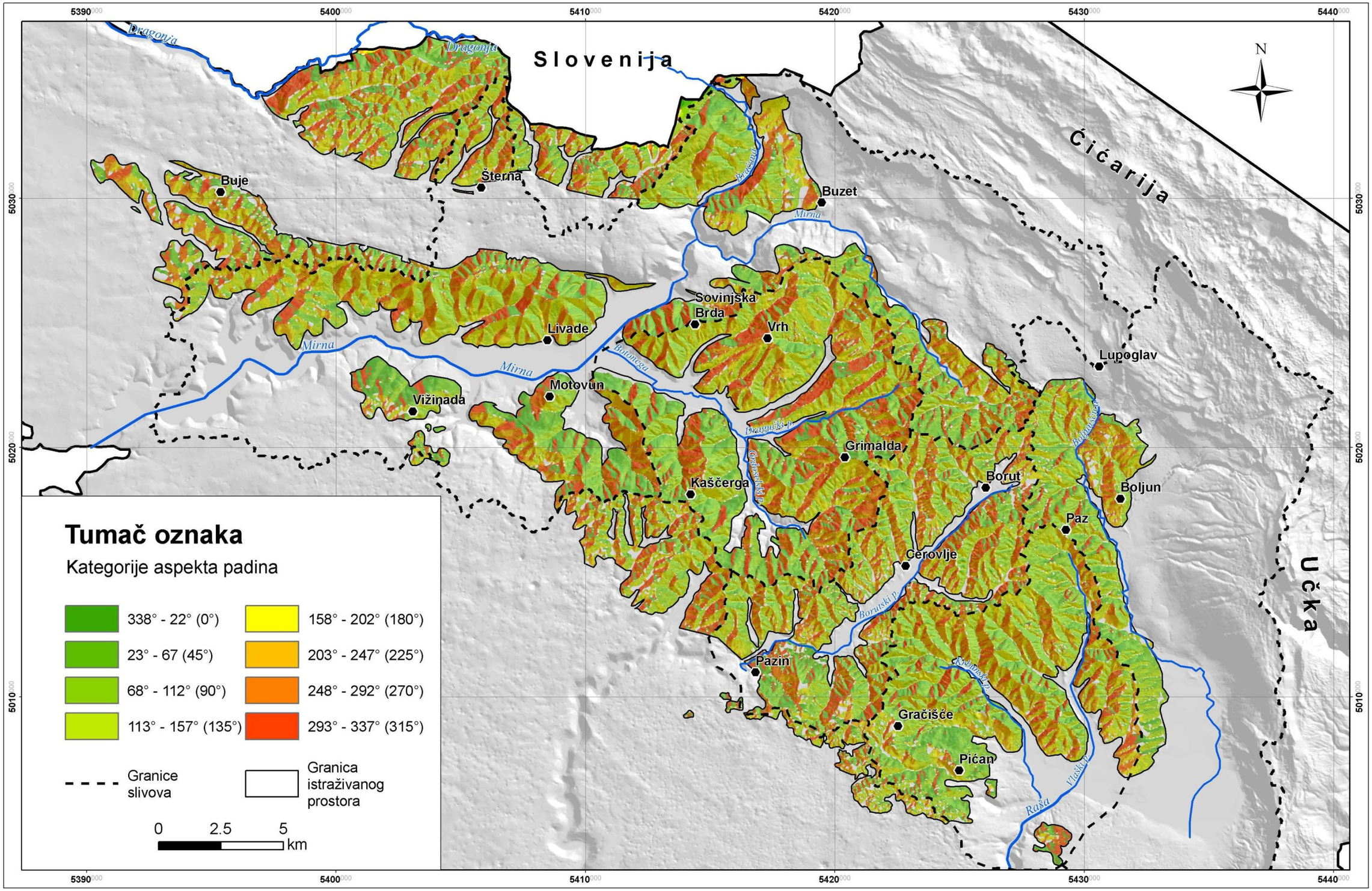
Objašnjenje ovakvog trenda treba tražiti u činjenici da je na jugoistočnim i južnim padinama, prema kojima je pomaknut maksimum pojavljivanja ogolina, izraženo fizičko trošenje uslijed opetovanog vlaženja i sušenja. Naime, sjeverozapadne i sjeverne padine istraživanog prostora zbog nižih temperatura karakterizira manji broj ciklusa sušenja i vlaženja stijene (stijena duže ostaje vlažna) što onda uvjetuje i niže iznose trošenja na tako orijentiranim padinama. S obzirom da se radi o prostoru kojeg karakterizira blaga kontinentalna klima (Slika 30b), hladnih dana (s temperaturom ispod ništice) ima puno

manje nego na prostoru istraživanom od strane Alatorre i Beguería (2009) pa je prema tome logično zaključiti da je dominantan proces fizičkog trošenja na istraživanom prostoru opetovano sušenje i vlaženje. Također južno orijentirane ogoline u sušnim ljetnim mjesecima karakterizira vrlo erodibilna površinska zona koja vrlo lako može biti erodirana intenzivnim ljetnim pljuskovima. Upravo je ovaj slučaj opisan u poglavlju 7.2.1.



Slika 107 – Prostorna distribucija aspekta padina i aspekta ogolina na istraživanom prostoru

Iako je definitivno vidljiva povezanost aspekta padine i pojavljivanja ogolina na istraživanom prostoru, preklapanjem karte udjela ogolina (Slika 92) i karte aspekta padina (Slika 108) ne pokazuje podudaranje maksimuma udjela ogoljelih površina s nekom od kategorija aspekta padina. To vodi do zaključka da aspekt lokalno utječe na pojavljivanje ogolina, ali maksimume vidljive na karti (Slika 92, str. 155) nije moguće objasniti isključivo tim faktorom.



Tumač oznaka

Kategorije aspekta padina

- 338° - 22° (0°)
- 23° - 67 (45°)
- 68° - 112° (90°)
- 113° - 157° (135°)
- 158° - 202° (180°)
- 203° - 247° (225°)
- 248° - 292° (270°)
- 293° - 337° (315°)
- Granice slivova
- Granica istraživanog prostora

0 2.5 5 km

Slika 108 - Karta aspekta padina istraživanog područja

7.3.4 Postojanost lapora

U ovom poglavlju prikazana je prostorna analiza u kojoj se pokušalo staviti u vezu postojanost (otpornost na fizičko trošenje) nekompetentnog člana IG jedinice 3 kao najzastupljenije jedinice na istraživanom prostoru i gustoću ogolina. Hipoteza koja je postavljena prije provedbe analize je glasila da lapore unutar IG jedinice 3 ne karakterizira ista postojanost, a sukladno tome lapori različitog iznosa postojanosti bi trebali formirati reljef različitih udjela ogolina. Konkretno lapori niže postojanosti bi trebali formirati na terenu više ogoljelih površina i obrnuto, lapori više postojanosti bi trebali formirati na terenu manje ogoljelih površina.

Provedbu same analize otežavala su dva problema od koji je jedan bio unaprijed poznat, a to je nepostojanje kvalitetne geološke podloge istraživanog prostora u krupnom mjerilu (na primjer 1:5000). Naime zbog izrazite heterogenosti flišnih naslaga koja se očituje u velikim varijacijama udjela i debljina definiranih IG jedinica (6.1) na malim površinama istraživanog terena, postojanost determiniranu laboratorijskim testovima nije bilo moguće pridružiti određenom poligonu, tj. nekoj definiranoj površini unutar istraživanog prostora čime je prostorna analiza koja uključuje ovaj parametar gotovo onemogućena.

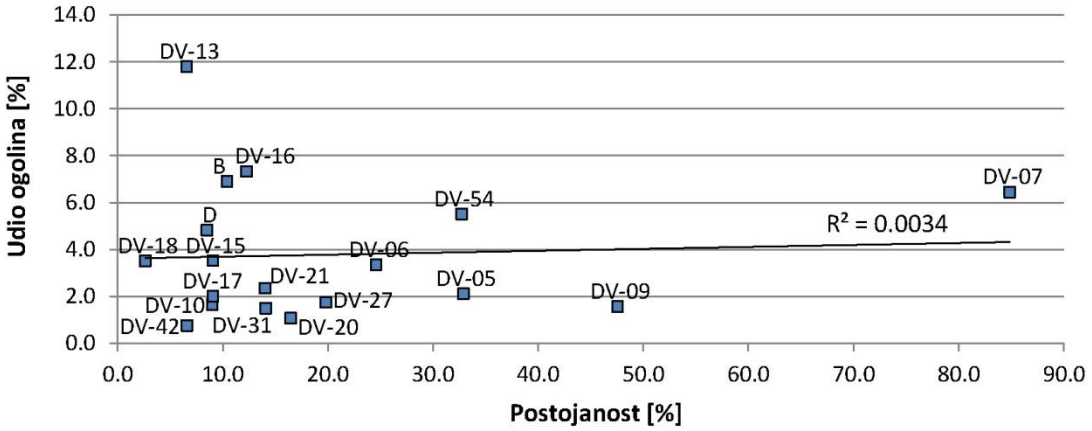
Drugi problem je uočen tijekom samih laboratorijskih testova kojima je determinirana postojanost. Naime prilikom uzorkovanja na terenu postojala je tendencija jednakomjernog uzimanja uzoraka s dijelova terena koje karakterizira visok i nizak udio ogolina. Razlog ovoj tendenciji je bila namjera da se dokaže postoji li veza između učestalosti pojavljivanja ogolina na istraživanom prostoru i značajki litoloških jedinica tj. IG jedinica. Tako je s dijelova terena na kojima je udio ogolina bilo visok uzorkovanje obavljeno na samim ogolinama (**svježa stijenska masa**), a zbog nepostojanja prirodnih ogolina na dijelovima terena s niskim udjelom istih uzorkovanje je u pravilu provedeno na umjetnim zasjecima, tj. u **trošnoj stijenskoj masi**. Uzorci uzeti s takvih lokacija su u pravilu laboratorijskim testovima determinirani kao izrazito nepostojani te su se raspadali nakon prvog ili drugog provedenog ciklusa (o razlozima tako brzog raspadanja uzoraka uzetih iz trošne stijenske mase diskusija je provedena u poglavlju 7.1.3). Ovakvi laboratorijski rezultati su u direktnoj kontradikciji s gore iznesenim hipotezama o vezi između postojanosti uzoraka i gustoće ogolina što je opet

dovelo do zaključka da uzorke uzete na taj način nije moguće u prostornim analizama smatrati kao ekvivalentne onima uzetim iz matične stijene.

Da bi se prebrodio prvi problem pretpostavljeno je da se u užoj okolini mjesta uzorkovanja litologija ne mijenja drastično te je prema tome određeno polje utjecaja za jednu točku u radijusu od 600 m. Drugi problem je riješen na način da su točke na kojima je obavljeno uzorkovanje u eluviju izbačene iz analize.

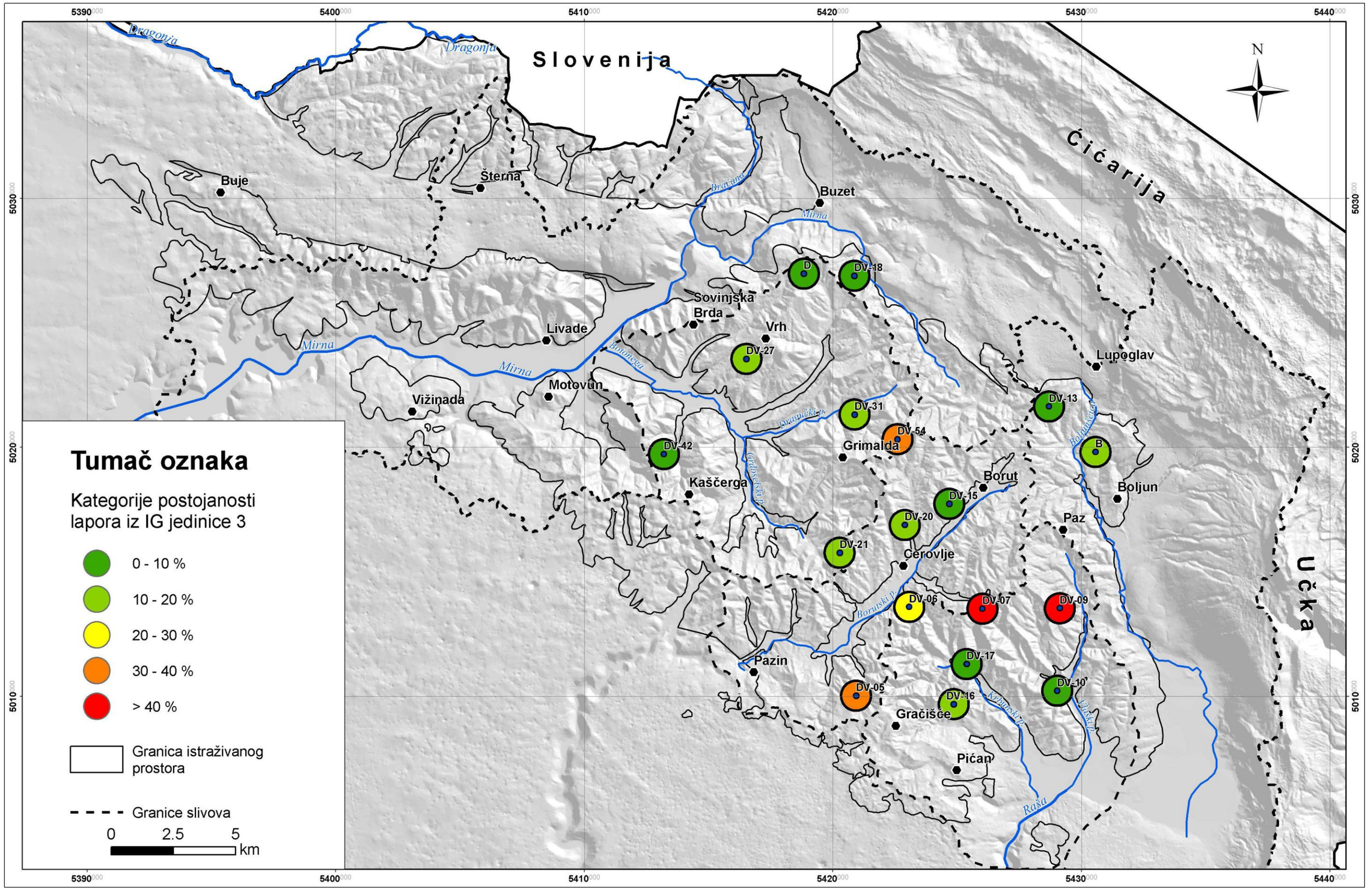
Tako obavljena eliminacija iznjedrila je 18 točaka koje su bile uključene u prostornu analizu. Krugovi dobiveni oko točke uzorkovanja su u analizi predstavljali jediničnu površinu za koju je računan udio ogoljelih površina. Svakom krugu je također pridružena vrijednost postojanosti dobivena laboratorijskim testovima iz serije uzoraka 3 i 5 (Tabela 5). Prostorni raspored navedenih krugova te njihova kategorizacija prema iznosu postojanosti prikazuje karta na slici (Slika 110).

Ovdje predstavljena analiza je uključivala provjeru korelacije između udjela ogolina u pojedinom krugu s postojanošću lapora uzorkovanih u središtu dotičnog kruga. Statistički oblak, regresijski pravac te faktor korelacije prikazuje dijagram na slici (Slika 109).



Slika 109 – Korelacija udjela ogolina i postojanosti lapora iz IG jedinice 3

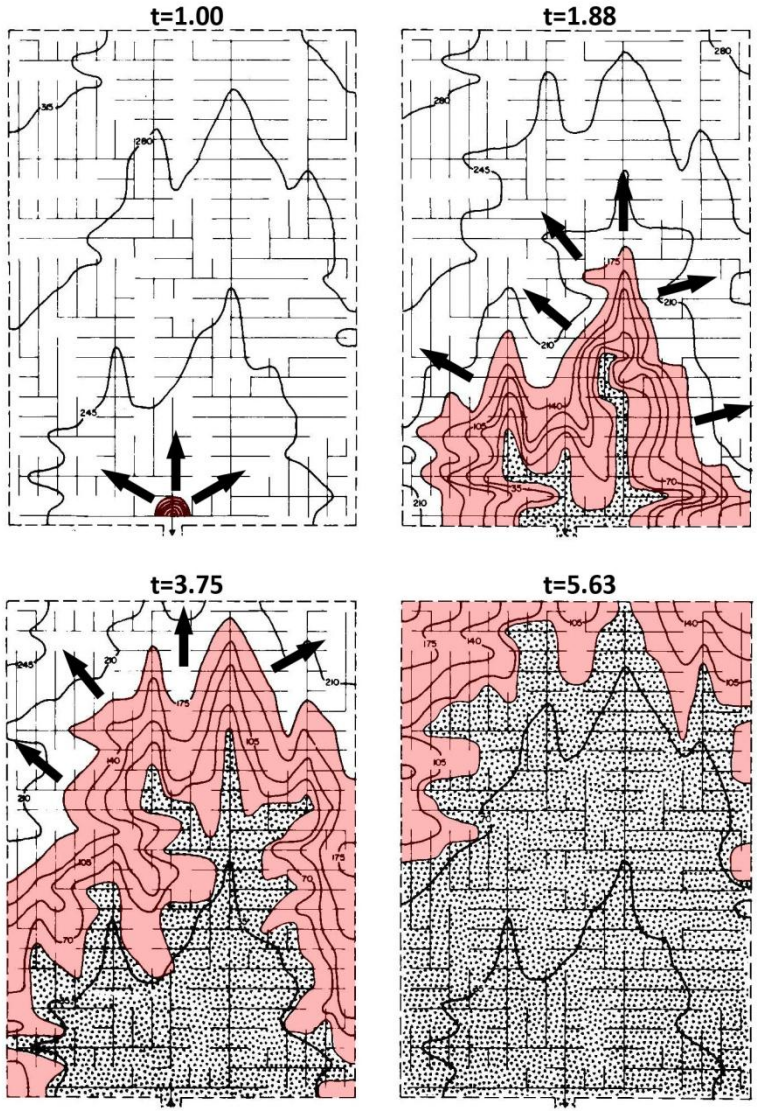
Iz dijagrama i faktora korelacije prikazanih na slici (Slika 109) se može zaključiti da ne postoji korelacija između postojanosti nekompetentnih materijala (uglavnom lapora) IG jedinice 3 i udjela ogolina na nekoj jediničnoj površini. No tu tvrdnju treba uzeti s rezervom iz više razloga od kojih je svakako najvažniji onaj da je analiza napravljena bez kvalitetne geološke karte u krupnom mjerilu. Također navedena analiza vjerojatno traži, zbog vrlo izražene heterogenosti flišnih naslaga, veći broj uzoraka.



Slika 110 – Prostorni raspored kružnica s pripadajućom kategorijom postojanosti na istraživanom području (samo lapori iz IG jedinice 3)

7.3.5 Razvoj reljefa

Ideja za prostornu analizu u kojoj se u vezu stavlja stadij razvoja reljefa i udio ogolina na pojedinim dijelovima slivova većih (uglavnom stalnih) i manjih (povremenih) vodotokova je proizašla iz proučavanja geomorfološke literature koja upravo govori o stadijima u razvoju reljefa (Howard, 1994; Marković, 1983). Prema navedenom izvoru razvoj reljefa je povezan sa spuštanjem erozione baze čime se energija površinskih tokova, tj. njihova erozivnost, na određenim mjestima unutar slivova (crveno šrafirane površine na slici - Slika 111) povećava. Razvoj reljefa uvjetovan trenutnim spuštanjem erozione baze prikazuje shematski model na slici (Slika 111).



Slika 111 – Model sukcesivnih stadija razvoja reljefa nakon trenutnog snižavanja erozione baze (Howard, 1994)

Na slici (Slika 111) se razlikuju tri različito šrafirane površine. Bijela površina označava teren blagog nagiba koji predstavlja inicijalnu površinu terena prije trenutnog spuštanja erozione baze. Crvena površina označava najaktivniji dio reljefa kojeg karakterizira visoka energija površinskih tokova praćena visokim iznosom denudacije (pokreti masa i erozija), a točkasta površina označava "smireni" reljef, tj. reljef koji se nalazi u razini nove erozione baze. Oznaka ***t*** iznad prikazanih pojedinih stadija razvoja reljefa označava relativno vrijeme proteklo od spuštanja erozione baze.

Pretpostavka da je na istraživanom području središnje Istre najaktivniji dio reljefa označen visokim udjelom ogolina (površina s najintenzivnijom denudacijom) ponukala je provođenje prostorne analize u kojoj se istražuje kretanje udjela ogolina na jediničnoj površini s udaljenošću od erozione baze. Da bi se mogla uspostaviti analogija između modela prikazanog na slici (Slika 111) i istraživanog područja središnje Istre, tj. da bi se utvrdilo razvija li se reljef središnje Istre u skladu s prikazanim modelom potrebno je utvrditi slijedeće:

1) Može li se fliš kao kompleks smatrati homogenom i horizontalno uslojenom sredinom?
2) Može li se utvrditi snižavanje erozione baze u relativno bliskoj geološkoj prošlosti?

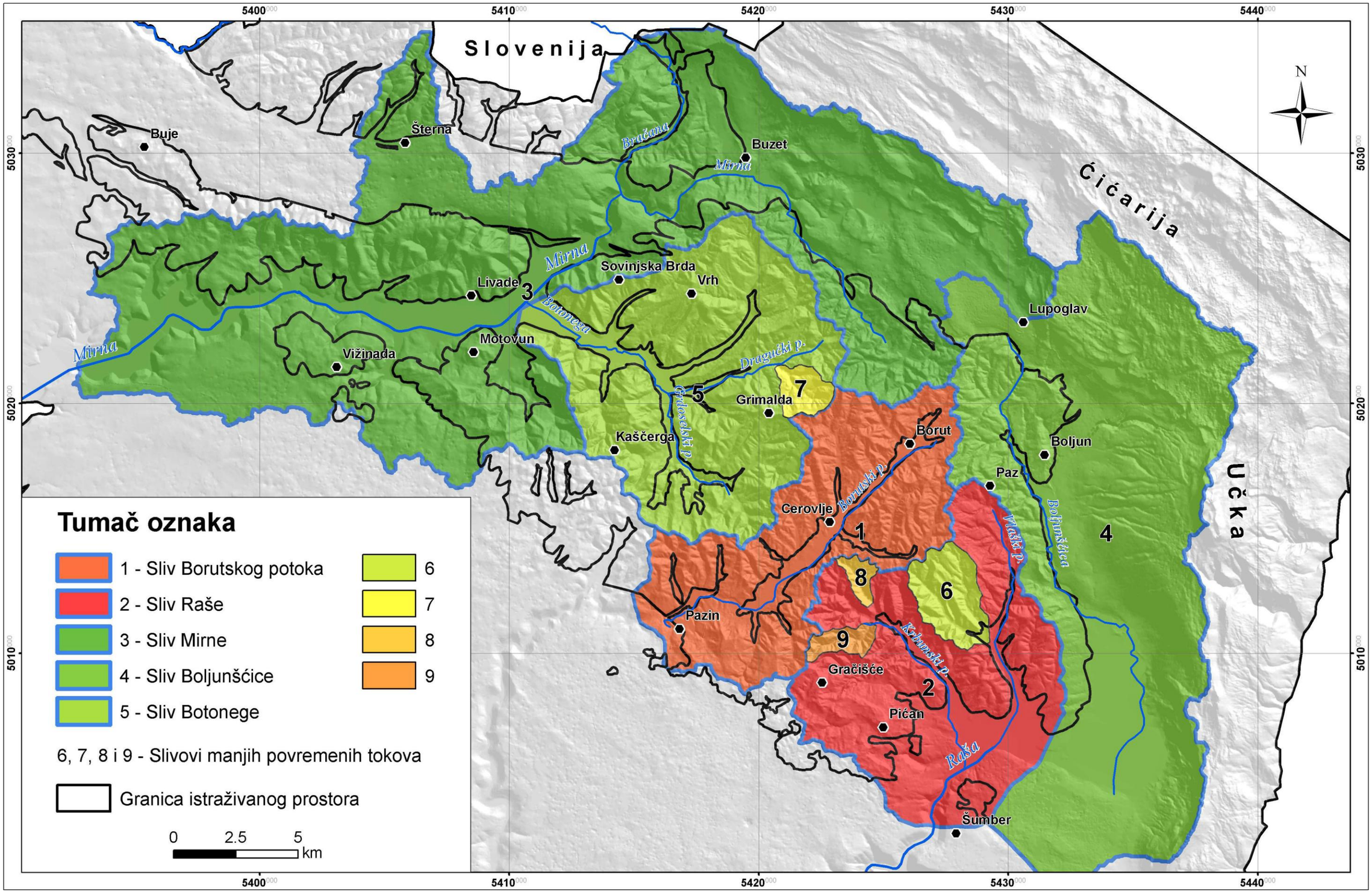
Fliš kao kompleks definitivno nije homogena geološka sredina, no izučavajući ga na regionalnoj skali (na razini slivova), a u skladu s analizom provedenom u poglavlju 7.3.4 u kojoj nisu utvrđene značajne regionalne anomalije u pogledu litološkog sastava, fliš ipak možemo smatrati kvazihomogenim medijem. Također, zbog slabo izražene tektonike naslage fliša su na cijelom području, uz iznimku rubnih dijelova istaživanog prostora, horizontalne ili blago nagnute. Što se pak tiče razine erozione baze valja naglasiti da je od srednjeg i gornjeg eocena, kada nastaju flišne naslage, na istraživanom području zabilježeno više spuštanja i izdizanja erozione baze. Najvažnije i najveće spuštanje erozione baze je zabilježeno tijekom mesinske solne krize početkom pliocena (5.59 do 5.33 miliona godina) i to čak 1500 m (Hsü i dr., 1977). Tijekom te krize, a posebno u njezinoj inicijalnoj fazi propraćenoj intenzivnom erozijom, formirani su mnogi kanjoni velikih rijeka uokolo Mediterana pa tako i kanjoni rijeka na Istarskom području (Zupan Hajna i dr., 2008). Sve navedeno ukazuje na opravdanost pretpostavke da se reljef na području flišne (Sive) Istre razvija retrogradno u skladu sa skicama prikazanim na slici (Slika 111).

Prostorne analize razvoja reljefa su prvo izvršene na manjim slivovima istraživanog prostora i to konkretno na slivovima 6, 7, 8 i 9 označenim na karti (Slika 112). Dobri rezultati iznjedreni takvim prostornim analizama ohrabrili su pokušaj provođenja sličnih analiza i na većim slivovima pa su prostorno obrađeni redom slivovi Botonege, Boljunšćice, Borutskog potoka i Raše (Slika 112).

U nastavku je detaljno opisan postupak analize i to na primjeru sliva broj 9 (sliv Potoka spod Gračišća), dok su rezultati analiza za ostale navedene slivove prikazani na nešto jednostavnijim skicama. Na svim prikazanim slikama vezanim za prostornu analizu razvoja reljefa uz kartu su prikazane korelacije i ulazni podaci u tabličnom obliku. Karte na navedenim slikama prikazuju samo dijelove slivova koji su na Osnovnoj geološkoj karti označeni flišnim naslagama ili globigerinskim laporima. Poligone slivova na navedenim kartama ispunjava graduirana crveno-bijela šrafura. Ona na najcrvenijem dijelu indicira visoki udio ogolina, i obrnuto na najbljeđem dijelu niski udio ogolina.

Također je za svaki sliv procjenjeno pojavljivanje pojedinih IG jedinica definiranih u poglavlju 6.1, pri čemu valja naglasiti da je ta procjena temeljna na osnovu terenske prospekcije te kabinetske analize ortofoto snimaka i to uz pomoć Esrijevog ArcScene softvera namjenjenog za 3D vizualizaciju prostora.

Analiza dobivenih podataka i diskusija za svaki pojedini sliv vezani su za toponime kojima je izvor u pravilu bila topografska karta u mjerilu 1:25000. Iznimno ako se za promatrani sliv na navedenoj podlozi nije mogao pronaći odgovarajući toponim, isti je bio nađen na topografskoj podlozi u mjerilu 1:5000.



Slika 112 – Pregledna karta većih i manjih slivova na istraživanom prostoru

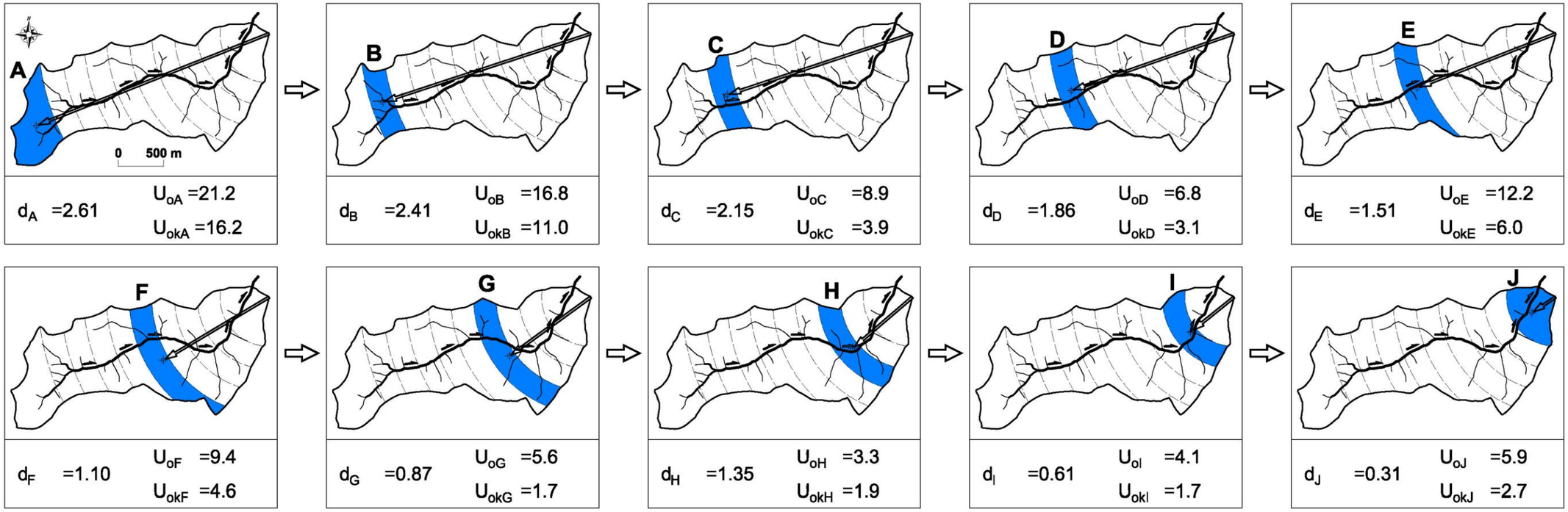
7.3.5.1 Sliv 9

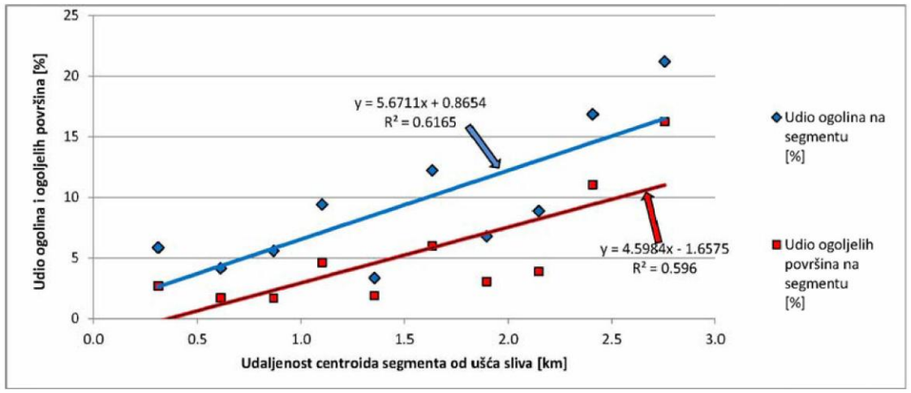
Nakon okonturivanja ogolina vizualnim pregledom terena uočena je pravilnost na pojedinim slivovima manjih povremenih vodotokova da udio ogolina i ogoljelih površina na jediničnoj površini terena raste s udaljavanjem od ušća, tj. od erozione baze za dotični vodotok. Ta pravilnost se posebno isticala za izdužene slivove kojima je dolina najvišeg reda bila i daleko najduža dolina na promatranom slivu. U nastavku je prikazana detaljna razrada prostorne analize sliva 9 (Slika 112) koja uključuje stavljanje u vezu udjela ogolina i ogoljelih površina na pojedinom segmentu u slivu (A do J poligoni) s udaljenošću ušća do centroida tog segmenta (Slika 113).

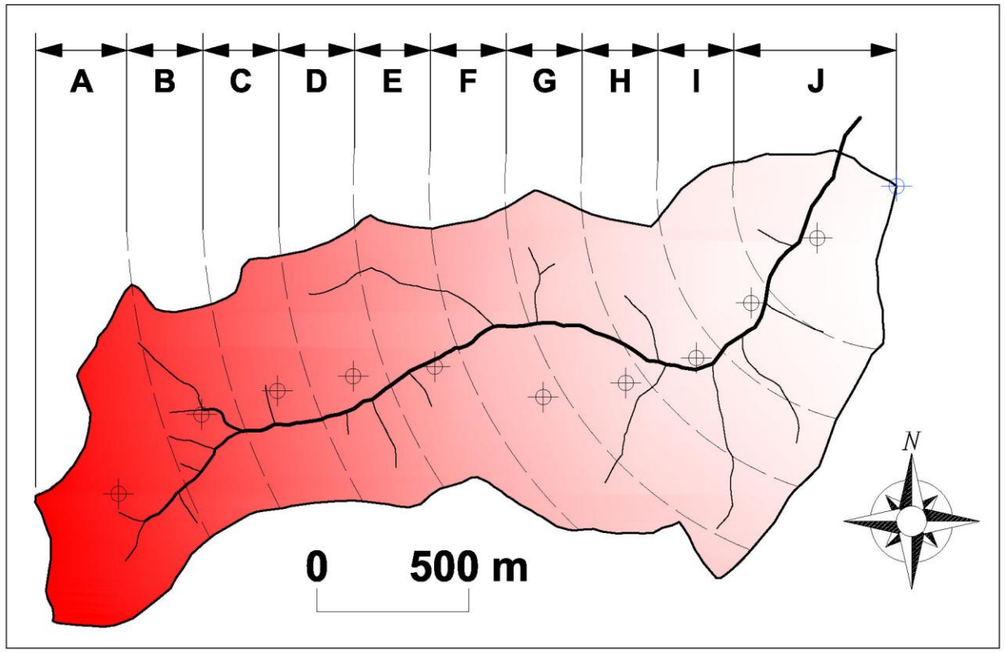
Sliv označen brojem 9 na preglednoj karti (Slika 112) je zapravo sliv Potoka spod Gračišća koji se uljeva u Krbunski potok. Ukupna pvršina sliva 9 iznosi 2.61 km^2, a prema kategorizaciji tokova izvršenoj prema Strahleru (1957) na topografskoj podlozi u mjerilu 1:25000 glavni tok sliva je 4. kategorije. Sliv regionalno gledajući pripada slivu rijeke Raše. Visinska razlika sliva iznosi 365 m, s maksimumom na visini 465 i minimumom na 100 m nad morem.

Inženjerskogeološki gledajući sliv je izgrađen od horizontalno uslojenih IG jedinica 1, 2 i 3 pri čemu su IG jedinice 1 i 2 u daleko podređenijem položaju u odnosu na jedinicu 3. Pojavljivanje IG jedinica u stupu dotičnog sliva se kreće između 2 i 3 puta.

Slika (Slika 113) shematski prikazuje prostornu analizu sliva 9 u kojoj je cilj bio odrediti trend porasta udjela ogolina i ogoljelih površina na segmentima koji se nalaze na određenim udaljenostima od ušća sliva. Segmenti su definirani po principu koncentričnih kružnica s centrom na ušću i hodom od 250 m. Svaka skica na slici (Slika 113) u podnožju ima prikazan iznos udaljenosti ušća sliva do centroida dotičnog segmenta te udio ogolina (U_{ox}) i ogoljelih površina (U_{okx}) na tom dijelu sliva (Slika 113). Kada se navedene udaljenosti te udjeli ogolina i ogoljelih površina sa svih prikazanih skica na slici (Slika 113) objedine u dijagram (donji desni ugao slike (Slika 113)) dobiva se vrlo izražen trend porasta udjela ogolina i ogoljelih površina s porstom udaljenosti ušća sliva do centroida pojedinih segmenata.







Tumač oznaka:

→	Smjer toka	U_{ox}	Udio ogolina na zaplavljenom dijelu sliva [%]
d_x	Udaljenost ušća sliva do centroida [km]	U_{okx}	Udio ogoljelih površina na zaplavljenom dijelu sliva [%]
⊕	Ušće sliva	⊕	Centroid segmenta

Slika 113 – Prostorna analiza razvoja reljefa za sliv 9

Navedeni trend definira dobra linearna korelacija za koju su na slici (Slika 113) prikazane jednadžbe pravaca i faktori korelacije koji za oba pravca iznose približno 0.6.

Ovako provedena prostorna analiza objasnila je pojavljivanje maksimuma udjela ogoljelih površina vidljivog na slici (Slika 92, str. 155) i to 1.5 km sjeverno od mjesta Gračišće, na istočnom dijelu razvodnice sliva Raše i Borutskog potoka.

7.3.5.1.1 Zone razvoja reljefa

Zone razvoja reljefa su objašnjene na slivu Potoka spod Gračišća jer je on upravo školski primjer razvoja reljefa u kvazihomogenoj sredini središnjeg dijela flišne Istre. Načela u nastavku prikazanog zoniranja moguće je primijeniti i na ostale dijelove istraživanog prostora i to pod uvetom spomenute kvazihomogenosti sliva u litološkom smislu.

Sliv se može podijeliti u tri zone na slici (Slika 114 a) odvojene linijama crvene boje od kojih je 1. najaktivnija, a 3. najumirenija u pogledu egzogenih procesa. Plave strelice na slici (Slika 114a) ukazuju na detalje prikazane na slici (Slika 114 b, c i d). U nastavku su navedene osnovne reljefne značajke svake zone te karakteristični egzogeni procesi u njima.

Zona 1

Ovu zonu prije svega označava najveći udio ogolina što je vidljivo iz analize prikazane na slici (Slika 113), te dominantan udio dolina 1. i 2. kategorije. Stoga su ogoline koje se pojavljuju u ovoj zoni u pravilu vezane za doline 1. i 2. reda s karakterističnim V oblikom poprečnog profila korita. Također reljef karakterizira visok nagib padina te mala priljevna površina u zaleđu ogolina. Visoku erozivnost tokova u ovoj zoni uvjetuju upravo visoki iznosi nagiba dna korita jaruga te V oblik poprečnih presjeka jaruga.

Zona 2

Zonu 2 karakterizira pojava dolina višeg reda (3. i 4.) V oblika poprečnog profila te smirivanje egzogenih procesa uz doline 1. i 2. reda. Iako dna dolina 3. i 4. reda ne karakteriziraju visoki iznosi nagiba one imaju visoku erozivnost zbog velike količine vode koja je posljedica veće priljevne površine u zaleđu. Upravo zato se ogoline u ovoj zoni

razvijaju uz doline višeg reda i to tamo gdje je tok u neposrednoj blizini strmo nagnutih padina (najčešće uvjetovano meandriranjem i/ili nagibom slojeva, što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 7.4). Na taj način je visoka energija toka iskorištena za pokretanje materijala akumuliranog u podnožju ogolina nastalog osipavanjem fizički potrošene stijenske mase. Taj proces odnošenja akumuliranog materijala podržava uzmicanje ogolina te nastavak ciklički povezanih procesa trošenje-osipavanje-taloženje-erozija.

Ovdje je važno napomenuti da se u ovoj zoni ogoline uz doline 1. i 2. reda "gase" iako su nagibi dna tih dolina te priljevna površina slični onima iz zone 1. Razlog tome je izgled poprečnog profila tih dolina koji je iz V oblika prešao u U oblik zbog čega tok nije koncentriran u blizini strmih padina pa onda i ne može odnositi materijal koji je nastao osipavanjem.

Zona 3

Zona 3 predstavlja najumireniji dio sliva u pogledu egzogenih procesa. Doline višeg i nižeg reda karakterizira U oblik poprečnog profila zbog čega se u ovoj zoni javljaju neaktivni meandri (Slika 114b). Pojava neaktivnih meandara može dovesti do zaključka da je novonastali tok "pomaknut" od strmije nagnutog boka doline čime se erozivnost toka ne iskorištava na odnošenje nakupljenog sipara. Nožice ogolina koje se nalaze u bokovima tako širokih dolina su prekrivene debelim siparom koji označava prestanak denudacije (uzmicanja) ogolina i početak procesa taloženja.

Sve navedeno u ovom dijelu ukazuje na važnost pojavljivanja **koncentriranih tokova visoke erozivnosti** u podnožju strmih ogolina u pogledu nastanka i opstanka istih. Također sve opisane zone, uz uvjet kvazihomogenosti stijenske mase, karakteriziraju i manje i veće slivove na istraživanom području što je vidljivo iz većine u nastavku analiziranih slivova.

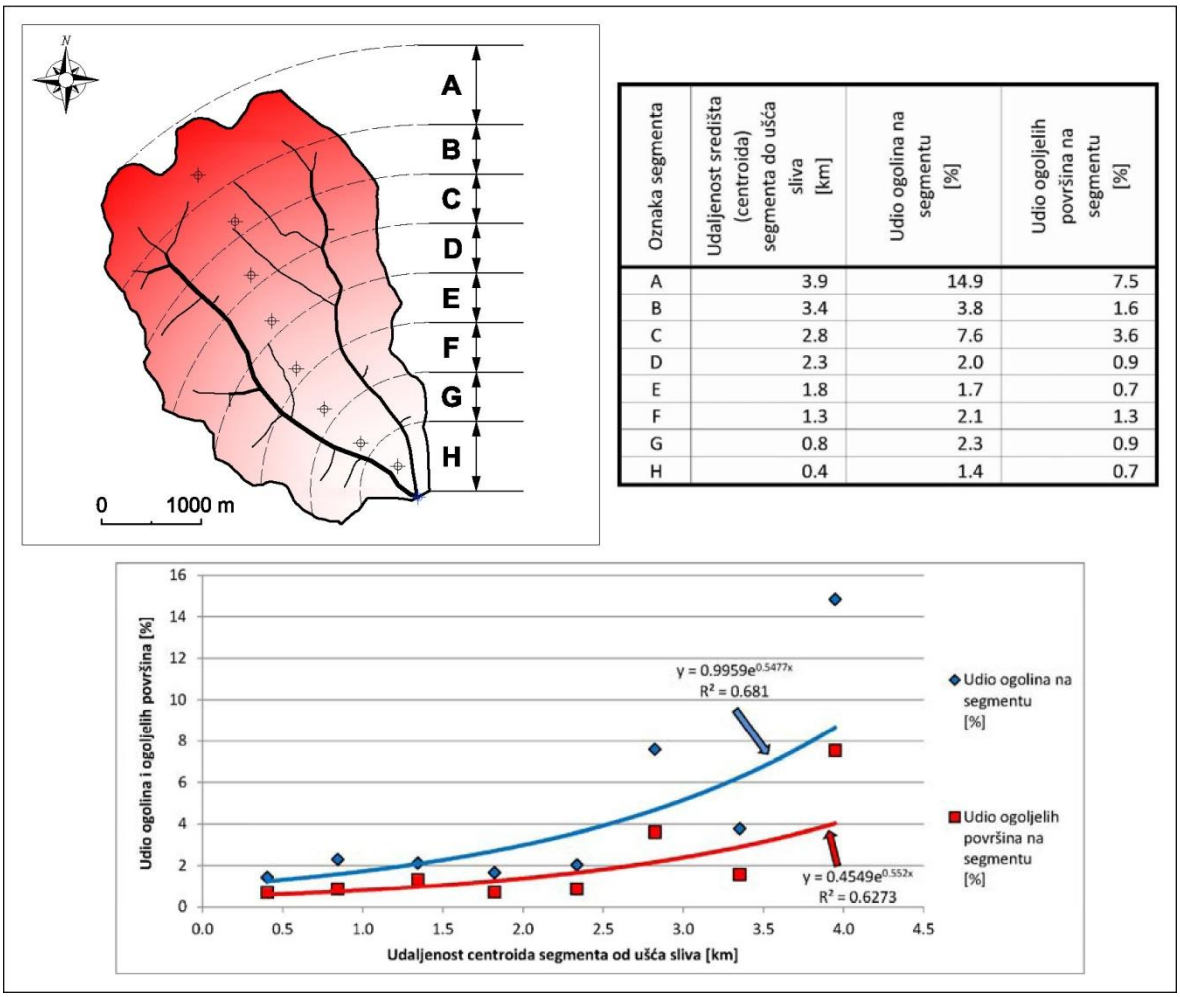
Slika 114 – Zone u različitom stadiju razvoja reljefa na slivu Potoka spod Gračišća

7.3.5.2 Sliv 6

Sliv 6 se nalazi u sjevernom dijelu sliva rijeke Raše, otprilike u sredini flišnog bazena. U promatranom slivu postoje dva veća povremena toka od kojih se istočni tok naziva Gradinski potok, a zapadni Kurbunski potok. Gradinski potok prema kategorizaciji tokova predstavlja tok 3. reda, dok Kurbunski potok predstavlja tok 4. reda. Ukupna površina sliva iznosi približno 9.4 km^2, a visinska razlika iznosi 380 m. Maksimalna nadmorska visina iznosi 435 m, a minimalna 55 m.

Sliv izgrađuju IG jedinice 1, 2 i 3, od kojih prevladava jedinica 3. Broj pojavljivanja jedinice 1 i 2 na promatranom slivu se kreće između 3 i 4. Iz navedenog se može zaključiti da sliv karakterizira kvazihomogena geološka sredina s horizontalnim ili blago nagnutim slojevima što se može iščitati s Osnovne geološke karte – list Labin.

Slika (Slika 115) prikazuje prostornu analizu razvoja reljefa za sliv 6. Sliv je podijeljen na osam segmenata (A do H) granice kojih definiraju kružni isječci koncentičnih kružnica s hodom od 500 m.



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	3.9	14.9	7.5
B	3.4	3.8	1.6
C	2.8	7.6	3.6
D	2.3	2.0	0.9
E	1.8	1.7	0.7
F	1.3	2.1	1.3
G	0.8	2.3	0.9
H	0.4	1.4	0.7

Slika 115 – Prostorna analiza razvoja reljefa za sliv 6

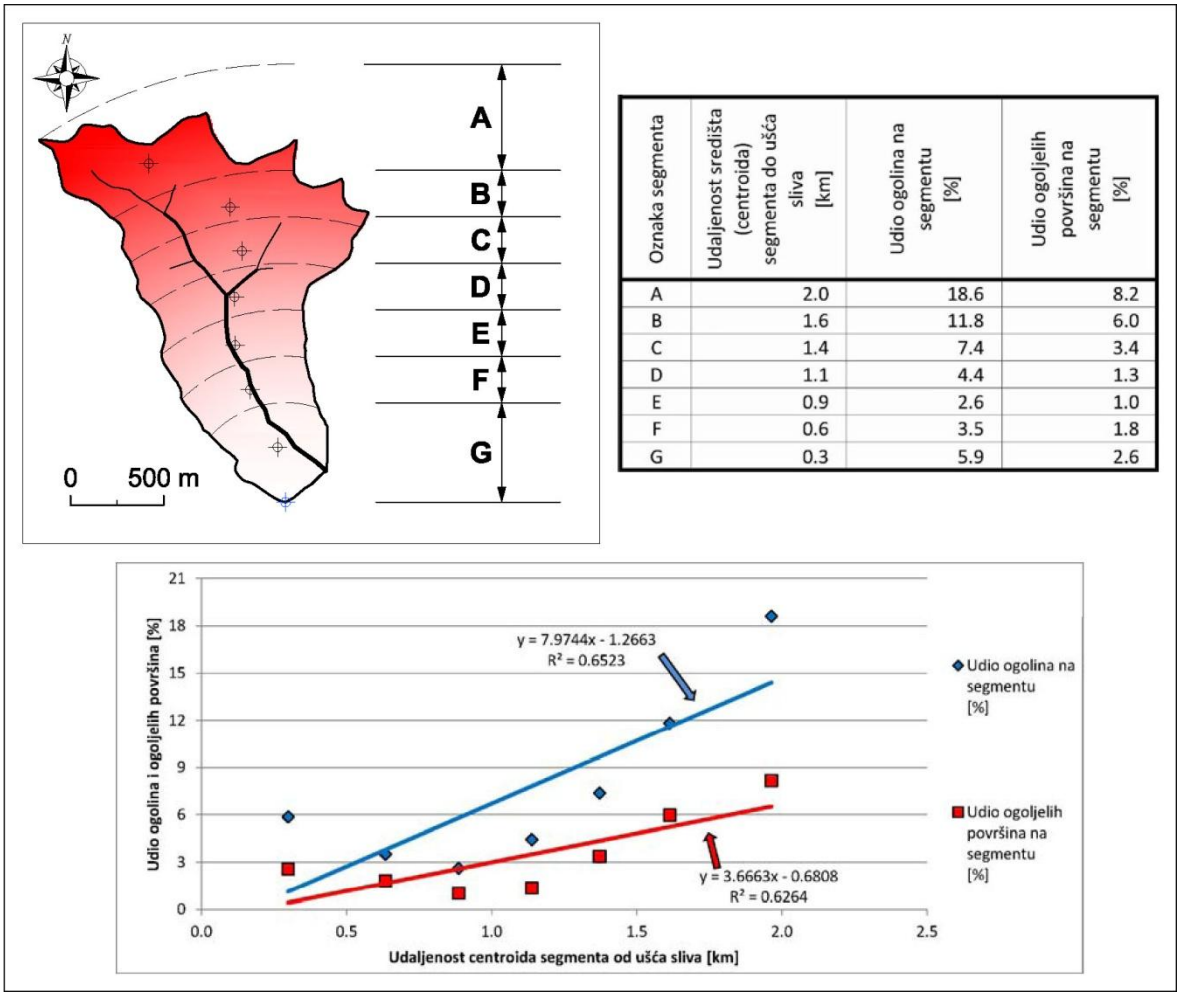
Korelacijski dijagram u donjem dijelu slike (Slika 115) ukazuje da se najveći udio ogolina i ogoljelih površina na promatranom slivu nalazi na krajnjim sjeverozapadnim grnicama sliva, te da isti opadaju prema eksponencionalnoj funkciji idući prema ušću sliva. Ovom analizom moguće je objasniti pojavljivanje maksimuma na karti udjela ogoljelih površina (Slika 92, str. 155) koji se nalaze otprilike 6.5 km sjeveroistočno od Gračišća i 3.5 km jugozapadno od Paza.

7.3.5.3 Sliv 8

Sliv 8 je površinom najmanji sliv od svih slivova na kojma je provedena analiza razvoja reljefa, svega 1.8 km^2. Središte sliva se nalazi približno 2.5 km jugoistočno od Cerovlja u okviru sliva rijeke Raše. Povremeni glavni tok u slivu je kategoriziran kao tok 4. reda, a predstavlja gornji dio toka Gologoričkog potoka. Visinska razlika na slivu iznosi 260 m, s maksimumom na visini 370 m i minimumom na visini 110 m nad morem.

Obzirom da se navedeni sliv također nalazi u središnjem dijelu flišnog bazena i on je izgrađen od IG jedinica 1, 2 i 3, s dominacijom IG jedinice 3. Broj pojavljivanja IG jedinica 1 i 2 se kreće između 2 i 3. Slojevi na slivu prema Osnovnoj geološkoj karti – list Labin dominantno imaju subhorizontalno pružanje.

Slika (Slika 116) prikazuje prostornu analizu razvoja reljefa za sliv 8. Sliv je podijeljen na sedam segmenata po principu koncentričnih kružnica s hodom od 250 m.



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	2.0	18.6	8.2
B	1.6	11.8	6.0
C	1.4	7.4	3.4
D	1.1	4.4	1.3
E	0.9	2.6	1.0
F	0.6	3.5	1.8
G	0.3	5.9	2.6

Slika 116 - Prostorna analiza razvoja reljefa za sliv 8

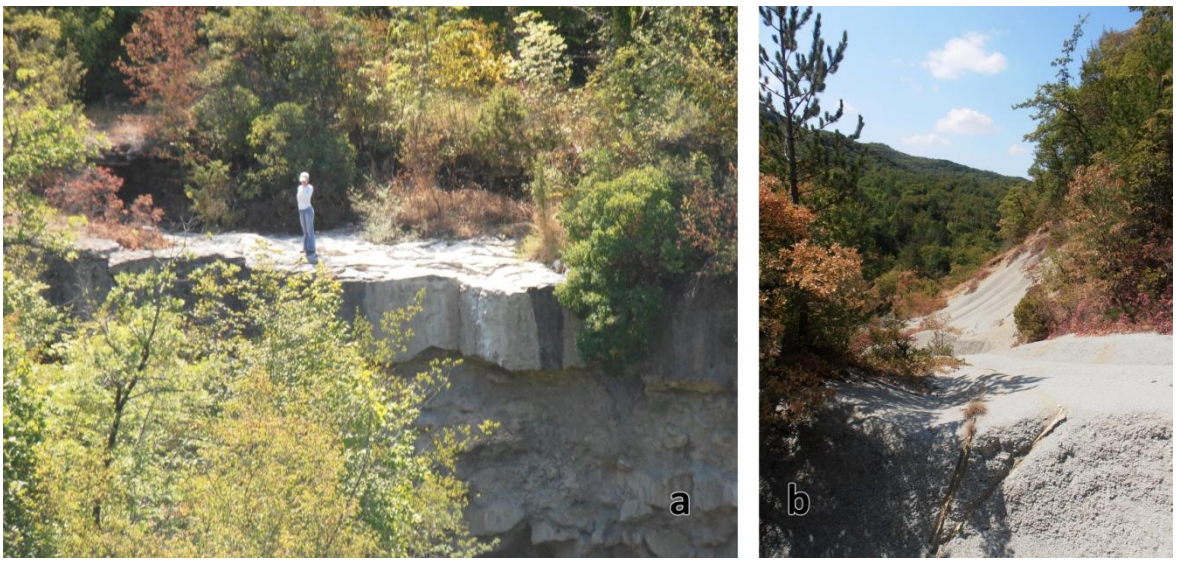
Korelacija prikazana na dijagramu u dnu slike (Slika 116) pokazuje trend porasta udjela ogolina i ogoljelih površina s porastom udaljenosti centroida segmenata od ušća. Korelacija ima linearan karakter, a faktor korelacije za oba pravca iznosi približno 0.6.

Može se zaključiti da i sliv 8 pokazuje sličnu zavisnost udjela ogolina na određenim pozicijama u slivu, kao i prethodno analizirani slivovi. Također ova analiza je objasnila maksimum udjela ogoljelih površina 1.7 km jugoistočno od Cerovlja (Slika 92, str. 155).

7.3.5.4 Sliv 7

Sliv 7 pripada slivu rijeke Mirne, a nalazi se na istočnim granicama sliva Botonege sjeveroistočno od Grimalde (Slika 112, str. 189). Površina mu iznosi 3.6 km^2, a visinska razlika na slivu je 395 m. Maksimalna nadmorska visina na slivu iznosi 500 m, a minimalna 105 m. Glavni povremeni tok na slivu spada u kategoriju 3. reda te mu čak i na topografskoj karti u mjerilu 1:5000 nije naznačeno ime. Navedeni tok predstavlja lijevu pritoku Dragučkog potoka.

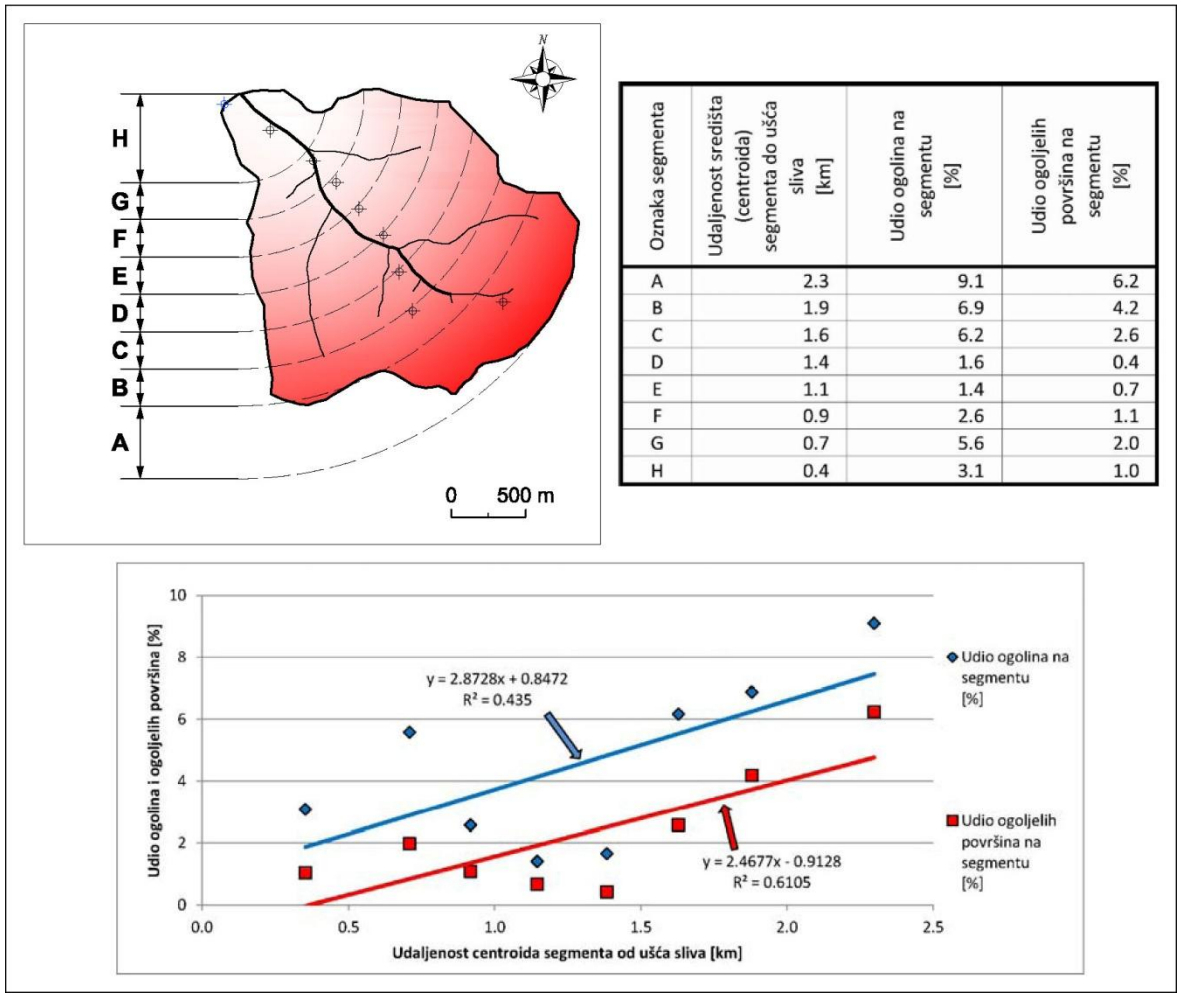
Inženjerskogeološka građa sliva 7 slična je svim prethodno analiziranim slivovima, što znači da se uglavnom sastoji od IG jedinica 1, 2 i 3, pri čemu IG jedinica 3 dominira. IG jedinice 1 i 2 se na promatranom slivu pojavljuju najmanje 2 puta. Ovdje valja naglasiti da je tijekom terenske prospekcije uočen megasloj na slivu ukupne debljine IG jedinica 1 i 2 približno 20 m (Slika 117).



Slika 117 – Megasloj na slivu 7: a) breče i kalkareniti (IG jedinica 1); b) lapori (IG jedinica 2) (lokacija okolica Grimalde)

Prostorna analiza razvoja reljefa prikazana na slici (Slika 118) izvršena je po principu analiza provedenih na prethodno opisanim slivovima. Segmenti po kojima je izvršena analiza su definirani koncentričnim kružnim isječcima s hodom od 250 m. Korelacija prikazana na dijagramu u donjm dijelu slike (Slika 118) pokazuje trend rasta i slabu ovisnost udjela ogolina i ogoljelih površina s povećanjem udaljenosti centroida od ušća sliva pri čemu korelacija udjela ogoljelih površina s udaljenošću centroida od ušća sliva ima nešto bolji faktor korelacije.

Sliv 7 u pogledu razvoja reljefa položajem spada na crveno šrafirani dio prikazan na slici (Slika 111; str. 186). Kvazi homogenost građe mu narušava debeli megasloj koji se pruža otprilike središnjim dijelom sliva, a upravo on uzrokuje nešto lošiji faktor korelacije prikazan na grafu slike (Slika 118). Analiza prikazana na slici (Slika 118) objašnjava pojavu maksimuma udjela ogoljelih površina u području približno 2.1 km istočno od mjesta Grimalda (Slika 92) kao poslijedicu razvoja reljefa.



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	2.3	9.1	6.2
B	1.9	6.9	4.2
C	1.6	6.2	2.6
D	1.4	1.6	0.4
E	1.1	1.4	0.7
F	0.9	2.6	1.1
G	0.7	5.6	2.0
H	0.4	3.1	1.0

Slika 118 - Prostorna analiza razvoja reljefa za sliv 7

Iz prikazanih analiza razvoja reljefa na 4 manja sliva unutar slivova rijeke Raše i Mirne može se zaključiti da se svi promatrani slivovi nalaze na granicama navedenih regionalnih slivova i to u središnjem dijelu flišnog bazena te da se svi slivovi nalaze u zoni intenzivnih egzogenih procesa (crveno šrafirano područje prikazano na slici (Slika 111; str. 186)). Također na svim slivovima prevladava IG jedinica 3 te ih sve karakterizira blagi do horizontalni nagib slojeva. Udio ogolina i ogoljelih površina na definiranim segmentima raste

s udaljenošću centroida navedenih segmenata od ušća slivova. Također može se zaključiti da je korelacija to bolja što je na slivu manje debelih proslojaka lapora iz IG jedinice 2.

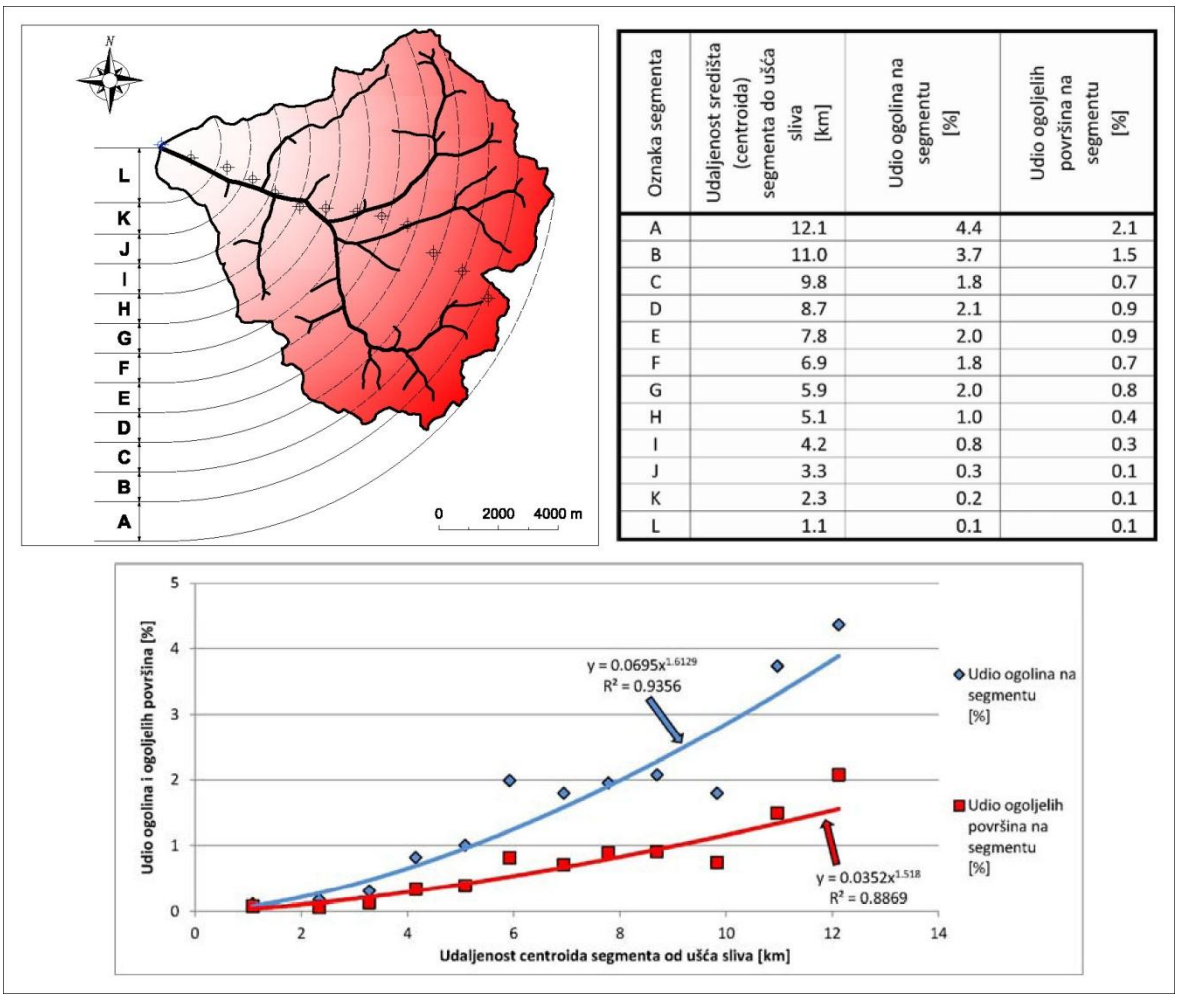
7.3.5.5 Sliv Botonege

Prostorne analize razvoja reljefa provedene na manjim slivovima te dobiveni dobri rezultati u obliku vrlo dobrih korelacija potakli su slične analize za puno veće slivove na istraživanom prostoru. Tako je prvo analiziran sliv rijeke Botonege koja predstavlja lijevu pritoku rijeke Mirne. Navedeni sliv ima površinu od 104.6 km^2, a visinska razlika iznosi 485 m. Najviša točka na slivu se nalazi na koti 500 m, dok se najniža nalazi na koti 15 m nad morem, gotovo u razini erozione baze. Sliv ima lepezasti oblik s glavnim tokom (Botonega) 6. reda.

Središnja dolina (dolina rijeke Botonege) se nalazi upravo u osi flišnog bazena koji ima oblik korita osi pružanja sjeverozapad – jugoistok. Na Osnovnoj geološkoj karti (listovi: Trst, Ilirska Bistrica, Rovinj i Labin) flišne naslage se nalaze na gotovo 86 % površine sliva, a ostatak otpada na aluvij 11 % i karbonate 3 %. Flišne naslage u promatranom slivu pripadaju IG jedinicama 1, 2 i 3 i u središnjem dijelu imaju debljinu veću od 400 m, dok se u bočnim dijelovima sliva ta debljina smanjuje, a posebno u području jugoistočno od Kaščerge gdje im debljina iznosi približno 100 m. IG jedinice 1 i 2 se u stupu pojavljuju najmanje 3 puta. Središnje dijelove sliva u pravilu karakterizira horizontalno pružanje slojeva, dok se nagibi povećavaju približavanjem sjeveroistočnim i jugozapadnim granicama sliva. No i ti nagibi u pravilu ne prelaze 10-ak stupnjeva. Iz svega navedenog se može zaključiti da je sliv Botonege izgrađen od, regionalno gledajući, kvazihomogene stijenske mase koju karakterizira horizontalna ili blago nagnuta slojevitost.

Na slici (Slika 119) prikazana prostorna analiza razvoja reljefa u velikoj mjeri sliči analizama provedenim na manjim slivovima (segmenti definirani po principu koncentričnih kružnih isječaka s hodom od 1000 m). Slično kao i kod navedenih manjih slivova i ovdje se uočava porast udjela ogolina i ogoljelih površina idući od ušća sliva (poligon – L) prema krajnjim istočnim granicama promatranog sliva (poligon – A). Korelacija udjela ogolina i ogoljelih površina sa udaljenošću centroida segmenta od ušća sliva pokazuje eksponencionalni karakter. Krakterizira je izrazito visoki faktor korelacije za obje prikazane krivulje veći od 0.88.

Udio ogolina na cijelom slivu Botonege iznosi 2.0 %, a udio ogoljelih površina 0.9 % od ukupne površine sliva.



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	12.1	4.4	2.1
B	11.0	3.7	1.5
C	9.8	1.8	0.7
D	8.7	2.1	0.9
E	7.8	2.0	0.9
F	6.9	1.8	0.7
G	5.9	2.0	0.8
H	5.1	1.0	0.4
I	4.2	0.8	0.3
J	3.3	0.3	0.1
K	2.3	0.2	0.1
L	1.1	0.1	0.1

Slika 119 - Prostorna analiza razvoja reljefa za sliv Botonege

Iako bi se iz korelacijskih krivulja prikazanih na slici (Slika 119) moglo zaključiti da sliv karakterizira izotropni razvoj reljefa pažljivijim pregledom karte na slici (Slika 92, str. 155) može se primjetiti da to nije u potpunosti tako, tj. da se svi dijelovi sliva ne razvijaju istom brzinom. Tako se uočava da je područje između Vrha i Grimalde pa prema sjevoroistočnoj granici sliva označeno relativno niskim udjelom ogoljelih površina s maksimumom u tom dijelu od 4 %. Područje jugoistočno od Kaščerge također karakterizira sličan udio ogoljelih površina s maksimumom u tom području do 8 %. Razloge minimalnih udjela ogoljelih površina na navedenim lokacijama vjerojatno treba tražiti u manjim iznosima debljine flišnih naslaga u tim područjima što znači da je eroziona baza, koju čine eocenski i kredni vapnenci, bliže površine terena (područje na sjeveroistočnoj granici sliva između Vrha i Grimalde) ili je pak eksponirana na površini terena (područje jugoistočno od Kaščerge).

Maksimalne vrijednosti u udjelu ogoljelih površina zabilježene su u području istočno i jugoistočno od Grimalde te sjeverno od Vrha, mjestimice čak više od 16 %. Razlog "kašnjenja" u razvoju reljefa za prethodno opisanim područjima može se objasniti činjenica da je na tom području debljina flišnog kompleksa puno veća, što opet povlači da je za denudaciju tako debelog kompleksa potebno i više vremena.

Na karti koju prikazuje slika (Slika 92, str. 155) se uočavaju i lokalni maksimumi u središnjem dijelu sliva Botonege i to u trokutu koji čine mjesta Vrh-Grimalda-Kaščerga. Ovi maksimumi kao što je već navedeno (uvodni dio poglavlja 7.3.5) predstavljaju lokalne anomalije u litologiji i to u obliku debljih paketa lapore iz IG jedinice 2, a diskusija o tome je provedena u poglavlju 7.4.1.1.

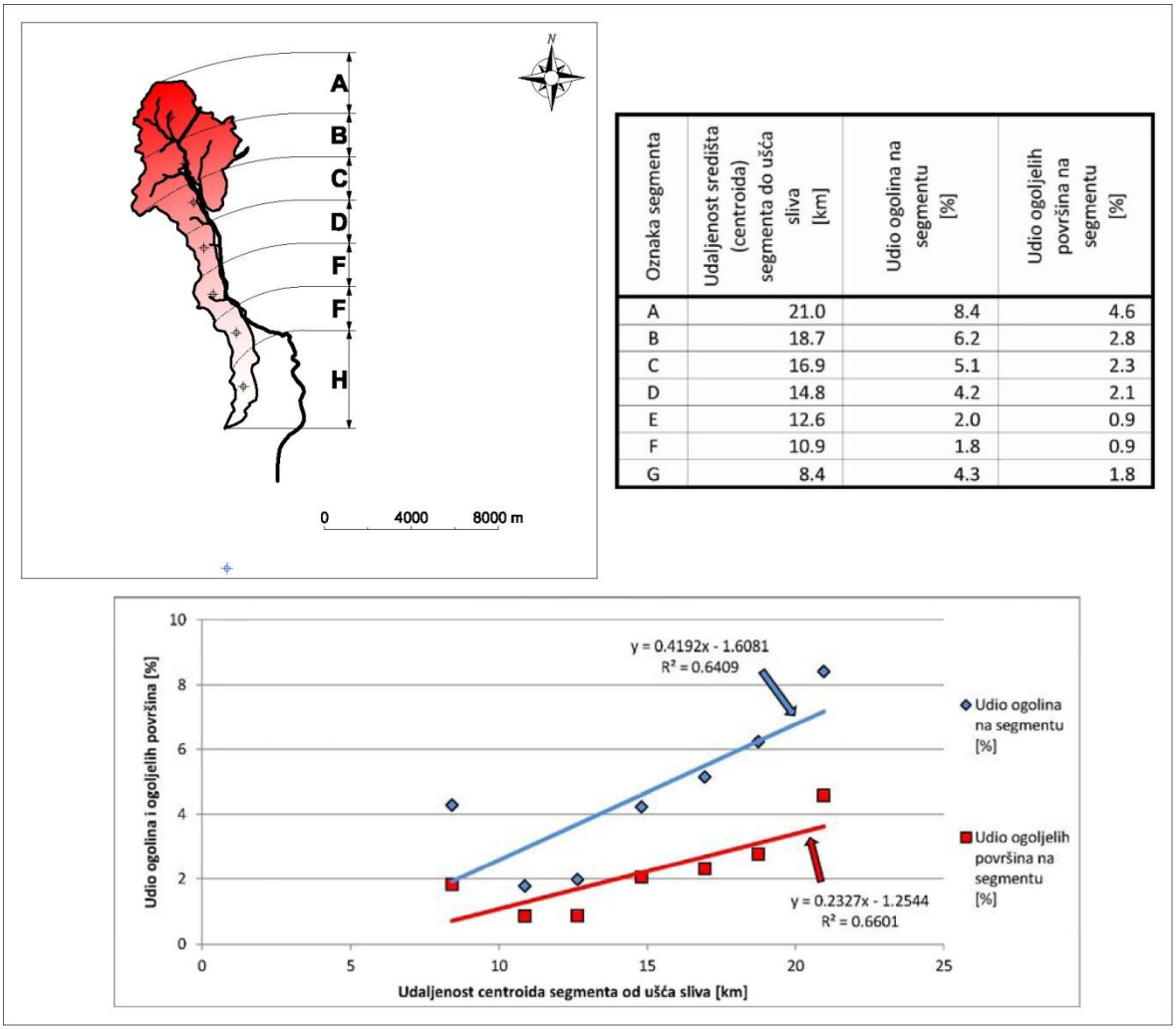
Iz navedenog se može zaključiti da sliv Botonege karakterizira kvazihomogena i subhorizontalno uslojena IG sredina koja uvjetuje razvoj reljefa u skladu sa skicom prikazanom na slici (Slika 111, str. 186). Navedeno dokazuje analiza razvoja reljefa prikazana na slici (Slika 119) u kojoj je determiniran visok stupanj korelacije između udjela ogolina i ogoljelih površina sa udaljenošću centroida segmenata od ušća sliva. Iako se na karti koju prikazuje slika (Slika 92, str. 155) uočava postojanje razlike u brzini razvoja reljefa na pojedinim dijelovima sliva, visok faktor korelacije u prikazanoj analizi ide u prilog tezi da ta razlika u razvoju nije prevelika. Uzrok tome treba tražiti u različitoj debljini flišnog stupa naslaga na promatranom području.

7.3.5.6 Sliv Boljunšćice

Sliv Boljunšćice se nalazi na krajnjim istočnim granicama istraživanog prostora. Ukupna površina sliva iznosi približno 195 km^2, od čega prema Osnovnoj geološkoj karti (listovi Ilirska Bistrica i Rovinj) veći dio, čak 58 %, izgrađuju karbonati kredne i eocenske starosti, dok manji dio izgrađuju flišne naslage i to 27 %. Ostatak površine otpada na sipar, aluvij i jezerski sediment.

Definirani istraživani prostor ovog rada obuhvatio je zapadni dio sliva rijeke Boljunšćice te je on kao takav ušao u prostornu analizu razvoja reljefa predstavljenu na slici (Slika 120). Navedeni dio sliva ima izdužen oblik i površinu od 33.1 km^2. Veći dio te površine pokrivaju flišne naslage definirane kao IG jedinice 1, 2 i 3 (89 %), a samo manji dio sliva,

svega 11 %, pripada IG jedinici 4, tj. globigerinskim laporima. Slojevitost na istraživanom dijelu sliva, zbog blizine tektonske jedinice Učka i Ćićarija (4.2.2), karakterizira blagi nagib prema zapadu i jugozapadu. Obzirom da dio toka Boljunšćice teče po karbonatnoj podlozi koja nije bila predmet ovih istraživanja procjenjena joj je 6. kategorija i to kategorizacijom samo tokova s istraživanog područja. Visinska razlika na analiziranom dijelu sliva iznosi 423 m, s maksimumom na 456 m i minimumom na 33 m nad morem.



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	21.0	8.4	4.6
B	18.7	6.2	2.8
C	16.9	5.1	2.3
D	14.8	4.2	2.1
E	12.6	2.0	0.9
F	10.9	1.8	0.9
G	8.4	4.3	1.8

Slika 120 - Prostorna analiza razvoja reljefa za dio sliva Boljunščice

Prostorna analiza razvoja reljefa prikazana na slici (Slika 120) provedena je slično svim dosada prikazanim sa segmentima definiranim pomoću koncentričnih kružnih isječaka razlike u radijusu od 2000 m. Korelacijski dijagram prikazan u dnu slike (Slika 120) također pokazuje trend porasta udjela ogolina i ogoljelih površina na istraživanom dijelu sliva s udaljavanjem centroda segmenata od ušća sliva. Faktor korelacije za oba prikazana pravca je veći od 0.6.

Na karti udjela ogoljelih površina koju prikazuje slika (Slika 92, str. 155) sjeverozapadno od Boljuna i Jugozapadno od Lupoglava postoje dva maksimuma čije se pojavljivanje na ovom mjestu može objasniti razvojem reljefa. Ta tvrdnja implicira da se najaktivniji dio reljefa približio krajnjoj sjevernoj flišnoj granici sliva. Zbog toga se manji maksimum koji se pojavljuje 8900 m južno od Boljuna u promatranom dijelu sliva Boljunšćice ne može objasniti stadijem u razvoju reljefa jer se isti nalazi na već "smirenom" dijelu sliva blizu ušća. Tijekom terenske prospekcije navedenog područja zaključeno je da se radi o debelo uslojenim laporima s tek ponekim tankim proslojkom pješčenjaka. Tako se može reći da je kvazihomogenost, koja karakterizira veći dio analiziranog prostora, ovdje narušena nešto debljom partijom lapora. Ovakav slučaj je primjećen i na drugim dijelovima istraživanog prostora pa je o razlozima pojavljivanja maksimuma udjela ogolina na laporima u okviru poglavlja 7.4.1.1 napisana kratka diskusija.

Iz svega navedenog može se zaključiti da izučavani dio sliva Boljunšćice većim dijelom karakteriziraju kvazihomogene flišne naslage sa slojevima blago nagnutim prema zapadu. Upravo zbog toga i ovdje se može pratiti na prethodnim analizama dokazana zakonitost da se udio ogolina povećava idući od ušća sliva pa prema krajnjim suprotnim granicama sliva. Ovdje je važno naglasiti da udio ogolina i ogoljelih površina na cijeloj analiziranoj površini sliva jako visok (5.6 i 2.7 %) što je vjerojatno posljedica nagiba slojeva koji uvjetuje koncentraciju toka na kontaktu ogolina – kompetentni litološki član (pješčenjak, kalkarenit, breča i sl.). O spomenutom je više rečeno u okviru poglavlja 7.4.1.3.

7.3.5.7 Sliv Borutskog potoka

Sliv Borutskog potoka odstupa od ostalih proučavanih slivova zbog činjenice da ne završava u moru već u Pazinskoj jami koja predstavlja i najniži dio sliva na 188 m nadmorske visine. Ukupna visinska razlika na izučavanom slivu iznosi svega 312 m što znači da je najviša kota na slivu na visini od 500 m. Iako površinom velik, čak 78.3 km^2, u slivu se zbog male visinske razlike uspio razviti tek tok 5. reda – Borutski potok.

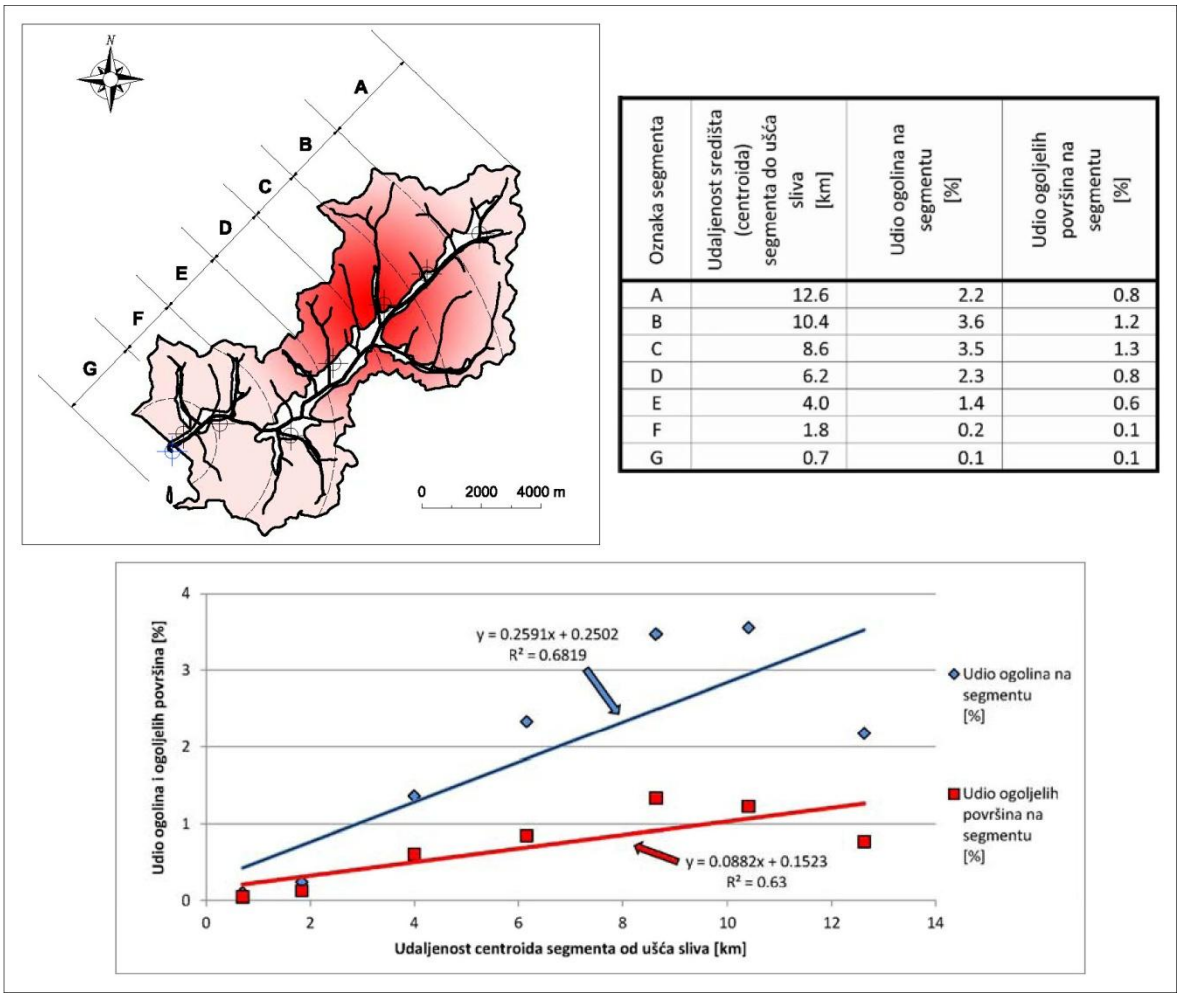
Sliv je izgrađen većim dijelom od flišnih naslaga i globigerinskih lapora. Flišne naslage pokrivaju 83 % sliva i mogu se svrstati u IG jedinicu 1, 2 i 3, od kojih je kao i u ostatku istraživanog prostora dominantna IG jedinica 3. IG jedinice 1 i 2 se na površini promatranog sliva pojavljuju svega 2 puta, što je posljedica male otkrivenosti geološkog stupa (visinska

razlika na slivu 312 m). IG jedinica 4 (globigerinski lapori) se pojavljuje u jugozapadnom dijelu sliva u okolici Pazinske jame. Pokriva površinu od 1.16 km^2 što čini svega 1.5 % sliva. Središnji dio sliva karakterizira aluvij, koji zajedno sa crvenicom prekriva 14 % površine. Karbonati su u podređenom udjelu i nalaze se samo u krajnjem jugozapadnom dijelu, a prekrivaju svega 3 % površine sliva.

Teksturu flišnih naslaga gotovo po cijeloj površini sliva karakterizira horizontalna slojevitost. Jedino odstupanje od navedenog se uočava sjeverno od Cerovlja gdje slojevitost ima azimut prema jugu, a nagib između 15 i 25°.

Prostorna analiza razvoja reljefa provedena na slivu potoka Borut prikazana na slici (Slika 121) dala je rezultate slične onima iz pethodno prikazanih analiza. Trend porasta udjela ogolina i ogoljelih površina s porastom udaljenosti centroida segmenata s ušćem sliva i na ovom slivu prati faktor korelacija veći od 0.6. Ono što je također karakteristično za ovaj sliv je da segment A (Slika 121) kao najudaljeniji segment od ušća sliva nema i najveći udio ogolina kao što je to slučaj na svim do sada analiziranim slivovima. Ova činjenica može dovesti do zaključka da su najaktivniji dijelovi sliva (dijelovi sliva ekvivalentni onima crveno šrafiranim na slici (Slika 111, str. 186)) već prešli njegove granice, a maksimum prikazan na karti udjela ogolina u području između Cerovlja i Boruta možemo pripisati nepovoljnom nagibu slojeva na tom dijelu sliva koji imaju smjer nagiba niz padinu. Time deblji slojevi lapora iz IG jedinice 2 (puno podložnije stvaranju ogolina) uočeni tijekom terenske prospekcije bivaju izloženi na površini terena duž cijele padine.

Sliv Borutskog potoka karakterizira ukupno najmanji udio ogolina i ogoljelih površina od svih većih analiziranih slivova (2.1 i 0.8 %).



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	12.6	2.2	0.8
B	10.4	3.6	1.2
C	8.6	3.5	1.3
D	6.2	2.3	0.8
E	4.0	1.4	0.6
F	1.8	0.2	0.1
G	0.7	0.1	0.1

Slika 121 - Prostorna analiza razvoja reljefa sliv Borutskog potoka

Zaključno se može reći da sliv Borutskog potoka predstavlja energetski najslabiji sliv na istraživanom području. Karakterizira ga ukupna visinska razlika od svega 312 m što je posljedica činjenice da se Borutski potok ne ulijeva u more već u Pazinsku jamu. Iz tog razloga je sliv zbog više erozione baze od ostalih istraživanih slivova već ušao u zadnji stadij razvoja (Slika 111, str. 186, t=5.63) reljefa jer veći dio terena predstavlja "umireni" reljef, a posebno se to može apostrofirati za područje u okolici Pazinske jame. Lokalno se uočavaju maksimumi (područje između Cerovlja i Boruta) koji su povezani s anomalijama u stijenskoj masi u vidu većih debljina IG jedince 2, čime se zapravo lokalno narušava kvazihomogenost sliva.

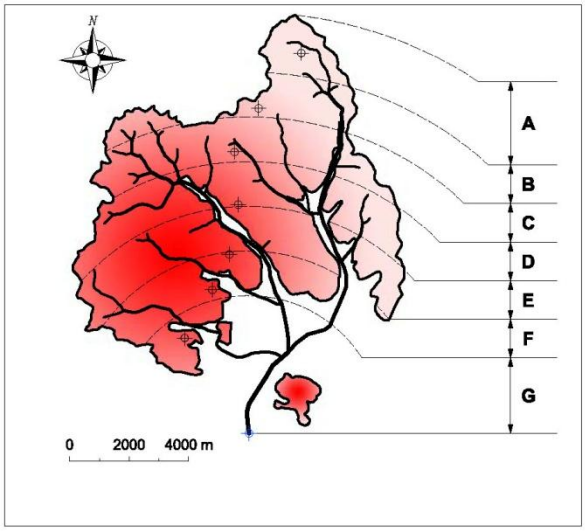
7.3.5.8 Sliv Raše

Sliv rijeke Raše s geološkog aspekta predstavlja, uz sliv Mirne, najraznolikiji analizirani sliv na istraživanom području središnje Istre. Površina sliva iznosi 97.6 km^2, od čega je čak 68 % fliš. Ostalih 32 % otpada na aluvij te kredne i eocenske karbonate, i to oba navedena člana

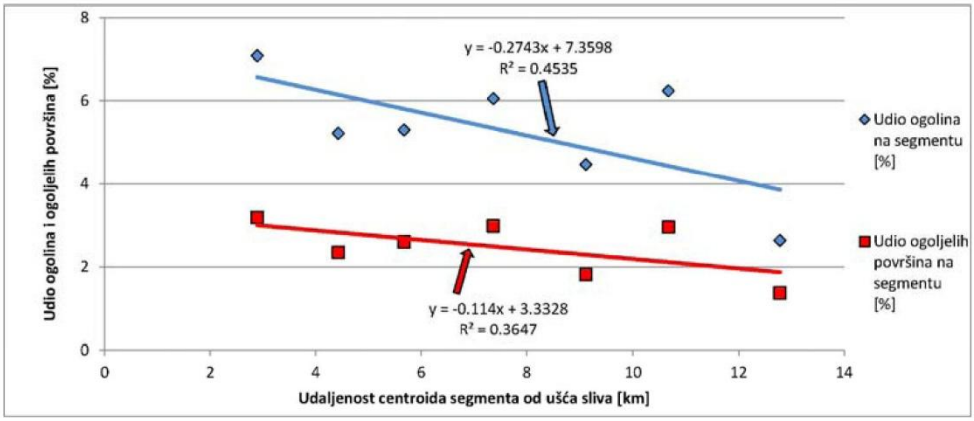
po 16 %. Zbog toga što je više od polovine sliva izgrađeno od flišnog kompleksa, sliv ima dendritični oblik hidrografske mreže pri čemu tokovi višeg reda (4. i 5. red) uglavnom imaju smjer sjeverozapad – jugo istok, dok Raša kao glavni tok na slivu ima generalan smjer toka sjever – jug, a pripada 6. kategoriji tokova. Visinska razlika na slivu iznosi 450 m, pri tome je minimum na nadmorskoj visini od 20 m, a maksimum na 470 m.

Prostorna analiza razvoja reljefa prikazana na slici (Slika 122) je obuhvatila samo dio sliva s flišnim kompleksom naslaga. Najveća debljina flišnog kompleksa naslaga je u središnjem dijelu i iznosi više od 300 m, a smanjuje se idući prema jugozapadnoj granici sliva gdje se i karbonatna podloga približava površini terena. Navedeno područje većinom karakteriziraju IG jedinice 1, 2 i 3, pri čemu se IG jedinice 1 i 2 na površini pojavljuju, slično kao i na slivu Kurbunskog potoka (7.3.5.2) 3 do 4 puta. Ono što zasigurno razlikuje promatrani sliv od ostalih slivova na kojima je provedena prostorna analiza, je postojanje debelog paketa lapora u okolici Pićna te sjeverno od Šumbera, koji uzrokuje anomaliju u pogledu razvoja reljefa, tj. lokalno uzrokuje vrlo visok udio ogolina. Genetski je taj paket lapora prema Osnovnoj geološkoj karti – list Labin svrstan u flišni kompleks naslaga, no u ovom radu su uzorci uzeti s tog područja pokazali značajke sličnije onima za IG jedinicu 4 (globigerinske lapore) pa je stoga opravdana dvojba u ispravnost uvrštavanja navedenih lapora u flišni kompleks. Osnovni strukturni sklop na slivu uglavnom karakterizira subhorizontalna slojevitost, osim u području Pićna gdje su zbog blizine karbonatne podloge koja je nagnuta prema sjeveroistoku i mlađi slojevi fliša nagnuti na istu stranu pod kutem od 10-ak stupnjeva. Iz navedenog može se zaključiti da sliv rijeke Raše ne karakterizira kvazihomogenost u građi stijenske mase, kao što je to slučaj u većini ostalih izučavanih slivova, što naravno ima za poslijedicu i različite udjele ogolina na određenim točkama u slivu.

Prostorna analiza razvoja reljefa prikazana na slici (Slika 122) je provedena po principu segmenata definiranh koncentričnim kružnim isječcima s hod uzmicanja u iznosu od 2000 m. Na promatranom slivu se uočava sasvim suprotni trend u udjelu ogolina i ogoljelih površina gdje je on najveći u G poligonu, a najmanji na A poligonu. Ovakav trend se može objasniti činjenicom da su gore spomenuti lapori u okolici Pićna uglavnom koncentrirani u području G i F poligona prikazanog na karti u gornjem lijevom uglu slike (Slika 122).



Oznaka segmenta	Udaljenost središta (centroida) segmenta do ušća sliva [km]	Udio ogolina na segmentu [%]	Udio ogoljelih površina na segmentu [%]
A	12.8	2.6	1.4
B	10.7	6.2	3.0
C	9.1	4.5	1.8
D	7.4	6.1	3.0
E	5.7	5.3	2.6
F	4.4	5.2	2.4
G	2.9	7.1	3.2



Slika 122 - Prostorna analiza razvoja reljefa sliva Raše

Također navedeni je maksimum u udjelu ogoljelih površina lako uočljiv na slici (Slika 92, str. 155) i to u području istočno od Gračišća, tj. sjeverno i sjeverozapadno od Pićna, te sjeverno od Šumbera.

Za ostatak sliva, a u skladu s analizama slivova provedenim u poglavljima 7.3.5.1, 7.3.5.2 i 7.3.5.3 koji predstavljaju dijelove Raškog sliva izgrađene isključivo od kvazihomogene stijenske mase (IG jedinice 1, 2 i 3), se može zaključiti da razvoj reljefa ide u skladu sa skicom prikazanom na slici (Slika 111, str. 186). Na taj način su objašnjeni maksimumi u udjelu ogoljelih površina (Slika 92, str. 155) duž zapadne granice sliva od Gračišća pa gotovo do Paza.

Sliv Raše se nalazi na drugom mjestu prema ukupnm udijelu ogolina i ogoljelih površina odmah iza sliva Buljinščice (5.3 i 2.5 %).

Zaključno se može istaći da je na ovom slivu potvrđena tvrdnja o velikom utjecaju litologije na pojavljivanje ogolina (3.1.1). Debeli slojevi lapora lokalno uvjetuju pojavu maksimuma u udjelu ogolina, a razlog tome je Hortonov, u pravilu vrlo erozivni, površinski tok koji je izražen na takvim materijalima. O utjecaju lapora na povećanje udjela ogolina sveobuhvatnija diskusija je provedena u poglavlju 7.4.1.1.

7.3.5.9 Sliv Mirne

Sliv rijeke Mirne predstavlja najveći sliv na istraživanom prostoru s površinom od 430 km^2. Prostorna analiza razvoja reljefa za navedeni sliv je bila teško provediva zbog činjenice da promatrani sliv velikim dijelom pripada tektonskoj jedinici Ćićarija s karakterističnom ljuskavom strukturom i velikim utjecajem tektonike na razvoj ogolina. Kako je utjecaj tektonike na udio ogolina teško kvantificirati, a istraživanja u vezi s tim bi trebala imati sasvim drugačiji pristup, analize provedene u ovom radu u obzir uzimaju samo dio sliva zapadno od linije Buzet – Boljun.

Tako je već prikazan i objašnjen razvoj reljefa za sliv Botonege kao lijevog pritoka rijeke Mirne, stoga će se u nastavku u kratko samo potvrditi zaključci navedeni u poglavlju 7.3.5.5.

Razvoj reljefa za izučavani dio sliva rijeke Mirne je vrlo sličan razvoju reljefa na slivu Botonega. Iz slike (Slika 92, str. 155) je vidljivo da udaljavajući se od ušća sliva udio ogoljelih površina na slivu raste. Tako područje u okolini mjesta Buje, Šterna, Vižinada, Livade i Motovun karakterizira vrlo niski udio ogoljelih površina (od 0 do maksimalno 1%). Zonu u okolini Buzeta, Sovinjskih Brda, Vrha i Kaščerge karakterizira udio ogoljelih površina od 0 do 8%, dok zonu sjeverno i južno od Grimalde označava udio ogolina od 0 do preko 16%. Lokalna odstupanja od navedenih tvrdnji, kao što je naprimjer područje u okolini Šterne (s maksimumom udjela od 16%), najčešće uzrokuju anomalije u kvazihomogenosti flišnih naslaga u obliku debelih slojeva lapora što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 7.4.1.1.

Iz svega navedenog u analizi sliva Botonege te iz kratkog razlaganja u ovom poglavlju može se zaključiti da se sliv rijeke Mirne nalazi u visokom stadiju razvoja reljefa. Na slivu rijeke Mirne se uočava da udio ogolina na istraživanom području nije direktno ovisan o nagibu i energiji reljefa što je već naznačeno u poglavljima 7.3.1 i 7.3.2. To se posebno

očituje u široj okolici mjesta Livade koja je označena visokim iznosima nagiba (Slika 104, str. 176) i energije (Slika 106, str. 179) te s niskim udjelom ogoljelih površina (Slika 92, str. 155). Ovaj dio sliva je zapravo ekvivalent zoni 3 opisanoj u poglavlju 7.3.5.1.1 te kao takav predstavlja dio sliva s manje intenzivnim denudacijskim procesima, a razlog tome je U oblik dolina i višeg i nižeg reda.

7.3.5.10 Model razvoja reljefa za prostor središnje Istre

Iz dosad provedene diskusije moguće je, u cilju boljeg prikaza razvoja reljefa na istraživanom području, izraditi shematiziranu seriju profila koja prikazuje 6 stadija razvoja reljefa (Slika 123).

Slika (Slika 123) prikazuje shematizirani profil flišnih naslaga uzduž doline najvišeg reda nekog sliva. Inicijalnu površinu terena i inicijalnu visinu erozione baze prikazuje profil u gornjem lijevom uglu slike (Slika 123). Navedeni profil pokazuje blago nagnutu površinu s površinskim tokom niske erozivnosti. Situacija se mijenja u trenutku spuštanja erozione baze (1. stadij razvoja reljefa, npr. mesinska solna kriza) kada se upravo na kontaktu naslaga i erozione baze zbog novonastale velike razlike potencijala javlja tok vrlo visoke erozivnosti koji uzrokuje i visoke iznose denudacije. Čela tako nastalih jaruga karakteriziraju ogoline (2. stadij razvoja reljefa) koje na promatranom terenu predstavljaju površine s najvećom produkcijom nanosa (Tabela 2, str. 45). Flišni kompleks naslaga zbog "armirajućih" slojeva breča, kalkarenita i pješčenjaka posjeduje relativno visoku čvrstoću zbog čega čela jaruga u pravilu karakterizira visok iznos nagiba. Nepostojani lapori u prikazanom stupu na tako strmo nagnutom terenu uzrokuju intenzivno osipavanje zbog čega se u dnu jaruga gomila materijal koji onda zbog visoke energije koju posjeduje koncentrirani površinski tok biva oderodiran. Na taj način je stvoren zatvoreni krug koji se prekida tek kada kompletni stup bude denudiran (6. stadij razvoja reljefa) ili pak ako se ponovno podigne nivo erozione baze.

Valja naglasiti da prikazan razvoj reljefa na slici (Slika 123) ima za cilj ukazati na mjesta u nekom slivu koja **najčešće** karakterizira najveći udio ogolina (mada ne uvijek), i to posebno ako na razmatranom slivu ne postoje kontrastne inženjrskogeološke sredine (npr. globigerinski lapori kao IG cjelina 4 i izmjena lapora i pješčenjaka kao IG cjelina 3) već je sliv izgrađen od jedne IG jedinice ili više njih s uniformnom debljinom. Ogoline se naravno

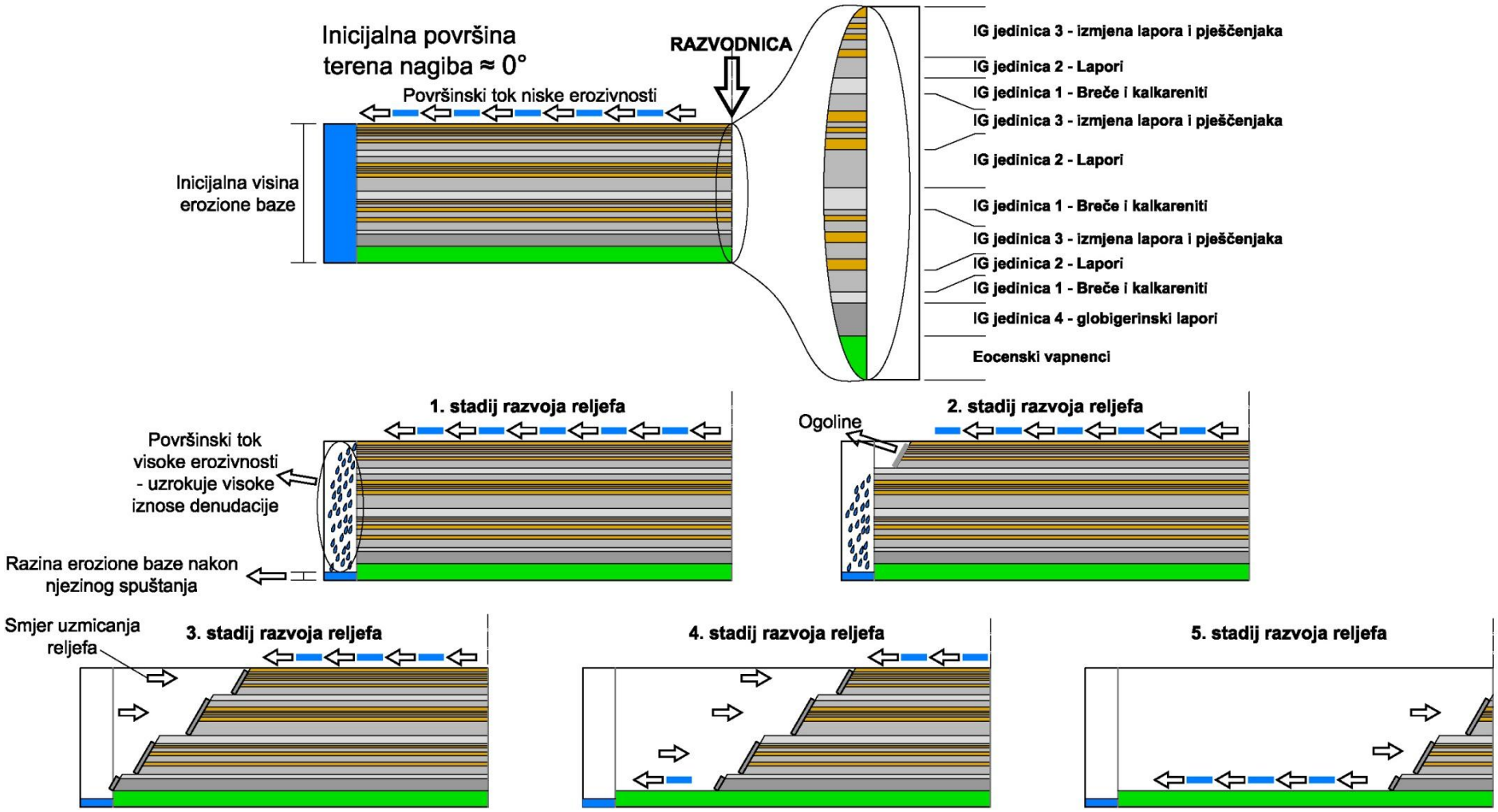
javljaju i u drugim dijelovima sliva, no ovdje je njihovo pojavljivanje, a prema tome i udio, vezan uz druge faktore koji su opisani u poglavlju 7.4.

Provedene prostorne analize razvoja reljefa dokazuju tvrdnju da u kvazihomogenoj sredini maksimumi udjela ogolina dolaze na različitim mjestima u slivu, a ta mjesta u prvom redu ovise o fazi u razvoju reljefa u kojoj se dotični sliv nalazi.

Iz do sada prikazane diskusije vezane uz razvoj reljefa te iz modela prikazanog na slici (Slika 123) bilo je moguće načiniti tabelu (Tabela 49) stadija razvoja reljefa za veće slivove na istraživanom prostoru. Uz stadij u kojem se nalazi pojedini sliv u tabeli (Tabela 49) su prikazani i udjeli ogolina te ogoljelih površina za dotični sliv.

Tabela 49 - Stadij razvoja reljefa za veće slivove na istraživanom prostoru

Sliv	Stadij	Udio ogolina [%]	Udio ogoljelih površina [%]
Botonega	4. do 5.	2.0	0.9
Boljunščica	3. do 4.	5.6	2.7
Borutski potok	5.	2.1	0.8
Raša	3. do 4.	5.3	2.5



Slika 123 – Shematski prikaz razvoja reljefa na području središnje Istre

7.4 FAKTORI NASTANKA OGOLINA

Tijekom inženjerskogeološke prospekcije istraživanog prostora te tijekom izrade katastra ogolina pomoću ortofoto karata uočeno je da se ogoline vrlo često pojavljuju na određenim ponekad i neočekivanim mjestima unutar nekog sliva. Tako je već više puta tijekom prostornih analiza razvoja reljefa spomenut utjecaj debelih paketa lapora, bilo iz IG jedinice 2 ili iz IG jedinice 4, na pojavljivanje velikih ogoljelih površina koje nisu mogle biti objašnjene razvojem reljefa u kvazihomogenoj flišnoj sredini. Također je uočen veliki utjecaj već spomenutih energetskih stepenica (*eng. cuesta*) u obliku debelih slojeva breča, kalkarenita i sl. iz IG jedinice 1. Povećanje energije viših redova vodotokova (tokovi reda 3, 4 i 5) uzrokovanih jakim meandriranjem također može lokalno uzrokovati pojavu velikih ogolina i to uglavnom kategorije 1 (ogoline bez vegetacije).

U nastavku su detaljno opisani i analizirani primjeri pojavljivanja ogolina vezanih uz gore navedene faktore. Također su opisani i primjeri na kojima je uočen utjecaj povećanja koncentracije površinskog toka te utjecaj čovjeka na pojavljivanje ogolina. Uz sve navedeno opisani su tipovi ogolina koji se najčešće javljaju na definiranim IG jedinicama te karakterističnu splet egzogenih procesa za svaki pojedini tip.

7.4.1 Utjecaj litologije na nastanak ogolina

Litologija predstavlja jedan od najutjecajnijih faktora na pojavljivanje i opstojanje ogolina na području središnje Istre. Litološke značajke stijenskih masa koje doprinose stvaranju ogolina u pravilu potiču stvaranje visoko erozivnih površinskih tokova i to u podnožju ogolina, a najvažnije značajke u tom pogledu su:

1) Debeli paketi lapora (IG jedinice 2 i 4);
2) Energetske stepenice te
3) Orijentacija osnovnog strukturnog sklopa.

7.4.1.1 Debeli paketi lapora

U poglavlju 3.1.3 je navedeno da brzina nastajanja Hortonovog površinskog toka ovisi o brzini zadovoljavanja infltracijskog kapaciteta podloge te o hrapavosti podloge. Lapori kao

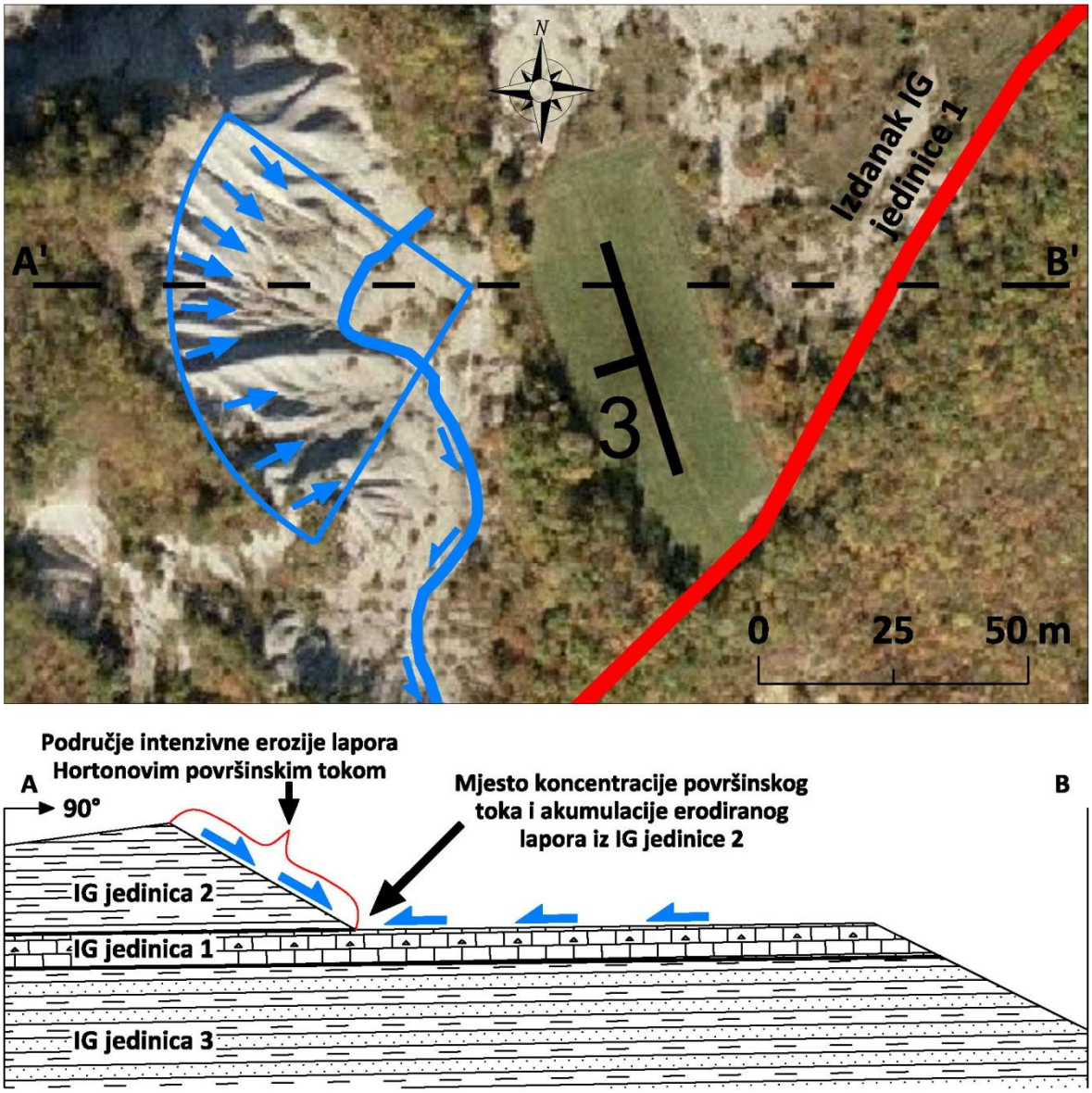
sastavni dijelovi gotovo svih definiranih IG jedinica istraživanog prostora (IG jedinice 2, 3 i 4) predstavljaju idealan medij za nastanak erozivnog Hortonovog toka. Zbog visokog sadržaja čestica dimenzija gline i čestica minerala glina infiltracijski kapacitet se dostiže vrlo brzo nakon početka kišnog događaja što uvjetuje brzo stvaranje površinskog toka, a ovisno o intenzitetu kiše i erodibilnosti podloge, i relativno visokog iznosa denudacije.

IG jedinice 2 i 4 su gotovo u potpunosti izgrađene od lapora te upravo zbog toga udio ogolina na istraživanom prostoru jako ovisi o njihovom pojavljivanju i debljini. Debljina IG jedinice 2 kao jedinice nastale taloženjem materijala iz mutnih struja ovisi o obliku paleokorita po kojima su se formirale navedene mutne struje i o količini pokrenutog materijala. Tako će debljina navedene jedinice padati od središta paleokorita pa lateralno prema njihovim obodima, zbog čega danas na terenu mjestimice gdje je IG jedinica 2 deblja nastaju i površinom veće ogoline i obrnuto na mjestima gdje je IG jedinica 2 tanja uopće nema ogolina ili su površinom vrlo male.

IG jedinica 4 (globigerinski lapori) nastaje normalnom bazenskom sedimentacijom, a i debljina joj može biti puno veća od IG jedinice 2. Prema nekim literaturnim navodima debljina jedinice na površini iznosi do 200 m, a u podzemlju još i više, čak preko 700 m (Šikić i dr., 1973). Veća debljina IG jedinice 4 uzrokuje i površinom veća ogoljela područja primjer kojega je zasigurno i ogolina Šterna detaljnije opisana u poglavlju 6.2.1.

Ono što je karakteristično za ogoline nastale na obje navedene IG jedinice je njihov lepezasti oblik (plavi kružni isječak na slici (Slika 124)) i relativno niski nagibi koji se kreću od 25° do 30° u dnu jaruga te 30° do 45° u bokovima jaruga. Također obje jedinice karakterizira postojana i vrlo slabo erodibilna podloga (za IG jedinicu 2 to su breče i kalkareniti iz IG jedinice 1, a za IG jedinicu 4 su to kredni ili eocenski karbonati ili pak prelazne naslage s rakovicama) koja predstavlja bazu po kojoj se formira također Hortonov površinski tok s još većom erozivnošću. Veću erozivnost navedenog toka uvjetuje njegova koncentriranost, koja je pak posljedica u pravilu blagog nagiba navedenih slojeva kao što je slučaj na primjeru prikazanom na slici (Slika 124). Međutim, upravo orijentacija slojeva jako utječe na to hoće li se na nekom mjestu pojaviti ogolina ili ne, pa se tako može pretpostaviti da ogoline kao takve vjerojatno ne bi bilo da je slučajno orijentacija kalkarenita na slici (Slika 124) bila u suprotnu stranu. Naime iz profila (Slika 124) se vidi da nagib slojeva uvjetuje koncentraciju

površinskog toka upravo na kontaktu lapora iz IG jedinice 2 i kalkarenita iz IG jedinice 1. Kako erozija lapora iz IG jedinice 2 površinskim Hortonovim tokom donosi veliku količinu materijala upravo na taj kontakt, zbog visoke energije površinskog toka kontak se konstantno "spire" od akumuliranog materijala (profil na slici (Slika 124)).



Slika 124 – Lepezasti tip ogolina u IG jedinici 2

Ovdje valja naglasiti da je visoka energija Hortonovog površinskog toka na kalkarenitima i brečama iz IG jedinice 1 te na eocenskim i krednim vepnencima u podlozi IG jedinice 4 posljedica vrlo slabe, gotovo nikakve, infiltracije te visoke zaglađenosti navedenih podloga. Iz toga se može zaključiti da takav površinski tok nastaje vrlo brzo nakon početka kiše (još brže nego na IG jedinici 2), a zbog niske hrapavosti podloge čak pri malim nagibima slojeva tok vrlo brzo poprima veliku brzinu, a time i visoku erozivnost. Na slici (Slika 125) je

prikazan primjer takvog toka na kalkarenitima iz IG jedinice 1 na kojem se uočavaju pukotine osnovnog strukturnog sklopa. Iako ponegdje i centimetarske širine one ne utječu značajno na iznos infiltracije jer su u pravilu zapunjene glinom.

Slika 125 – Površinski tok na kalkarenitima iz IG jedinice 1 (erozijsko popločenje u slivu Kurbunskog potoka)

Zaključno se može naglasiti da nastajanje ogolina u slojevima lapora IG jedinica 2 i 4 ovisi o debljini navedenih jedinica te o orijentaciji osnovnog strukturnog sklopa odnosno sloja. Ovakve ogoline nastaje na blagim terenima, a njihovo pojavljivanje nije vezano uz stadije u razvoju reljefa, tj. u pravilu nije vezan uz najaktivniji dio reljefa (najčešće se nalaze u zoni 2 opisanoj u poglavlju 7.3.5.1.1).

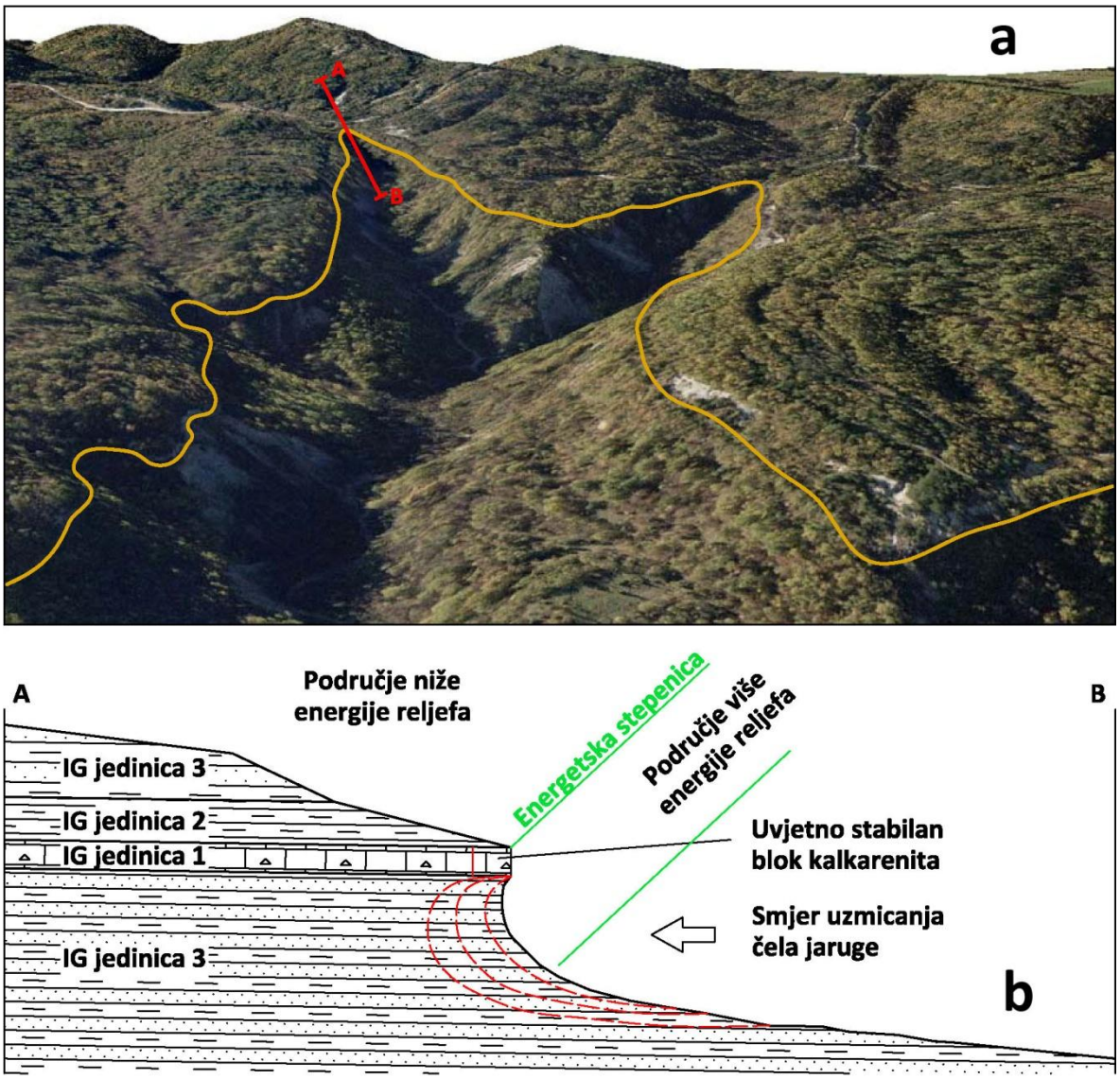
7.4.1.2 Energetske stepenice

Pojavu energetskih stepenica (*eng. cuesta*) na istraživanom prostoru središnje Istre uvjetuje kontrastne fizikalno-mehaničke značajke litoloških članova flišna. Najvažnija fizikalna značajka u pogledu stvaranja energetskih stepenica je postojanost. Kako lapori predstavljaju izrazito nepostojane članove, a kalkareniti, breče i pješčenjaci postojane članove logično je da se na njihovim kontaktima javljaju razlike u nagibima terena rezultat

kojih su onda i površinski tokovi različitih energija. Utjecaj energetskih stepenica na istraživanom prostoru je vidljiv, ovisno o debljini kompetentnog sloja, i na mikro (Slika 126) i na makro skali (Slika 127a).

Slika 126 – Mikro energetske stepenice u IG jedinici 3 (ogolina u slivu Vlaškog potoka)

Mehanizam napredovanja energetske stepenice prikazuje profil A-B vezan uz sliku (Slika 127 b) na kojem se vidi da lapori koji predstavljaju bazu kompetentnim litološkim članovima pod utjecajem prvo procesa fizičkog trošenja, zatim osipavanja, a onda i erozije u vidu odnošenja akumuliranog materijala bujičnim tokom, uzmiču suprotno smjeru toka u jaruzi. Na taj način se gubi baza kompetentnom sloju što u trenutku narušavanja ravnoteže uzrokuje odronjavanje većeg, uvjetno stabilnog, bloka.



Slika 127 – IG jedinica 1 kao makro energetska stepenica (Područje između Paza i Boljuna)

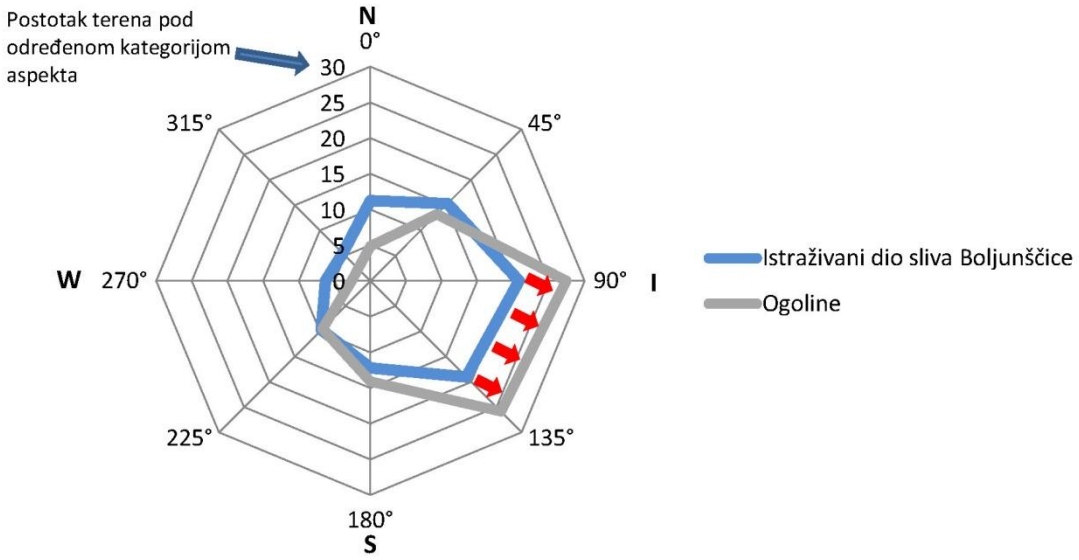
Slika (Slika 128) prikazuje primjer velike energetske stepenice, nastale na kontaktu kalkarenita i lapora, na kojoj se zapažaju poslijedice svih gore nabrojanih egzogenih procesa: fizičko trošenje, pokreti masa u obliku osipavanja, i erozija, tj. odnošenje nakupljenog sipara.

Slika 128 – Energetska stepenica na kontaktu kalkarenita i lapora (šire područje Grimalde)

Ono što je vrlo često karakteristično za energetske stepenice većih dimenzija, a to su u pravilu debeli kompetentni slojevi IG jedinice 1 (na slici (Slika 127a) sloj kalkarenita iz IG jedinice 1 označen svjetlo smeđom linijom), je pojava ogolina velikih površina prostiranja u njihovoj podini. Obzirom da je slojevitost u pravilu blago nagnuta vrlo često nastaju ogoline na jednoj strani doline zbog objašnjenog efekta koncentriranja toka na strani doline orijentirane suprotno orijentaciji sloja (Slika 10, str. 28, Slika 124). Na toj strani se formiraju jaruge nižih redova koje su okomite na središnji tok u osi doline zbog kojih površina terena neodoljivo podsjeća na naboranu zavjesu (u nastavku opisan zavjesasti tip ogolina, 7.6.1). Dobar primjer ovakvih ogolina su ogoline Sv. Donat (Slika 76, str. 126) i Boljun (Slika 84, str. 140) koje karakterizira visok nagib (od 45° do 90°, a mjestimice i više od 90°).

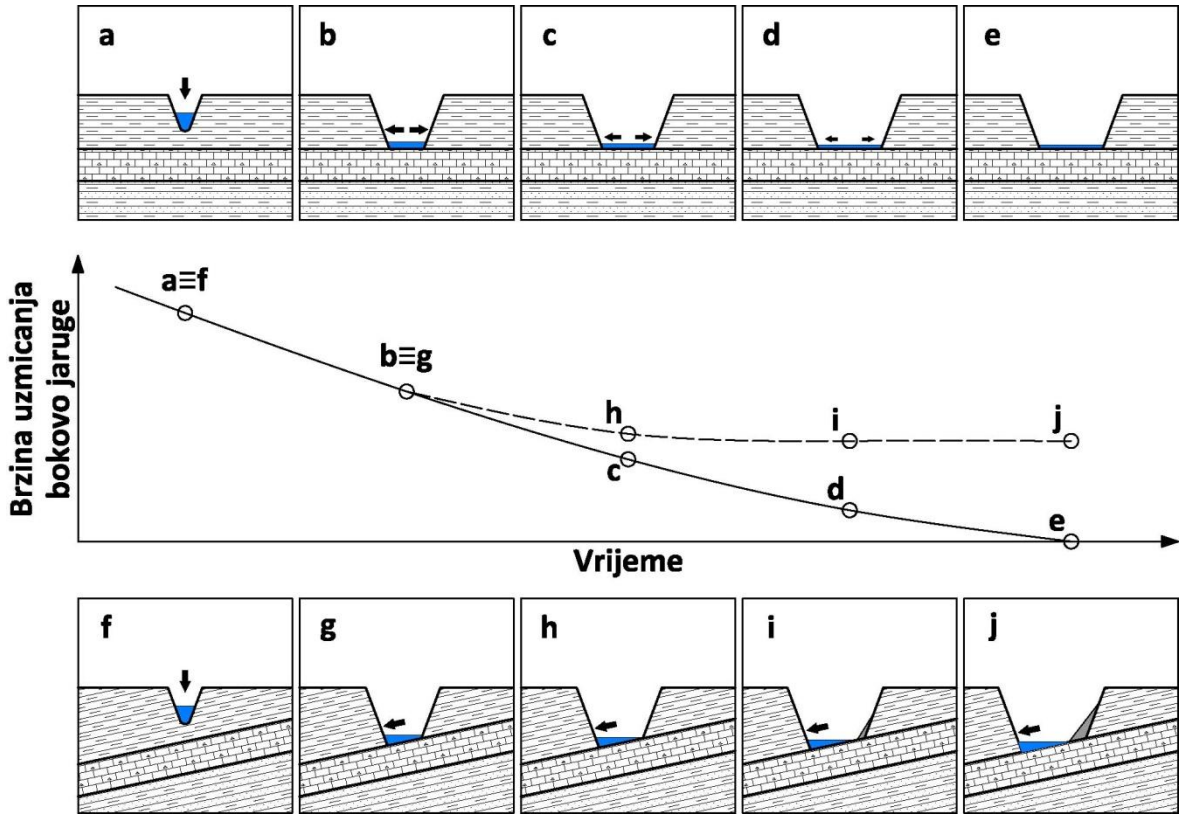
7.4.1.3 Orijentacija sloja

Orijentacija sloja je više puta do sada spomenuta kao važna karika u lancu nastajanja i opstajanja ogolina. Područje središnje flišne Istre karakterizira vrlo blago valovita slojevitost koja lokalno može uzrokovati koncentraciju površinskog toka na kontaktu kompetentnog sloja (pješčenjak, breča ili kalkarenit) i boka jaruge zbog čega na tom mjestu nastaje ogolina koja uzmiče u smjeru nagiba sloja. Ova pojava može imati i utjecaj na veća područja pa je tako uočeno da sliv Boljunšćice karakterizira nagib slojeva prema zapadu zbog čega je aspekt ogolina na tom području uglavnom orijentiran prema istoku što se vidi iz dijagrama prikazanog na slici (Slika 129).



Slika 129 – Aspekt ogolina na slivu Boljunšćice

Sliv Boljunšćice ima najveći udio ogolina od svih analiziranih slivova, što se ne može objasniti nekim značajnijim anomalijama u litološkom sastavu (sliv katakterizira kvazihomogena građa s dominantnom IG jedinicom 3 i podređenim IG jedinicama 1, 2 i 4). Razlog najvišem udjelu ogolina treba tražiti u nagibu osnovnog strukturnog sklopa koji uvjetuje koncentraciju površinskih tokova, a time i nastavak napredovanja ogolina u smjeru nagiba slojeva. Slika (Slika 130) shematski prikazuje dvije po litologiji iste cijeline s jedinom razlikom u nagibu osnovnog strukturnog sklopa. Tako gornja serija skica (Slika 130 a-e) prikazuje horizontalne slojeve, a donji red (Slika 130 f-j) slojeve nagnute pod kutom od 12°.



Slika 130 – Napredovanje denudacije kao posljedica nagiba osnovnog strukturnog sklopa

Skica (Slika 130) predstavlja teren s konstantnim protokom vodotoka u jaruzi koji na a i f skici napreduje jednakom brzinom prema dolje. Usjecanjem toka u podlogu na bokovima se razvijaju ogoline koje središte vodotoka opskrbljuju s velikim količinama materijala. U trenutku kada tok dopre do rezistentnih članova flišna (Slika 130 b i g), npr. kalkarenita, on se počinje bočno širiti. Kod horizontalno uslojene situacije to širenje je jedankomjerno u oba smjera, dok je kod nagnutih slojeva ono samo u jednom smjeru i to u onom u kojemu su nagnuti slojevi. Slike (Slika 130 c i h) prikazuju nastavak širenja jaruge pri čemu se na gornjoj skici to širenje usporava jer se širenjem korita smanjuje energija odnosno erozivnost toka, dok se na donjoj skici napredovanje nastavlja istom brzinom jer je tok jednako koncentriran kao i na prethodnoj slici (Slika 130 g). Na kraju slika (Slika 130 e) predstavlja jarugu umirenih bokova s vodotokom izrazito niske, gotovo nikakve erozivnosti. Slika (Slika 130 j) s druge strane prikazuje jednako aktivnu jarugu u kojoj se na strani suprotnoj od one na kojoj je tok koncentriran stvara sipar. Navedena strana postaje umirena, dok suprotna aktivna strana nastavlja svoje napredovanje sve dok uzmicanje boka jaruge ne spriječi pojava nekog drugog faktora (npr. ublažavanje nagiba sloja, povećanje produkcije nanosa zbog povećanja površine ogoline do mjere kada energija toka nije u stanju pokrenuti akumulirani materijal i sl.).

Prikazana skica (Slika 130) zorno prikazuje situaciju na slivu Boljunšćice na kojem nagib slojeva uvjetuje konstantnu koncentraciju tokova, čime je i napredovanje bokova jaruga konstantno. Da bi se na promatranom slivu doseglo ravnotežno stanje u kojem će se aktivnost reljefa smiriti, tj. u kojem će se zatvarati ogoline, potrebno je više vremena. Sve navedeno upućuje na zaključak kako nagib slojeva jako utječe na najvažniji faktor stvaranja ogolina na području središnje Istre, a to je **pojava koncentriranog toka u nožici strmih padina – ogolina**.

7.4.2 Meandriranje tokova viših redova

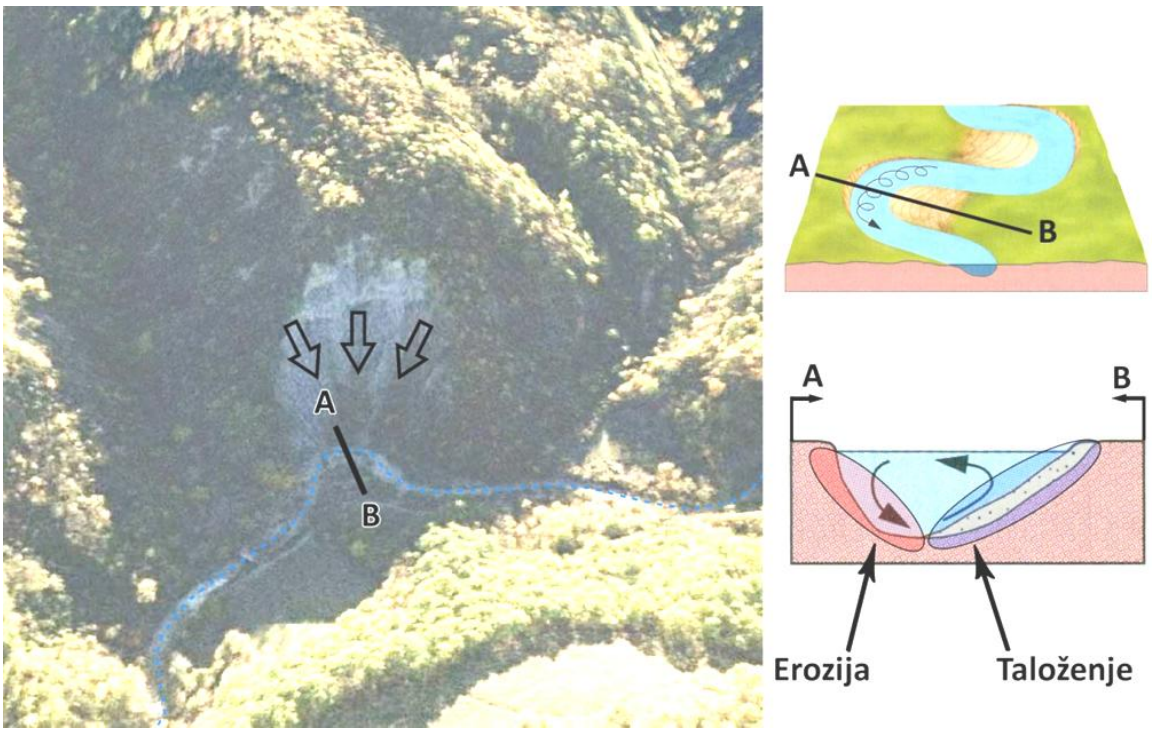
Slično kao i energetske stepenice i meandriranje tokova viših redova lokalno uzrokuje koncentraciju energije erozionog agensa, tj. vode u blizini strmo nagnutih ogoljelih dijelova terena. Ova pojava se lijepo uočava na ortofoto kartama korištenim pri izradi katastra ogolina na istraživanom prostoru, a prikazana je na slici (Slika 131).

Meandri vodotokova predstavljaju mjesta na kojima se energija duž profila okomitog na os jako polarizira. Tako je na vanjskim obodima meandra ona dovoljno visoka da izazove eroziju, tj. odnašanje materijala nakupljenog u podnožju ogoline, a na unutrašnjem rubu meandra je pak dovoljno niska da se na tom mjestu događa taloženje materijala nošenog tim istim tokom. Nakupljanje materijala na vanjskom rubu meandra je uzrokovano prvo oslabljivanjem stijenske mase na ogolini (fizičko trošenje), a zatim i njezinim osipavanjem. Da bi se cijeli proces ciklički ponavljao, dakle trošenje – osipavanje – akumulacija – erozija potrebno je da sve četiri nabrojane faze u ciklusu budu zadovoljene, tj. ako se umjetno ili prirodno onemogući bilo koja od njih ogolina više neće biti aktivna i vrlo brzo će je "preuzeti" vegetacija.

Ogoline nastale na ovaj način se također imaju izgled naboranih zavjesa jer ih karakterizira veliki nagib, jaruge nižih redova okomite na glavni tok (crne strelice na slici (Slika 131)) te visoka i koncentrirana energija na kontaktu ogolina – glavni tok.

S inženjerskogeološkog stajališta ovdje je važno naglasiti da ogoline ovog tipa nastaju u IG jedinici 3 koju karakterizira relativno visoka čvrstoća stijenske mase zaslužna za visoke iznose nagiba ogolina. Tu relativno visoku čvrstoću uvjetuju slojevi pješčenjaka koji predstavljaju prirodnu armaturu IG jedinice 3. Vremensku nepostojanost ogoline uvjetuju

lapori koji iako relativno visoke čvrstoće (8.5 MPa) svojom osjetljivošću na procese fizičkog trošenja stvaraju materijal koji se na stmim padinama osipava u podnožje ogoline.



Slika 131 – Stvaranje ogolina na vanjskim obodima meandara

Meandre te uz njih vezane strme ogoline na istraživanom prostoru karakteriziraju tokovi viših redova (uglavnom tokovi 3. i 4. reda), stoga se ovako nastale ogoline ne nalaze na najaktivnijim dijelovima reljefa (čela jaruga - Slika 123, str. 212) već se nalaze u dolinama koje karakterizira V oblik profila i niži nagibi glavnog toka (do °5).

7.4.3 Čovjek kao inicijator nastanka ogolina

Potencijal ka stvaranju ogolina na nekom prostoru jako ovisi o tome koliko je taj prostor pokriven vegetacijom kao najboljim prirodnim zaštitnikom od intenzivne erozije (denudacije) terena. Vegetacija djeluje na dva važna čimbenika koja direktno utječu na Hortonov površinski tok, a to su infiltracija i brzina površinskog toka. Već je naglašeno da erozivnost površinskog toka (2.3.1.1) ovisi o kinetičkoj energiji tog toka pa prema tome vegetacija može djelovati na njegovu količinu (masu) i brzinu. Gušća vegetacija pospješuje infiltraciju čime se smanjuje količina (masa) vode koja sudjeluje u površinskom toku, što opet dovodi do smanjenja i njegove energije. Također vegetacija bilo koje vrste usporava površinski tok čime ona djeluje na drugu komponentu kinetičke energije, a to je brzina.

Čovjek u pravilu inicira nastanak ogolina upravo kroz aktivnosti koje su usmjerene na uklanjanje vegetacije kao prirodnog zaštitnika od intenzivne erozije, a to je u prvom redu ispaša stoke i izgradnja putova. Ove dvije aktivnosti pospješuju nastanak ogolina i u zonama pojedinih slivova (zone 2 i 3, 7.3.5.1.1) koje karakterizira "umireni" reljef.

Tako vrlo često bivaju inicirane ogolina blažih nagiba (10° do 35°, nagib sličan kutu odlaganja sipara) u IG jedinici 3 koje ne mogu opstajati bez utjecaja čovjeka. Ogoline ovog tipa vrlo teško mogu nastajati prirodnim putem jer je zbog niskog nagiba ovdje od egzogenih procesa dominantna erozija površinskim Hortonovim tokom. Kako se IG jedinica 3 u pravilu sastoji od izmjene nepostojanih lapora i postojanih pješčenjaka površinski tok nastao na takvoj podlozi, karakteriziranoj niskim nagibima, vrlo brzo biva usporen do te mjere da ne izaziva značajnije iznose u eroziji. Naime zbog toga što se lapori puno brže troše i erodiraju na površini terena ostaju decimetarski odlomci pješčenjaka koji onda predstavljaju prirodni pokrivač (2.3.1.2.4), tj. prirodnu zaštitu od erozije tako što povećavaju hrapavost površine zbog čega se površinski tok jako usporava te mu se smanjuje erozivnost (Slika 132). Može se dakle zaključiti da uklanjanjem vegetacije s takvih površina predstavlja glavni uzrok nastanka i opstojanja ogolina na njima.

Slika 132 - Ogoline blagog nagiba u IG jedinici 3

Gradnja makadamskih puteva s jednostavnim drenažnim sustavima također može uzrokovati nastanak ogolina na blagim terenima. Spomenuti drenažni sustavi uzrokuju koncentraciju, odnosno povećanje erozivnosti površinskog toka u postojećim prirodnim jarugama. Naime takvi putevi predstavljaju manje hrapavu površinu od one prirodne čime se potiče povećanje erozivnosti Hortonovog površinskog toka, a time se uspostavljena prirodna ravnoteža narušava. Sve opisano također uzorkuje nastanak ogolina na blažim, već "umirenim", padinama (Slika 133) izgrađenim od IG jedinice 3.

Slika 133 - Makadamski putevi kao uzrok nastajanja ogolina

7.5 KARTA PODLOŽNOSTI FORMIRANJU OGOLINA

Prikazane prostorne analize te diskusija vezana za faktore nastanka ogolina imali su za cilj odrediti najvažnije parametre koji utječu na nastanak i opstanak ogoline. Isti parametri mogu poslužiti za izradu karte osjetljivosti formiranju ogolina prikazanu u nastavku (Slika 134). Navedena karta predstavlja derivat preklapanja faktorskih karata i to redom:

1) Karte nagiba padina;
2) Karte aspekta padina;
3) Karte razvoja reljefa te
4) Karte udaljenosti od hidrografske mreže.

Faktorska karta nagiba terena podijeljena je u 5 klasa širine kojih su definirane prema histogramu prikazanom na slici (Slika 103, str. 175). Bodovi pridruženi pojedinoj klasi faktorske karte predstavljaju cjelobrojne vrijednosti udjela ogolina u kategoriji nagiba terena

(Slika 103, str. 175). Klase faktorske karte te pripadajući im bodovi prikazuje slijedeća tabela (Tabela 50):

Tabela 50 – Bodovanje faktora nagiba padina

Klase nagiba [°]	0-5	5-20	20-25	25-30	30-35	>35
Bodovi	1	2	3	4	6	10

Za potreba izrade karte osjetljivosti definirano je 4 klase aspekta padina i to uz konzultaciju dijagrama prikazanog na slici (Slika 107, str. 181). Granice klasa i pripadajuće bodove prikazuje tabela (Tabela 51).

Tabela 51 - Bodovanje faktora aspekta padina

Klase aspekta [°]	Teren nagiba 0°	0-22 i 248-359	23-67	68-247
Bodovi	1	2	3	4

Analize prikazane u poglavlju 7.3.5 su pokazale gotovo u svim korelacijskim dijagramima jaku zavisnost udjela ogolina s udaljenošću od ušća pojedinog sliva. Time je potvrđen zaključak da udio ogolina na nekom području ovisi o stadiju razvoja sliva u kojemu se to područje nalazi. Za kvazihomogene sredine, bez izraženijih odstupanja u debljini i udjelu pojedinih definiranih IG cijelina, uglavnom vrijedi da udio oglina raste idući od ušća prema najudaljenijim granicama sliva. Kako je ovaj faktor dosta važan, a zbog objašnjenih razloga (7.3.5.9) nije ga bilo moguće odrediti na cijelokupnom slivu Mirne, karta podložnosti stvaranju ogolina pokriva područje samo 4 veća sliva: Botonege, Raše, Boljunščice i Borutskog potoka. Za dobivanje faktorske karte razvoja reljefa korištene su jednadžbe krivulja prikazanih na slikama (Slika 119, str.201; Slika 120, str.203; Slika 121, str.206; Slika 122, str.208), tj. bodovi za navedene slivove ovise o udaljenosti analizirane lokacije od ušća sliva.

Karta udaljenosti od hidrografske mreže je uvrštena u kartu podložnosti jer je blizina koncentriranog površinskog toka vode u poglavlju 7.4 apostorfirana kao najvažnija karika u nastajanju i opstojanju ogolina. Tako su definirane tri klase udeljenosti od hidrografske mreže i to od dolina 3., 4., 5. i 6. reda koje prikazuje tabela (Tabela 52).

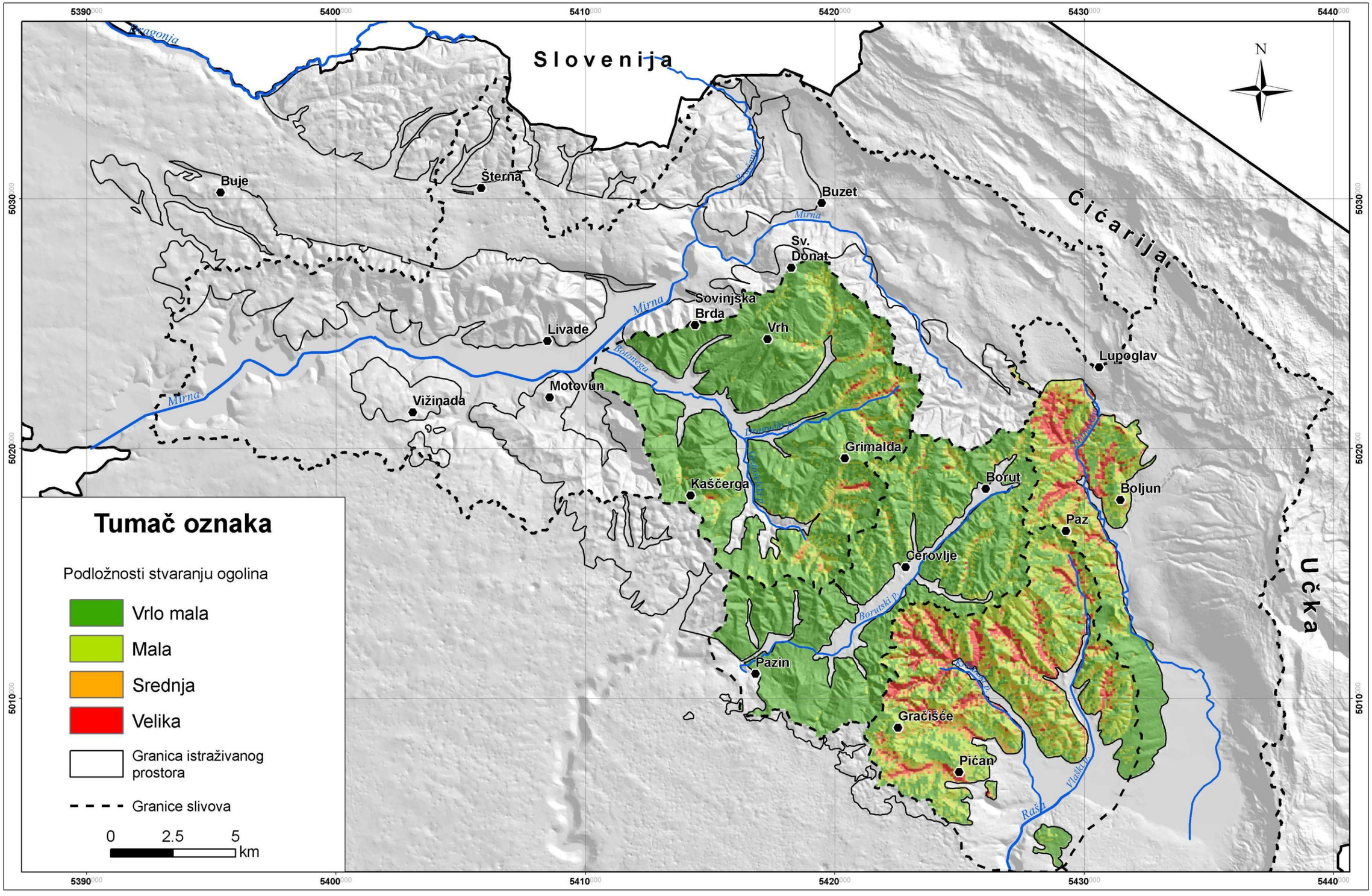
Tabela 52 - Bodovanje faktora udaljenosti od hidrografske mreže

Klase udaljenosti od hidrografske mreže [m]	0-100	100-250	>250
Bodovi	3	2	1

Množenjem navedenih faktorskih karata dobivena je rasterska karta koji predstavlja kartu osjetljivosti formiranju ogolina. Na rasterskoj karti su u tom smislu izdvojene 4 klase podložnosti:

1) Vrlo mala;
2) Mala;
3) Srednja te
4) Velika.

Usporedbom karte udjela ogoljelih površina (Slika 92, str. 155) i karte podložnosti stvaranju ogolina (Slika 134) primjećuje se njihovo veliko podudaranje čime je zapravo potvrđena korektnost bodovanja pojedinih faktorskih karata. Isto tako valja naglasiti da neka područja na faktorskoj karti nisu upala u zonu velike podložnosti iako ih karakterizira visok udio ogoljelih površina. Osnovni razlog za to je nedostatak geološke podloge u krupnijem mjerilu. U tom pogledu se ističe područje 5 km jugoistočno od Pićna, zatim područje 3 km istočno od Gračišća, te područje između Kašćerge i Grimalde. Sva tri navedena područja karakteriziraju debeli slojevi lapora te visok udio ogoljelih površina na njima. Također područje u okolici Sv. Donata na karti podložnosti nije upalo u zonu velike podložnosti iako ga prati visok udio ogoljelih površina u pravilu uzrokovan nagibom slojeva (7.4.1.3). Navedene faktore također nije bilo moguće kvantificirati zbog nedostatka geološke podloge u krupnijem mjerilu.



Slika 134 – Karta podložnosti (osjetljivosti) formiranju ogolina

7.6 TIPOVI OGOLINA NA PODRUČJU SREDIŠNJE ISTRE

Iz dosadašnje diskusije moguće je razlučiti karakteristične tipove ogolina za područje središnje Istre. Definiranje tipova ogolina je izvršeno prema sljedećim kriterijima:

1) Pripadnost određenoj IG jedinici;
2) Karakteristični skup (lanac) egzogenih procesa;
3) Mjesto pojavljivanja ogolina u slivu;
4) Najvažniji faktori nastanka;
5) Geometrija ogoline.

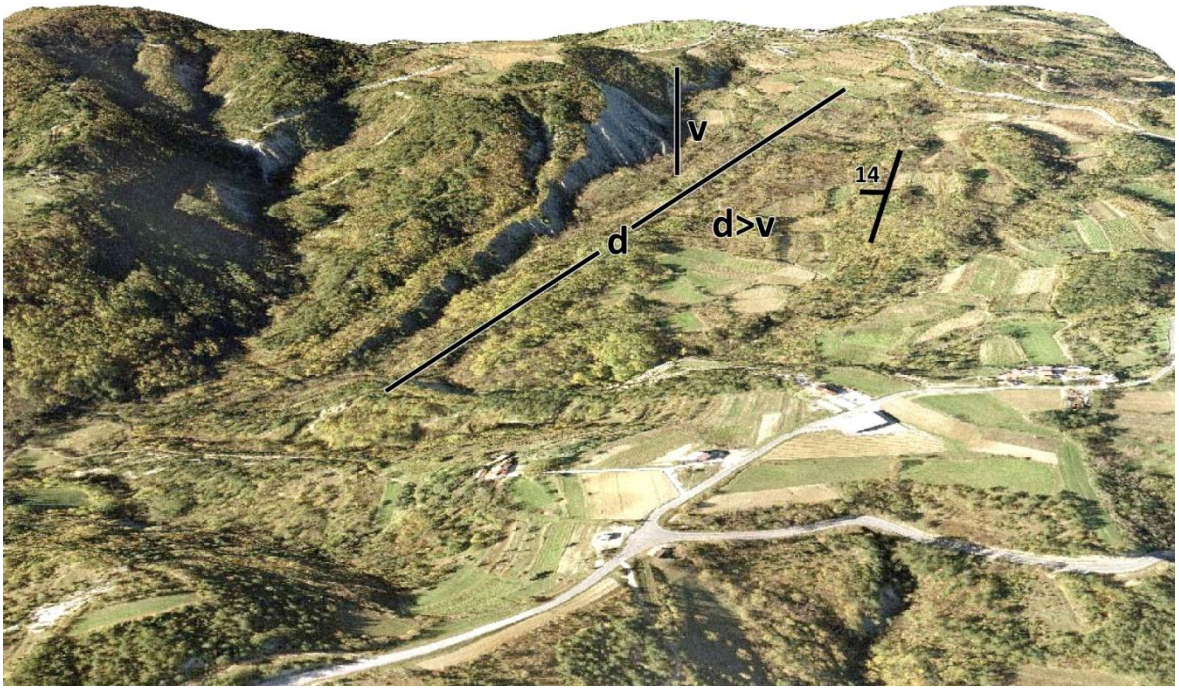
Objektivnim sagledavanjem gore navedenih kriterija moguće je razlučiti 4 tipa ogolina na području središnje Istre:

1) TIP 1 – zavjesasti tip;
2) TIP 2 – amfiteatralni tip;
3) TIP 3 – lepezasti tip;
4) TIP 4 – antropološki izazvane ogoline.

U nastavku su ukratko opisani navedeni tipovi ogolina te njihov karakteristični mehanizam nastanka i na njima zamjećeni najčešći egzogeni procesi.

7.6.1 TIP 1 - Zavjesasti tip ogolina

Ovaj tip ogolina u pravilu nastaje u prvoj i drugoj zoni razvoja reljefa (7.3.5.1.1) i to uz doline 3., 4. i eventualono 5. reda. Karakteriziraju ga visoki iznosi nagiba (45° do 75°) te izdužen oblik što znači da je visina ogoline u pravilu manja od njene duljine (Slika 135). Ovakve ogoline u pravilu pokrivaju površinu od više tisuća kvadratnih metara.



Slika 135 – Primjer ogoline tipa 1 (lokacija – Sv. Donat)

Ogline tipa 1 se javljaju u IG jedinici 3, a lanac egzogenih procesa na njima izgleda ovako:

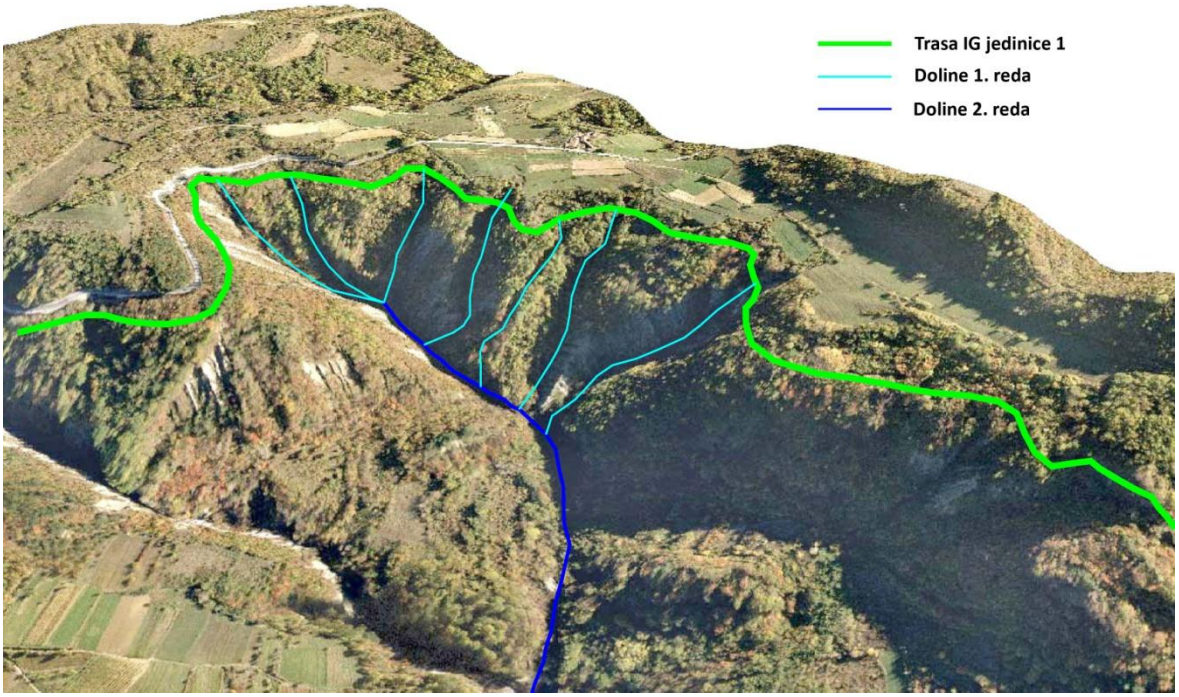
FIZIČKO TROŠENJE → OSIPAVANJE (RIJEĐE EROZIJA) → TALOŽENJE → EROZIJA

Fizičko trošenje uvjetuje osipavanje materijala (odroni) te njegovu akumulaciju (taloženje) u glavnom toku. Ciklus procesa se završava erozijom koja nakupljeni materijal u jaruzi pokreće i transportira u niže dijelove sliva. Ovdje valja naglasiti da su dominantani egzogeni procesi na samoj ogolini pokreti masa u vidu odrona, tj. osipavanja, dok je erozija u podređenom položaju. Njezin utjecaj je očit u "čišćenju" dna jaruga od nakupljenog sipara čime se nastavlja ulančani proces trošenje-osipavanje-akumulacija-erozija. Osipavanje je posljedica visokih nagiba ogolina (Slika 136) koji su veći od kuta odlaganja sipara, a takve iznose nagiba podržava relativno visoka čvrstoća stijenske mase (visoki GSI) te orijentacija sloja koja najčešće predstavlja i najvažniji faktor za nastanak ovog tipa ogolina. Ako se ogoline ovog tipa nađu uz doline višeg reda (4. i 5.) tada su u pravilu vezane uz meandriranje vodotoka u njihovom podnožju.

Slika 136 – Detalj ogoline tipa 1 (lokacija Sv. Donat)

7.6.2 TIP 2 - Ogoline amfiteatralnog tipa

Ogoline ovog tipa nastaju na najaktivnijin dijelovima terena i to u 1. zoni razvoja reljefa (7.3.5.1.1) uz doline 1. i 2. reda (Slika 137). Geometrijom podsjećaju na amfiteatar, a nagiba su vrlo sličnog ogolinama tipa 1. Tlocrtna površina ovih ogolina također u pravilu prelazi nekoliko tisuća kvadratnih metara.



Slika 137 - Primjer ogoline tipa 2 (okolica Grimalde)

Ove ogoline su po nagibu te karakterističnom skupu egzogenih procesa vrlo slične zavjesastom tipu. Sukladno tome i ovdje se može navesti sljedeći egzogeni lanac procesa:

FIZIČKO TROŠENJE → OSIPAVANJE (RIJEĐE EROZIJA) → TALOŽENJE → EROZIJA

Nalazimo ih u okviru IG jedinice 3 u područjima s vrlo blagom ili čak horizontalnom slojevitočću zbog čega i imaju oblik amfiteatra. Vrlo često im se početak veže uz IG jedinicu 1 (breče i kalkarenite) što je i prikazano na slici (Slika 137). Karakterističnu ogolinu ovog tipa prikazuje slika (Slika 138).

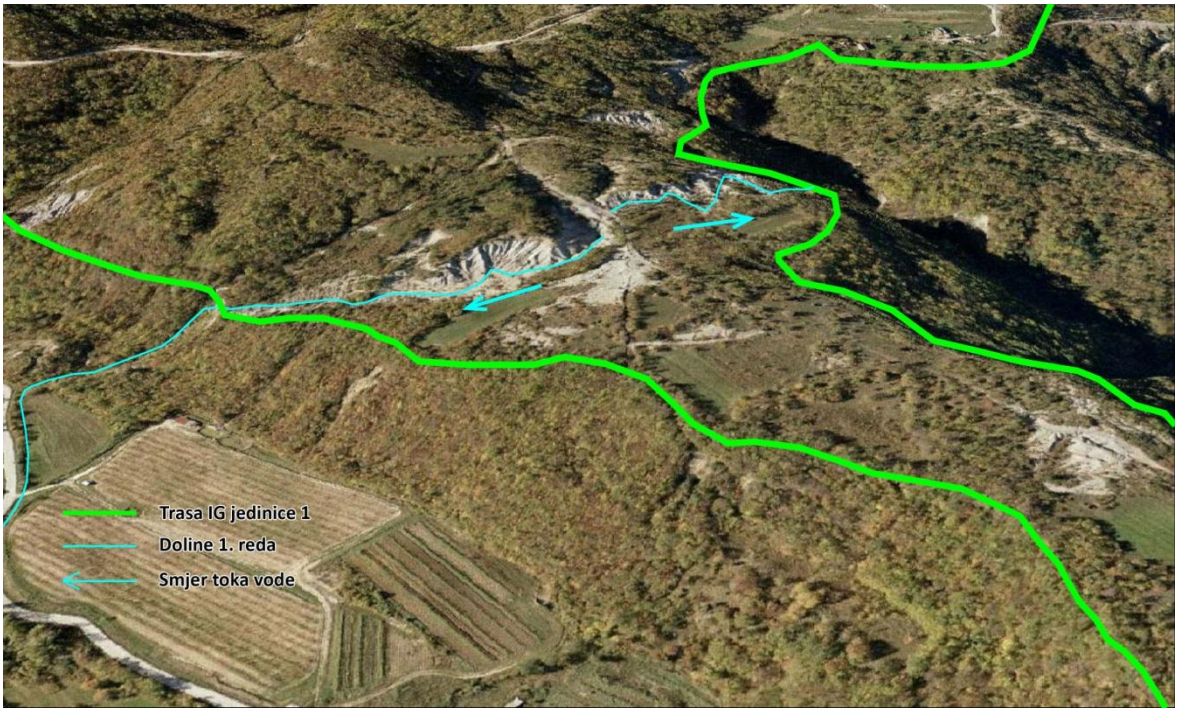
Slika 138 – Panorama ogoline tipa 2 (lokacija – okolica Grimalde)

7.6.3 TIP 3 - Ogoline lepezastog tipa u IG jedinici 2 i 4

Ogoline lepezastog tipa nastaju u IG jedinici 2 i 4, a mehanizam nastanka je jako vezan uz kompetentnu IG jedinicu 1 ili pak uz karbonate eocenske i kredne starosti kao što je

objašnjeno u poglavlju 7.4.1.1. Kako se vidi iz slike (Slika 139) u pravilu su vezane uz doline 1. reda, a generalno ih nalazimo u 2. i 3. zoni razvoja reljefa (7.3.5.1.1). Ovdje treba naglasiti da je dominantan egzogeni proces na samim ogolinama erozija Hortonovim površinskim tokom. Osipavanje materijala je u podređenom položaju zbog nižih nagiba bokova jaruga (10°-35°) bliskih kutu odlaganja sipara. Kako nakupljeni materijal u podnožju takvih ogolina na kontaktu nekompetntnih IG jedinica 2 i 4 i kompetentnih erozionih baza biva također odnašan vodom, može se reći da ogoline lepezastog tipa karakterizira erozija kao dominantni denudacijski proces. Iz navedenog proizlazi i sljedeći redosljed egzogenih porcesa na ovom tipu ogolina:

FIZIČKO TROŠENJE → EROZIJA (RIJEĐE OSIPAVANJE) → TALOŽENJE → EROZIJA



Slika 139 - Primjer ogoline tipa 3 (lokacija – Paz)

Ogoline ovog tipa pokrivaju puno manje površine terena od dva predhodno opisana tipa ogolina (1000-4000 m^2), a kao najutjecajniji faktor njihovog nastanka može se istaći Hortonov površinski tok nastao na debelim slojevima lapora.

Ovaj tip ogolina na terenima može formirati spektakularne reljefne oblike što potvrđuje i slika (Slika 140).

Slika 140 - Panorama ogoline tipa 3 (lokacija – Šterna)

7.6.4 TIP 4 – Ogoline lepezastog tipa u IG cjelini 3

Ovaj tip ogolina se javlja u IG jedinici 3 i za razliku od zavjesastog i amfiteatarskog tipa karakteriziraju ga nagibi slični nagibima ogolina tipa 3, dakle nagib sličan kutu odlaganja sipara, 10°-35°. Pojavljuju se uz doline 1. reda (Slika 141) te u 2. i 3. znoni razvoja reljefa. Ogoline ovog tipa vrlo teško mogu nastajati prirodnim putem jer je zbog niskog nagiba ovdje od egzogenih procesa dominantna erozija površinskim Hortonovim tokom pa je kao glavni čimbenik nastanka ovih ogolina istaknut čovjek (vidi poglavlje 7.4.3). Ovaj tip ogolina karakterizira vrlo mala tlocrtna površina (nekoliko 100 do 5000 m^2), a tjekom izrade katastra one su vrlo često svrstavane u 4. kategoriju ogolina obzirom na obraslost vegetacijom (Slika 88, str. 150).

Slika 141 - Primjer ogolina tipa 4 (lokacija – zapadno od Boruta)

Redosljed egzogenih procesa za ovaj tipa ogolina je također vrlo sličan onome prikazanom za ogoline tipa 3:

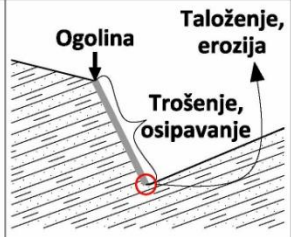
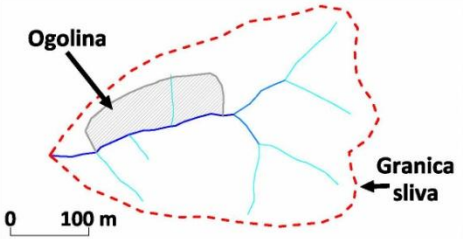
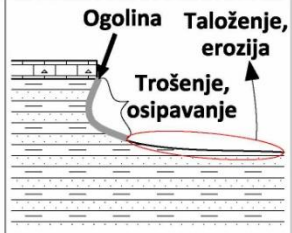
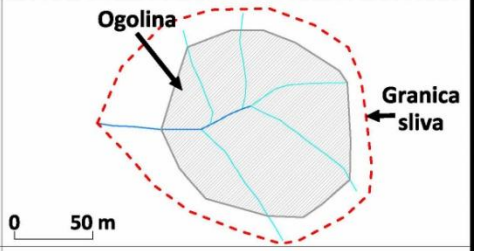
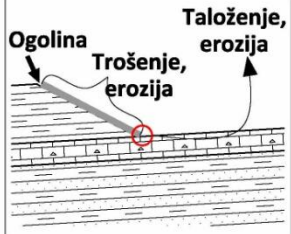
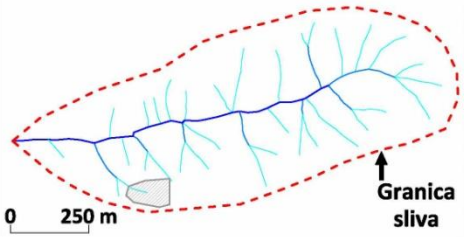
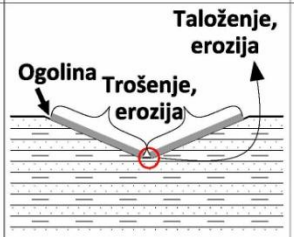
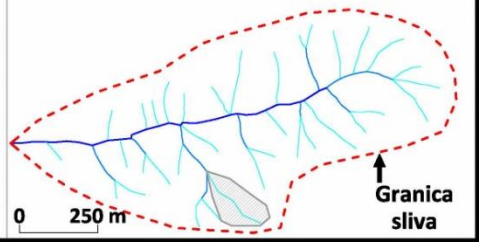
FIZIČKO TROŠENJE → EROZIJA (RIJEĐE OSIPAVANJE) → TALOŽENJE → EROZIJA

Ono što je važno naglasiti je da eroziju koja dolazi nakon procesa fizičkog trošenja, za razliku od ogolina tipa 3, ovdje uzrokuje čovjek uklanjanjem vegetacije te izgradnjom makadamskih puteva. Karakteristični izgled ogolina tipa 4 prikazuje slika (Slika 142).

Slika 142 - Detalj ogoline tipa 4 (lokacija 1 km jugoistočno od Cerovlja)

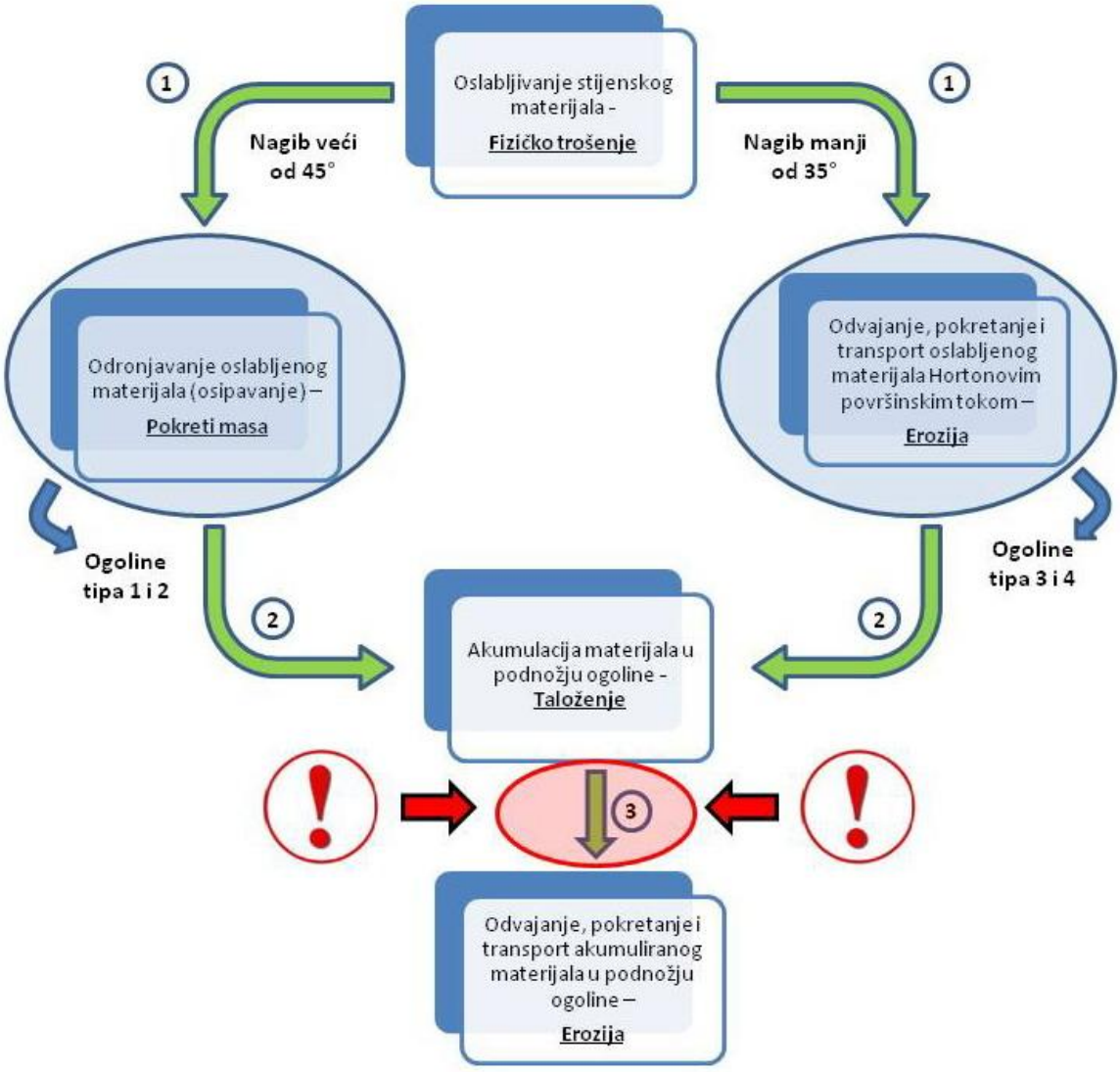
Tipove ogolina predstavljene u ovom poglavlju karakteriziraju određeni položaj u slivu (zona, 7.3.5.1.1), doline određenoga reda, nagib, geometrija, površina, te IG jedinica u kojoj se pojavljuju. U cilju bolje preglednosti načinjena je tabela (Tabela 53) u kojoj su uz gore navedene značajke za svaki pojedini tip ogolina izrađeni karakteristični profili s najvažnijim egzogenim procesima, skica, te najvažniji faktor njihovog nastanka.

Tabela 53 – Tipovi ogolina na području središnje Istre

Tip ogoline	Položaj u slivu	Red dolina	Nagib ogoline [°]	Geometrija (d - duljina v - visina š - širina)	Tlocrtna površina [m^2]	IG jedinica	Egzogeni procesi i karakteristični profil	Faktor nastanka	Skica
1	Zona 1 i 2	3., 4. i 5.	45-75	d>v≈š	1000 - 50000	3		Nagib osnovnog strukturnog sklopa	
2	Zona 1	1. i 2.	45-75	d≈š>v	1000-20000	3		Energetska stepenica	
3	Zona 2 i 3	1.	10-35	d≈š>v	1000-4000	2 i 4		Hortonov tok na debelim slojevima lapora	
4	Zona 2 i 3	1.	10-35	d≈š>v	1000-5000	3		Antropogeno izazvan Hortonov tok	

Na prikazanim karaktrističnim profilima sva četiri predstavljena tipa ogolina (Tabela 53) uočava se crvenom bojom naznačeno područje akumulacije materijala. To područje predstavlja zonu taloženja (akumulacije) osipanog ili materijala erodiranog s ogoline. Već je više puta apostrofirano u diskusiji da ta zona predstavlja upravo kritično mjesto za nastanak i opstanak ogolina na području središnje Istre, iz čega se može zaključiti kako je upravo erozija oslabljenog materijala akumuliranog u nožici svake ogoline najvažniji egzogeni proces na istraživanom području.

Slika (Slika 143) predstavlja pokušaj sažetog prikaza lanca egzogenih procesa karakterističnog za sve opisane tipove ogolina. Na njoj je crvenom šrafurom istaknuta gore opisana, može se reći, najslabija karika u tom lancu.



Slika 143 – Lanac egzogenih procesa kao preduvjet nastanka ogolina na području središnje Istre

7.7 INŽENJERSKI ASPEKTI EROZIJE

7.7.1 Zone trošenja

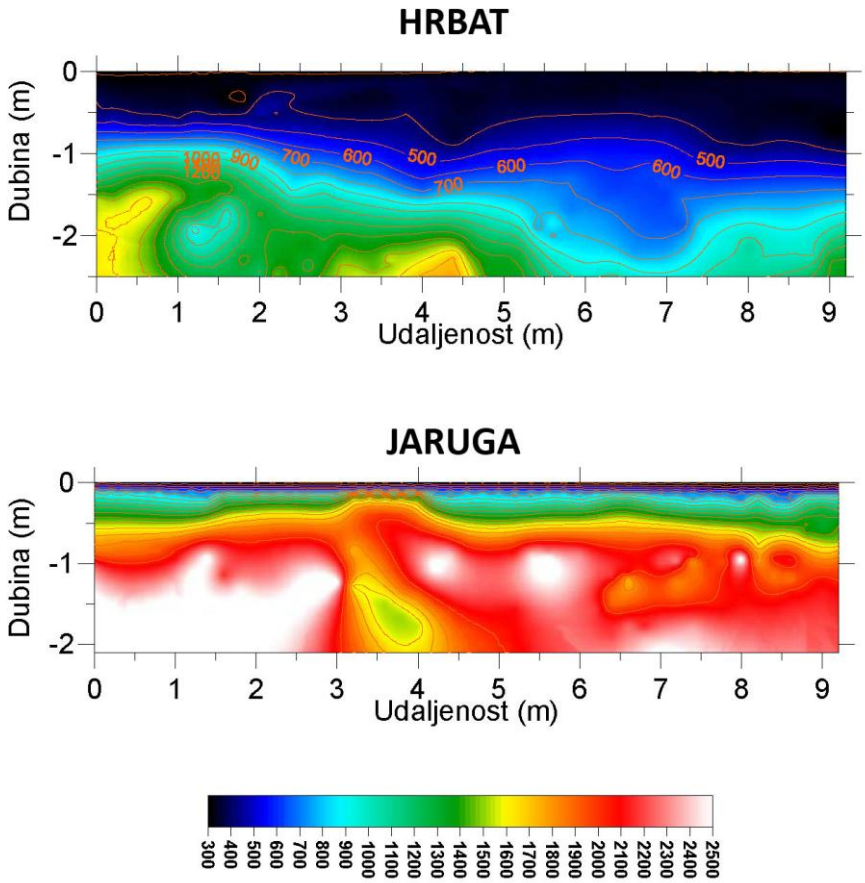
Naslage na istraživanom prostoru karakterizira izrazita zonacija uzrokovana različitim intenzitetom trošenja. U tom smislu je moguće izdvojiti tri zone trošenja IG jedinica 2, 3 i 4:

1) Površinska zona trošenja;
2) Trošna stijenska masa te
3) Svježa stijenska masa.

Definiranje inženjerskogeoloških značajki pojedinih zona trošenja potrebuje detaljna geofizička istraživanja praćena s većim brojem istraživačkih bušotina. Kako se radi o vrlo skupim radovima za potrebe ovog rada su izvršena samo geofizička istraživanja na IG jedinicama 2 i 3. Tako su u nastavku prikazani rezultati navedenih geofizičkih istraživanja te su ukratko opisane najvažnije značajke i geneza gore definiranih zona trošenja.

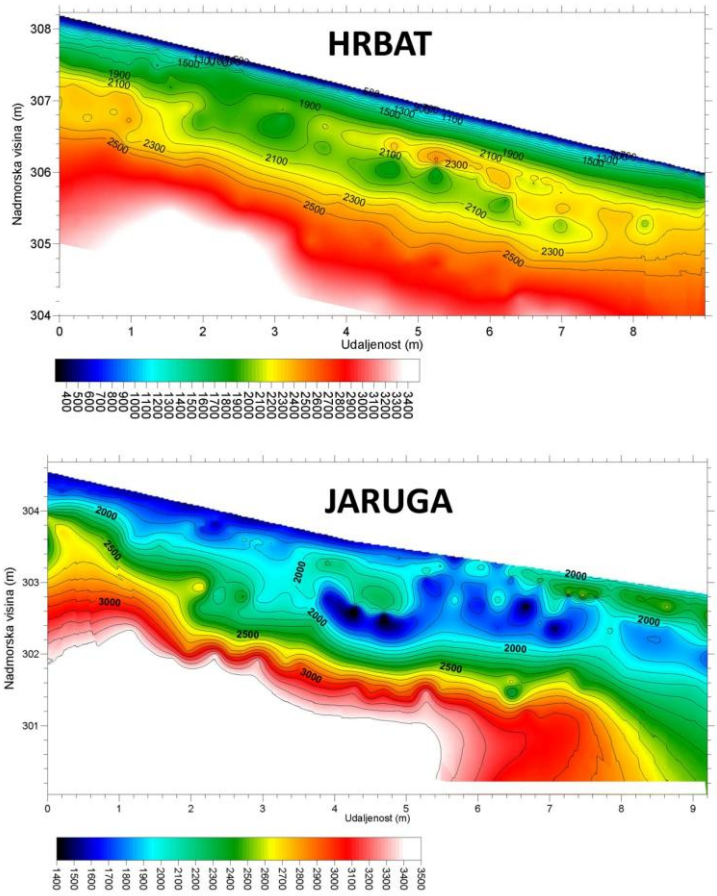
7.7.1.1 Zone trošenja u IG jedinici 2 i 4

Za definiranje zona trošenja u IG jedinici 2 i 4 je korištena metoda plitke refrakcije i to s ciljem utvrđivanja možebitnih razlika u njihovim dubinama duž osi jaruga te duž osi hrptova. Očita razlika je uočena na lokaciji Botonega gdje je geofički profil u bazi osi jaruga pokazao znatno bolju stijensku masu u odnosu na onu koja se nalazi u tijelu hrptova (Slika 144). Prikazani profili potvrđuju situaciju naznačenu na slici (Slika 17, str. 41), a objasniti se može činjenicom da se voda iz tijela hrpta drenira upravo u os jaruge čime stijenska masa koja gradi hrbat trpi češće cikluse sušenja i vlaženja, a stijenska masa u bazi jaruga dulje ostaje vlažna, tj. kolebanja u vlažnosti nisu toliko izražena. U prilog navedenom ide i nakupljanje nanosa u području jaruga koji sprečava sušenje podloge, tj. sprečava česta kolebanja vlažnosti.



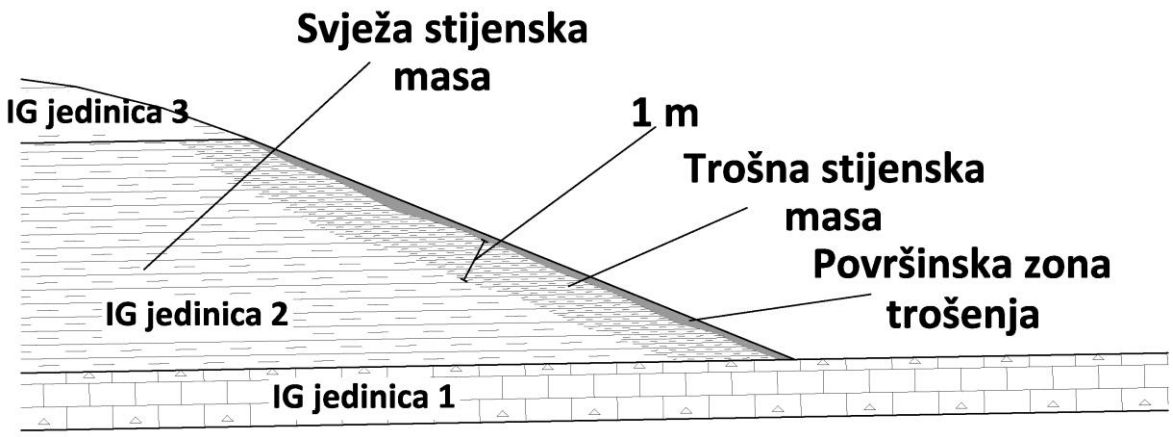
Slika 144 – Geofizički profili na ogolini Botonega

Seizmički profili dobiveni na ogolini Šterna nisu pokazivali toliko uočljivu razliku u brzini prostiranja seizmičkih valova između jaruga i hrbata, ali je zato uočljivo (Slika 145) da stijensku masu u bazi jaruga karakteriziraju nepravilne granice zona trošenja. Navedeno je moguće objasniti činjenicom da se u bazi globigerinskih lapora koji izgrađuju ogolinu Šternu vrlo plitko nalaze prijelazne naslage s rakovicama i foraminiferski vapnenci pa bi se navedene nepravilnosti primjećene na profilu u osi jaruga mogle pripisati okršavanju navedenih karbonatnih naslaga u podlozi.



Slika 145 - Geofizički profili na ogolini Šterna

Prikazani seizmički profili upučuju na očite razlike u dubinama zona trošenja na razini jedne ogoline. Iz geofizičkih profilia (Slika 144, Slika 145) je vidljivo da zone trošenja u IG jedinicama 2 i 4 karakterizira izražena pravilnost koja je posljedica homogenosti navedenih naslaga. Tako površinska zona trošenja seže do dubine od 10-ak cm što je vidljivo na slici (Slika 82, str. 135) dok se granica trošne stijenske mase nalazi na dubini od 0.2 (jaruge) do 1 m (hrptovi). Zone trošenja na ogolini tipa 3 shematski prikazuje profil na slici (Slika 146).



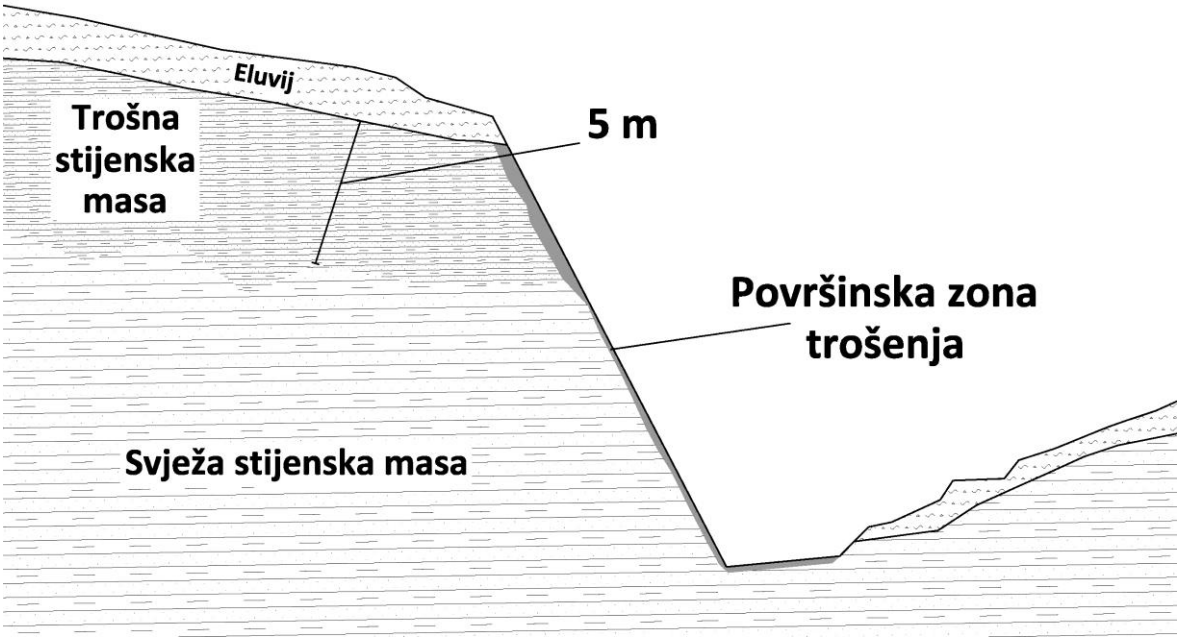
Slika 146 – Shematski profil zona trošenja u IG jedinici 2 – ogoline tipa 3

7.7.1.2 Zone trošenja u IG jedinici 3

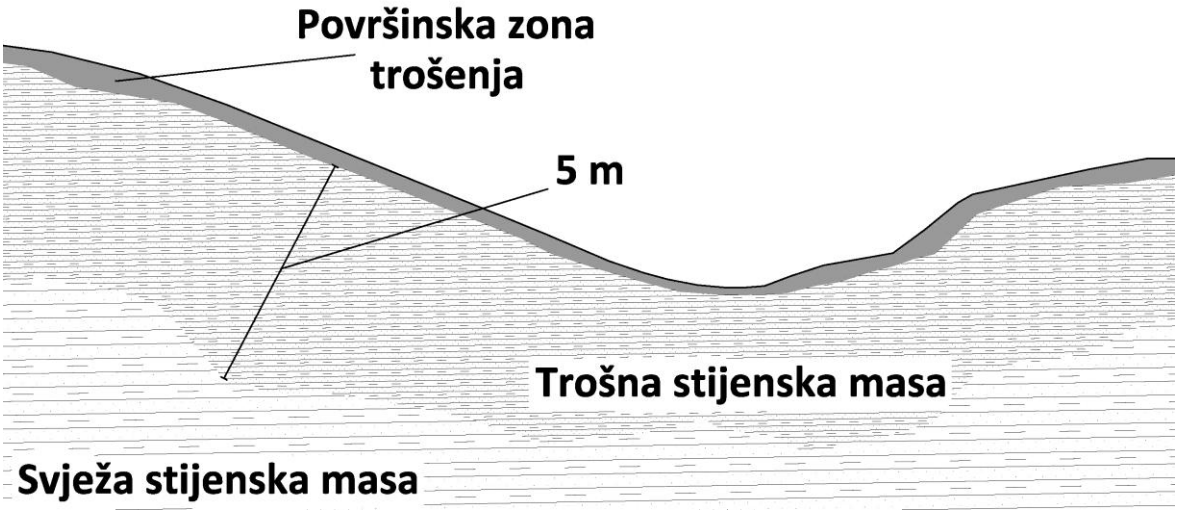
Utvrđivanje zoni trošenja u IG jedinici 3 je provedeno tijekom terenske prospekcije terena i to u pravilu na osnovu promjene boje stijenske mase upravo onako kako je to prikazano na slici (Slika 147).

Slika 147 – Zone trošenja u IG jedinici tri na ogolini tipa 1 (lokacija – Sv. Donat)

Na samim ogolinama IG jedinice 3 također se nalazi vrlo plitka površinska zona trošenja (20 do 25 cm), dok je prostorni odnos ostalih dvoju zona ovisan o tipu, odnosno nagibu ogoline što prikazuju shematski profili na slikama (Slika 148 i Slika 149).



Slika 148 – Prostorni odnos zona trošenja na ogolinama tipa 1 i 2



Slika 149 - Prostorni odnos zona trošenja na ogolinama tipa 4

Iskazane razlike u dubinama zona trošenja između IG jedinica 2 i 4 te jedinice 3 su posljedica razlike u litologiji. Lapori od kojih su izgrađene IG jedinice 2 i 4 predstavljaju vrlo slabo propusnu stijensku masu koja kada primi vodu u sebe istu vrlo teško otpušta, odnosno stijenska masa na manjim dubinama (približno 1 m) zadržava prirodnu vlažnost. Time je iz cijelog sustava isključen glavni faktor fizičkog trošenja, a to je opetovano sušenje i vlaženje.

Situacija u IG jedinici 3 je nešto drugačija i to iz dva razloga. Prvi je činjenica da navedenu IG jedinicu grade uz lapore i slojevi pješčenjaka koji svojim prisustvom povečavaju poroznost stijenske mase, a drugi je dokazana veća podložnost fizičkom trošenju lapora iz IG jedinice 3 (7.1.4).

Povećana poroznost stijenske mase IG jedinice 3 uzrokuje veću mobilnost vode unutar nje, što opet kao posljedicu ima produbljavanje zone "sušenja" stijenske mase u odnosu na prethodno opisane homogene IG jedinice 2 i 3. Prisutni ciklusi sušenja i vlaženja stijenske mase na većim dubinama (5 m) uvjetuju i nešto dublju zonu trošne stijenske mase (Slika 147). Nehomogenost IG jedinice 3 te različite debljine pješčenjačkih slojeva uzrokuju i izrazitu nepravilnu granicu između pojedinih zona trošenja što je naglašeno na shematskim profilima prikazanim na slikama (Slika 148 i Slika 149).

Prikazano bi trebalo usmjeriti buduća istraživanja, vezana uz određivanje iznosa denudacije na ogolinama, ka utvrđivanju denudacije posebno u području brazdi i posebno u području hrptova. Isto tako bi istraživačke radnje provedene na području središnje Istre prije svega morale biti usmjerene na sve definirane zone trošenja.

7.7.2 Usporedba GSI vrijednosti definiranih IG jedinica

Geološki indeks čvrstoće (GSI) predstavlja jedan od tri ulazna parametra za procjenu čvrstoće stijenske mase prema Hoek-Brownovom kriteriju sloma (1980). Generalno se može reći što je GSI vrijednost stijenske mase viša to je veća i njezina čvrstoća.

Tijekom terenske prospekcije istraživanog prostora određivana je GSI vrijednost stijenske mase na svakoj točki. GSI vrijednosti dobivene navedenom terenskom prospekcijom bilo je moguće pridružiti definiranim IG jedinicama (6.1) što je vidljivo iz dijagrama prikazanih na slikama (Slika 62, str. 107; Slika 67, str. 114; Slika 72; str. 120). Na navedenim dijagramima je vidljivo da najveći raspon GSI vrijednosti ima IG jedinica 3 (17-35), a najmanji IG jedinica 2 (25-35). IG jedinica 4 ima najniže GSI vrijednosti (15-30).

Iz navedenog bi bilo logično zaključiti da IG jedinicu 2 karakterizira i najveća čvrstoća stijenske mase čemu ide u prilog i najveći iznos Schmidtovog odskoka, čak 41.4 što predstavlja jednoosnu tlačnu čvrstoću od 30 MPa. Također Schmidtov odskok za IG jedinice 3

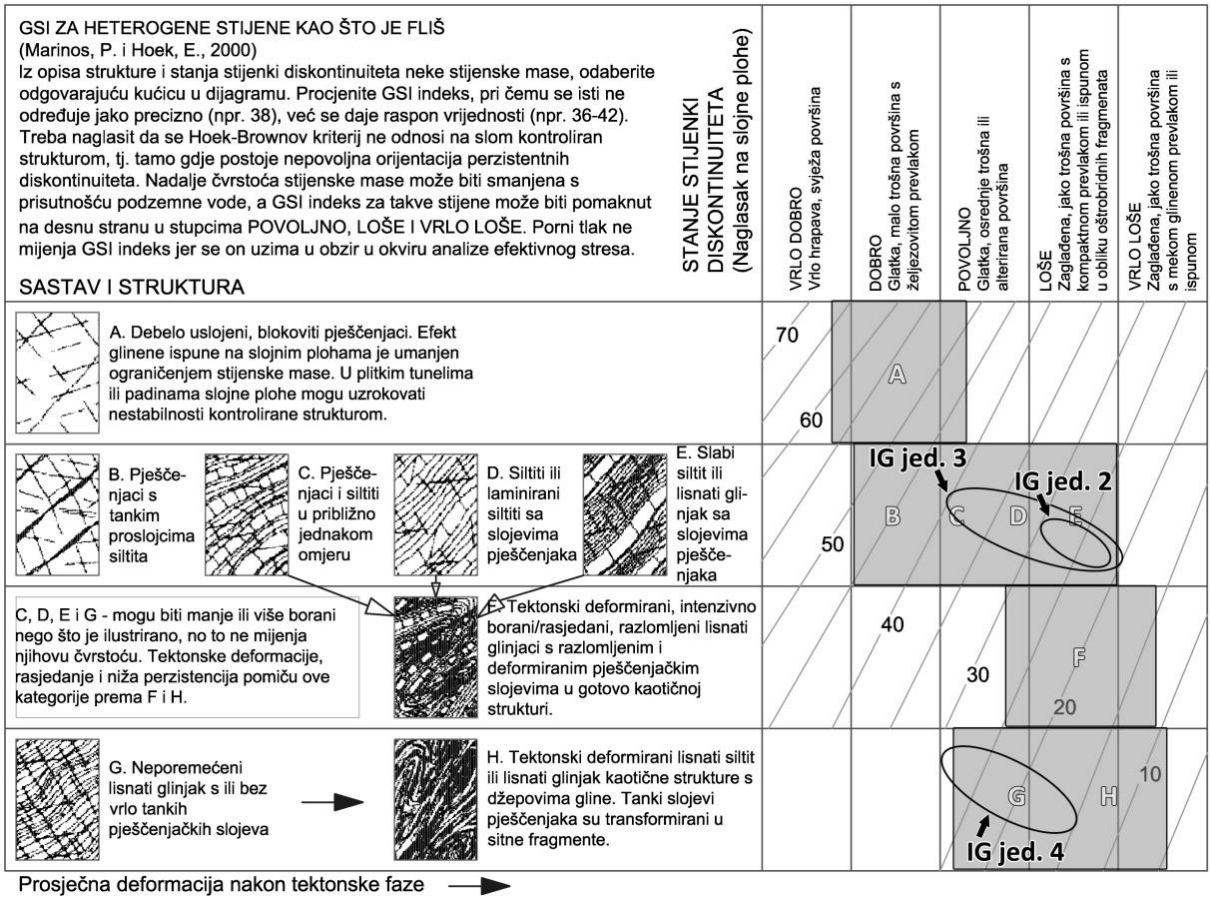
i 4 pokazuje vrlo niske vrijednosti i to između 20 i 30 (jednoosna tlačna čvrstoća od 10 do 15 MPa). Ono što ne ide u prilog iznesenoj tezi o najvećoj čvrstoći stijenske mase IG jedinice 2 je činjenica da ogoline iz IG jedinice 3 na terenu tvore vrlo strme ogoline što nije primijećeno kod ogolina razvijenih isključivo u IG jedinici 2. Ovu činjenicu je moguće objasniti prisustvom oko 20 % pješčenjaka (Tabela 16) u stupu IG jedinice 3 koji služe kao armatura slabijim (nekompetentnim) laporima. Jednoosna tlačna čvrstoća kompetentnih članova IG jedinice 3 dobivena iz normaliziranog indeksa čvrstoće (PLT) prikazanog u tabeli (Tabela 25) iznosi približno 100 MPa. Vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće dobivene iz Schmidtovog odskoka na istom članu je nerealno niska, svega 15 MPa. Razlog tome je činjenica da na Schmidtov odskok jako utječe prisustvo učestalih i širokih diskontinuiteta, a kako je iznos Schmidtovog odskoka određivana u trošnoj zoni dobiveni rezultati odskoka predstavljaju realne vrijednosti za navedenu zonu, ali se iste ne mogu pridružiti svježijim (uglavnom dubljim) dijelovima stijenske mase IG jedinice 3.

Iz svega navedenog postavlja se logično pitanje zašto je kvaliteta stijenske mase (GSI vrijednosti) u pogledu mehaničkih značajki IG jedinice 2 precijenjena, a IG jedinice 3 podcijenjena?

Objašnjenje se nalazi u činjenici da se bodovanje stijenske mase prema modificiranom GSI dijagramu za flišne naslage bazira isključivo na vizualnoj procjeni, a kako IG jedinica 3 na terenu u pravilu izgleda lošije od IG jedinice 2 lako dolazi do greške u procijeni. Lošiji izgled stijenske mase IG jedinice 3 treba pripisati njezinim manje postojanim nekompetentnim članovima (uglavnom lapori) koji se vrlo brzo troše i fizički i kemijski što je i prikazano na dijagramu (Slika 98, str. 164). Upravo ta činjenica također može objasniti i najveći raspon GSI vrijednosti IG jedinice 3 jer su one određivane u trošnim zonama (ogoline tipa 4) i u svježim zonama stijenske mase (ogoline tipa 1).

Provedena diskusija upućuje na nužnost korigiranja GSI vrijednosti za IG jedinice 2 i 3. Tako bi se GSI vrijednosti za svježu stijensku masu iz IG jedinice 3 koja često izgrađuje ogoline tipa 1 i 2 trebalo pomaknuti prema kategoriji C (30-40), dok bi trošniju stijensku masu iste jedinice (površinska zona trošenja - ogoline tipa 4) trebalo ostaviti u okolini kategorije E (20-30). GSI vrijednosti za stijensku masu IG jedinice 2 bi svakako trebalo degradirati u područje kategorije E (23-30), dok je kategorizacija za stijensku masu IG

jedinice 4 izvršena korektno. Navedene korekcije GSI vrijednosti za pojedine IG jedinice su prikazane na slijedećoj slici (Slika 150).



Slika 150 – GSI vrijednosi definiranih IG jedinica

Zaključno treba naglasiti da je prilikom terenske procjene GSI vrijednosti flišnih naslaga potrebno veću pozornost posvetiti udjelu kompetentnih slojeva (npr. pješčenjaka) jer upravo oni svojom čvrstoćom jako doprinose čvrstoći stijenske mase. Također je važno naglasiti da GSI sustav kategorizacije nikako ne može služiti za procjenu postojanosti neke stijenske mase, tj. ne može služiti za procjenu podložnosti neke stijenske mase ka formiranju ogolina.

7.7.3 Mjere zaštite od erozije ogolina na području središnje Istre

Općenitio se može reći da mjere zaštite od erozije predstavljaju multidisciplinarni problem koji uz tehnička rješenja sadrži i ekonomski, a ponegdje i politički odnosno društveni aspekt (Gavrilović, 1972). Naime nepristupačnost terena, složene veze između egzogenih

procesa proučavanih i u ovom radu te njihova brzina i intenzitet, uvjetuju u pravilu vrlo komplicirane tehničke mjere zaštite visoke cijene koštanja. Upravo ta činjeica na nekim erozijom ugroženim područjima uvjetuje izostanak provođenaj mjera zaštite ili pak provođenje neadekvatnih ili nedostatnih zahvata. Kako bi se to izbjeglo u svijetu se mjere zaštite provde ne samo u cilju suzbijanja erozije i njoj srodnih egzogenih procesa već i u cilju borbe protiv poplava i suša, a također izgrađeni objekti vrlo često bivaju korišteni u turističke i energetske svrhe (umjetna akumulaciona jezera, pošumljena područja i sl.).

Prema Gavriloviću (1972) radove i mjere zaštite od erozije i bujičnih poplava je moguće podijeliti na:

1) Građevinsko-tehničke – izgradnja uzdužnih i poprečnih građevina za uređenje bujičnih korita koji uglavnom služe za neposrednu zaštitu od poplavnih voda i kretanja bujičnih nanosa;
2) Retencijsko-tehnički – izgradanja mikroretencija i malih akumulacija za vodu i bujične nanose, izgradnja kanala za dekoncentraciju brdskih voda;
3) Šumsko-tehnički – pošumljavanje, uređivanje zapuštenih šuma i šikara;
4) Agro-tehnički – melioracija poljoprivrednih zemljišta, formiranje terasa, uvođenje polodoreda, navodnjavanje;
5) Ekonomsko-gazdinske – upravljanje zemljištvom kroz iskorištavanje šuma, pašnjaka, malih akumulacionih jezera za navodnjavanje, lokalnu industriju, energetiku i ribolov te formiranje lovišta;
6) Administrativne – donošenje zakona i propisa u cilju definiranja i provođenja mjera zaštite od erozije;
7) Prosvjetne i propagandne – razne edukacije domicilnog stanovništva u pogledu važnosti provođenja mjera zaštite od erozije.

Na području središnje Istre provode se različite mjere zaštite od erozije koje se u prvom redu mogu svrstati u građevinsko i retencijsko tehničku grupu mjera. Jedna od svakako najvažnijih mjera zaštite od erozije odnosno pronosa nanosa je već spomenuta brana Botonega (3.2.1.2). Također je obilaskom terena uočen veliki broj preljeva i to posebno u višim te manjih retencija u nižim dijelovima sliva (Slika 151). Cilj izgradnje navedenih objekata je snižavaje erozivnosti koncentriranih vodenih tokova.

Slika 151 – Mjere zaštite od erozije na području središnje Istre – a) preljev; b) retencija

Mjere zaštite od erozije koje se provode na području središnje Istre iako vrlo brojne svakako nisu dovoljne za suzbijanje denudacije na samim ogolinama. Naime obilaskom terena nije uočen ni jedan tehnički ili pak šumarski zahvat na samim ogolinama kojemu bi cilj bio smanjenje produkcije nanosa upravo na mjestima s kojih se on, na području središnje Istre, najviše producira. Razloge nepostojanja takvih mjera vjerojatno treba tražiti u brojnosti samih ogolina što dokazuju i ova istraživanja.

7.7.3.1 Preporuke zaštite od denudacije na ogolinama

Prije svega valja naglasiti da u nastavku prezentirane preporuke zaštite od denudacije na ogolinama središnje Istre nemaju za cilj kritiziranje i upućivanje na faličnost do sada provođenih mjera, već im je cilj, upravo suprotno, njihovo nadopunjavanje i to kroz prizmu iskorištavanja geoloških značajki samih naslaga fliša. Tako su u nastavku preporučene mjere zaštite vezane za:

1) Spriječavanje uzmicanja energetskih stepenica;
2) Spriječavanje uzmicanja ogolina nastalih na meandrima te
3) Suzbijanje denudacije pošumljavanjem ogolina u zoni 1 razvoja reljefa.

Sve navedene mjere zaštite imaju za cilj formiranje zaštite na nepostojanim članovima definiranih IG jedinica (laporima) jer je upravo fizičko trošnje uzrokovano opetovanim vlaženjem i sušenjem navedenih članova predstavlja glavni uzrok degradacije postojanosti, a time i povećanja njihove erodibilnosti.

7.7.3.1.1 Spriječavanje uzmicanja energetskih stepenica

Već je rečeno da energetske stepenice većih dimenzija na istraživanom području uzrokuje IG jedinica 1 izgrađena u pravilu od vezanih klastičnih sedimentnh stijena (breča, konglomerata, pješčenjaka i sl. - 7.4.1.2). Navedene stepenice karakterizira nepostojana baza, na području središnje Istre, izgrađena uglavnom od IG jedinice 3 kao što je prikazano na slici (Slika 127, str. 218). Tijekom terenske prospekcije je uočeno da se IG jedinica 1 vrlo često koristi kao baza za gradnju preljevnih građevina uglavnom od slaganih blokova pješčenjaka (Slika 151 a). Ovakva praksa je logična jer se u nožici preljeva i to za vrijeme jakoh bujica formira vrlo erozivni tok koji u pravilu ovisi o količini protoka i visini preljeva. Iz tog razloga je vrlo važno da baza preljeva bude od postojane i neerodibilne podloge, baš kakva je IG jedinica 1, kako ne bi došlo do urušavanja pregradnog mjesta zbog oslabljivanja i odnošenja stijenske mase u bazi pregradnog mjesta.

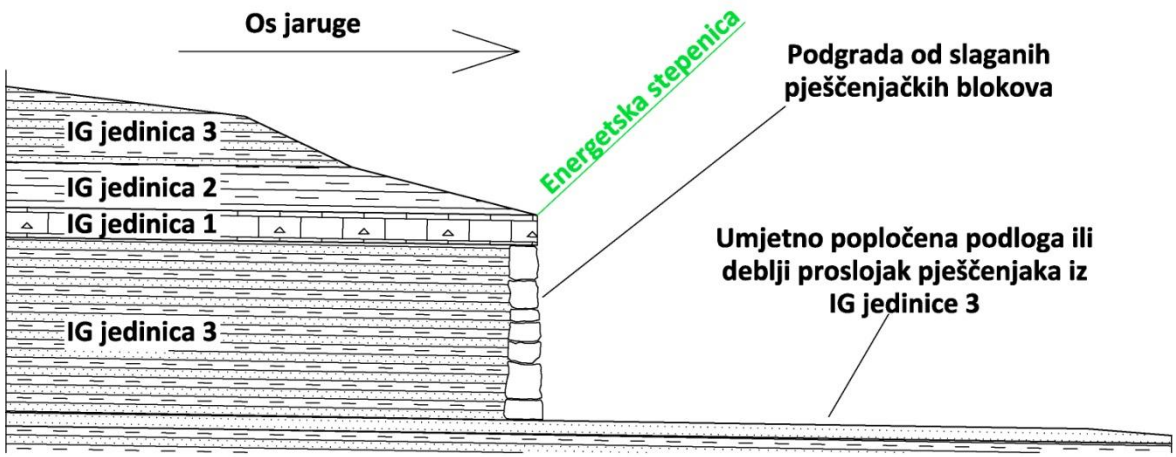
Poboljšanja u smislu gradnje preljevnih mjesta upravo na samim energetskim stepenicama su svakako moguća jer je uočeno da se takva mjesta na slivovima ne zaštićuju što zorno pokazuje slika (Slika 152).

Slika 152 – Nezaštičena energetska stepenica u slivu 9

Poslijedice uzmicanja baze na energetskim stepenicama prikazuje slika (Slika 153). Na njoj se uočava da su blokovi od više kubičnih metara izgubili svoju bazu što opet znači da je u sliv otpuštena znatna količina nanosa iz baze navedenih blokova. Ovaj proces će se nastaviti sve dok dotična energetska stepenica ne dođe do razvodnice sliva ili pak dok se građevinskim zahvatom ne zaštiti njezina baza od daljnjeg uzmicanja.

Slika 153 – Nezaštičena energetska stepenica na slivu 9

Važno je naglasiti da samo podgrađivanje energetske stepenice vjerojatno ne bi za duže vrijeme riješilo problem njezinog uzmicanja. Naime erozivni tok koji se javlja nizvodno od nje bi vrlo brzo produbio podlogu po kojoj teče čime bi unestabilio izgrađenu podgradu. Stoga je nužno poboljšati svojstva stijenske mase na određenoj dužini nakon same energetske stepenice i to u vidu popločenja korita sa što manje hrapavom podlogom (beton ili slagani kameni blokovi) čime bi se spriječilo stavaranje turbulentnog (erozivnog) toka, a time bi se opet zaštitila baza izgrađene podloge u inženjerskom vremenu. U tom pogledu bi najbolje bilo iskoristiti, naravno ako postoje, neki deblji proslojak pješčenjaka iz IG jedinice 3 upravo kako prikazuje profil na slici (Slika 154).

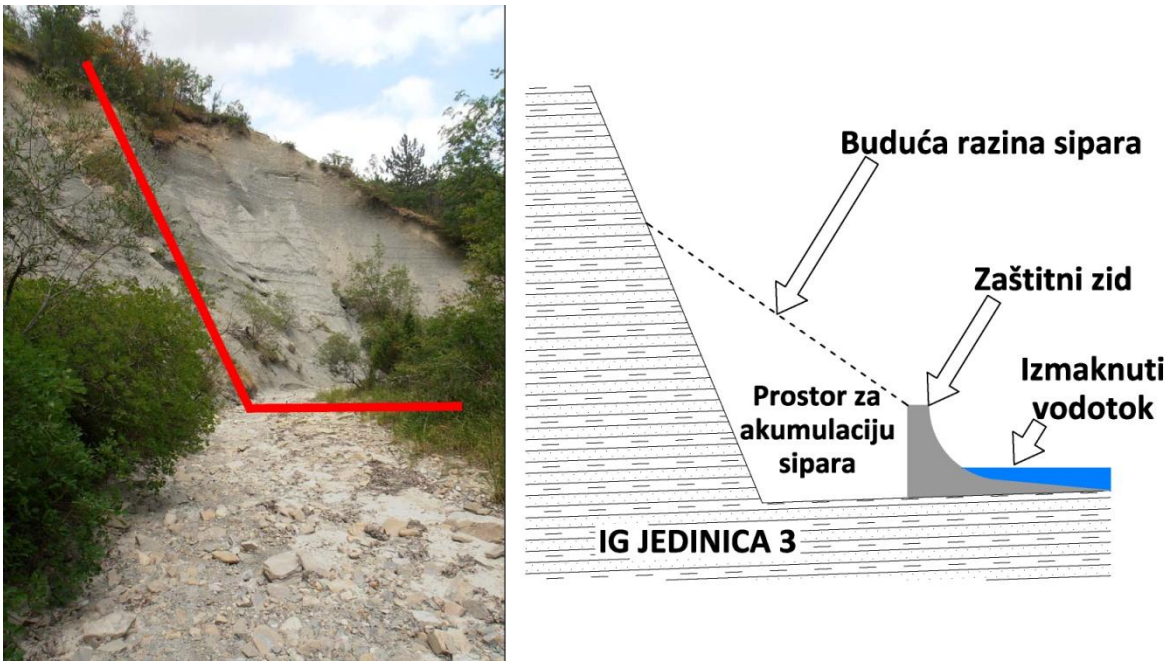


Slika 154 – Prijedlog zaštite energetske stepenice podgradom od slaganih pješčenjačkih blokova

7.7.3.1.2 Spriječavanje uzmicanja ogolina nastalih na meandrima

Meandriranje povremenih vodotokova u dolinama 3., 4. i 5. reda je u prethodnim poglavljima apostrofirano kao jedan od uzorka nastanka ogolina (7.4.2) na području središnje Istre. Pojava meandra u nožicama ogolina uvjetuje koncentraciju visoko erozivnih tokova upravo na mjestu taloženja materijala nastalog procesom osipavanja s ogolina. Da bi se odnošenje takvog istaloženog i oslabljnog materijala spriječilo potrebno je spriječiti kontakt navedenog materijala s koncentriranim tokom vode na tom mjestu. U vezi s tim prikazan je prijedlog zahvata na meandru iznad kojega se nalazi veća površina ogoljelog terena (Slika 155).

Na slici (Slika 155) je vidljivo da je jedan od najvažnijh zahvata u tom pogledu odmicanje toka od ogoline i to pomoću zida iza kojega je ostavljen prostor za nakupljanje sipara čime se zapravo kida veza 3 prikazana na shemi egzogenih procesa (Slika 143, str. 239). Akumulacijom sipara dolazi do prekrivanja aktivne ogoljele površine čime se direktno prekida i veza 2 na spomenutoj shemi (Slika 143, str. 239).



Slika 155 – Prijedlog tehničkih mjera zaštite na meandrima jaruga na području središnje Istre

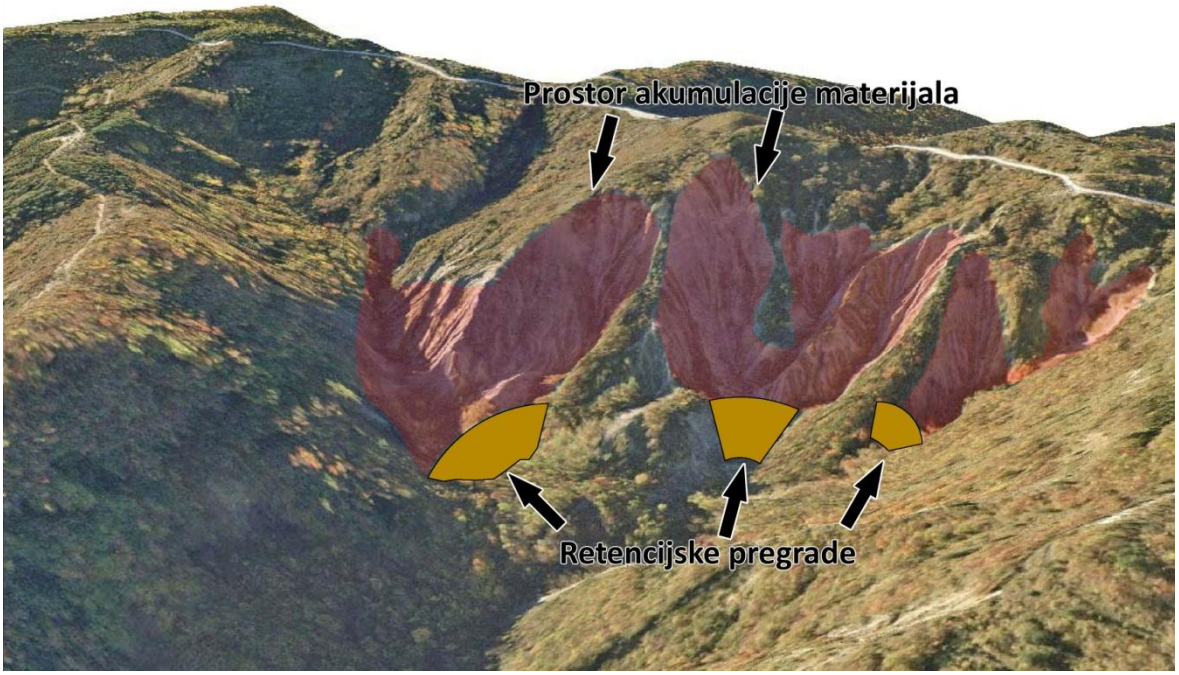
7.7.3.1.3 Pošumljavanje ogolina u zoni 1

Jedna od najvažnijih mjera zaštite koja ima višestruku korist za ljudsku zajednicu na nekom području je pošumljavanje. Pošumljena područja u prvilu karakteriziraju veći iznosi infiltracije, a time i manja količina erozivnih površinskih tokova (2.3.1.2.4). Kako na istraživanom području nisu zamječene veće površine umjetno zasađenih šuma ovdje je predstavljen prijedlog kojemu su u fokusu ogoline u čelima jaruga, tj. ogoline koje se nalaze u zoni 1 opisane u poglavlju 7.3.5.1.1.

Kako bi se izvršilo pošumljavanje na ogoljelim površinama istraživanog prostora prije svega je potrebno pripremiti pogodno tlo za rast šuma. Naime površine ogolina krakterizira vrlo tanak eluvij (Slika 82, str. 135) na kojemu biljke ne mogu uspjevati verojatno zbog pomanjkanja hranjiva. Na slici (Slika 156) je prikazan prijedlog mjera koje bi trebale prethoditi pošumljavanju, a to je gradnja retencijskih pregrada na ušćima dolina 1. i 2. reda, a sve u cilju nakupljanja nanosa iza njih. Nakupljanjem veće količine nanosa stvorili bi se uvjeti (tlo) za pošumljavanje većih površina koje bi krakterizirao nagib blizak kutu odlaganja sipara. Šume posađene na takvim površinama bi služile kao dodatna armatura novonastalog tla te bi pospješile infiltraciju i fizički smanjile erozivnost površinskih tokova.

Pošumljavanje prostora bi trebalo raditi u fazama i to idući od izgrađenih retencija iza kojih se prvo nakuplja nanos pa prema razvodnici sliva. Prvo bi dakle trebalo pošumiti

površinu iza retencija na kojoj se nakupio nanos, zatim nakon nekoliko godina uzvodnu površinu i tako sve dok se u potpunosi ne prekriju ogoljele površine nanosom i na njemu zasađenom šumom.



Slika 156 – Prijedlog sanacije ogolina u zoni 1 razvoja reljefa

7.7.3.2 Administrativne mjere za zaštitu od denudacije

Iz pregleda literature vezane za eroziju na području središnje Istre te iz rezultata istraživanja prikazanih u ovom radu vidljivo je da ogoline predstavljaju površine koje dominiraju u pogledu produkcije nanosa, tj. u pogledu iznosa denudacije. Administrativni propisi bi dakle trebali imati za cilj suzbijanje denudacije upravo s tih površina.

U tom smislu je u poglavlju 7.5 predstavljena karta podložnosti formiranju ogolina na kojoj se razlikuju 4 zone upravo po podložnosti formiranju ogolina. Navedena karta bi svakako trebala biti jedna od podloga prostornih planova koji definiraju bilo kakve građevinske, rudarske, hidrotehničke, šumarske ili poljodjelske zahvate na području središnje Istre. U nastavku su ukratko navedene preporuke vezane uz prostorne zahvate za pojedine kategorije podložnosti.

Područja velike podložnosti

Ovo područje karakterizira najveća podložnost stvaranju ogolina, pa prema tome i najveća podložnost intenzivnoj denudaciji. Iz tog razloga bi se ovdje trebalo izbjegavati provođenje bilo kakvih prostornih zahvata koji dovode do koncentracije površinskih tokova, tj. do stvaranja jaruga. Pri tome bi na navedenim područjima izričito trebalo zabraniti sječu šuma, nekontroliranu ispašu stoke, te gradnju bilo kakvih stambenih ili gospodarskih objekata jer bi uređivanje slivnih voda od njih pa do energetski slabijih tokova iziskivalo radove izrazito visoke cijene koštanja, koji bi onda navedene objekte činili nerentabilnim.

Područja srednje podložnosti

Iako je podložnost stvaranju ogolina ovdje nešto niža nego kod prethodno opisane zone, i ovdje bi trebali vladati nešto strožiji propisi u pogledu prostornih zahvata. Tako bi na ovim područjima mogla provoditi sječa šuma, ali samo uz dozvolu lokalne šumarske uprave i pod nadzorom njenog organa. Parcele za potrebe ekstenzivnog stočarstva bi morale biti zaštičene pojasom umjetno zasađene šumom koje bi spriječavale nastanak koncentriranih tokova. Gradnja u ovoj zoni bi se mogla dozvoliti jedino objektima od izrazite važnosti za lokalnu zajednicu, a projekti navedenih objekata bi svakako trebali imati detaljne inženjerskogeološke te hidrotehničke elaborate kojima bi se definirale inženjerskogeološke značajke naslaga na dotičnom području te sukladno tome i tehničke mjere zaštite.

Područja male podložnosti

Ovo područje karakterizira niska podložnost stvaranju ogolina pa bi prema tome ovdje mogla biti dozvoljena gradnja obiteljskih kuća, pri čemu bi dozvole za gradnju mogli dobiti jedino objekti s detaljnim geotehničkim elaboratima, koji bi morali definirati inženjerskogeološke značajke naslaga u bazi objekata te sukladno tome i možebitno potrebne hidrotehničke mjere zaštite. Šumarski radovi i na ovom području bi morali biti popraćeni od strane nadležnih organa lokalne šumarske uprave, a površine za ispašu stoke nebi trebale biti posebno uređene.

Područja vrlo male podložnosti

Područja vrlo male podložnosti ne iziskuju posebne mjere zaštite prilikom gradnje obiteljskih i gospodarskih objekata, ali bi svakako prije izdavanja uporabne dozvole lokacije trebali obići stručnjaci s polja inženjerskegeologije, geotehnike i hidrotehnike, kojom prilikom bi se utvrđivali možebitni nedostaci u pravilu vezani za uređivanje slivnih voda od novoizgrađenih objekata.

Na kraju valja naglasiti da prikazana karta i na njoj definirana područja podložnosti stvaranju ogolina (Slika 134, str. 229) svakako nisu adekvatni za definiranje detaljnih prostornih planova jer je ista izrađena na osnovu topografskih karata sitnog mjerila. Također izrada detaljnih prostornih planova potrebuje detaljne inženjerskogeološke podloge koje bi definirale inženjerskogeološke značajke stijenskih masa, zatim značajke mreže površinskih tokova, te osnovne geomorfološke značajke reljefa.

8 ZAKLJUČAK

Istraživanja prezentirana u ovom radu se bave vrlo intenzivnim egzogenim procesima koji se odvijaju na ogolinama u flišu središnje Istre. Istraživani su parametri koji mogu objasniti nastanak i razvoj ogolina, ali i njihov utjecaj na brzinu procesa trošenja i egzogenih procesa karaktrističnih za ogoline.

Prema inženjerskogeološkim (IG) svojstvima materijala stijene i stijenske mase izdvojene su 4 IG jedinice:

- **IG jedinica 1** – izgrađena od postojanih **breča, konglomerata ili kalkarenita** karbonatnog sastava, čvrstoće preko 40 MPa;
- **IG jedinica 2** – **lapori** - postojanost = 5.1%, I_p = 12 %, čvrstoća = 30 MPa, udio kalcita 66.4 %, GSI 23-30;
- **IG jedinica 3** – izmjena **lapora i pješčenjaka** – **lapori** udio u jedinici = 79.5 %, postojanost = 28.1, I_p = 13.3 %, čvrstoća = 8.5 MPa, udio kalcita 44.7 %; **pješčenjaci** udio u jedinici = 20.5 %, postojanost = 0.2 %, čvrstoća 15 MPa; GSI vrijednost jedinice 20-40;
- **IG jedinica 4** – lapori – postojanost = 27.0 %; I_p = 12.1 %; čvrstoća = 10.5 MPa, udio kalcita = 59.6 %.

Laboratorijskim ispitivanjima dobiveni su podaci koji govore o važnim fizičkim i mehaničkim značajkama materijala stijene, a dodatnim analizama i ispitivanjima definirani su faktori i koji utječu na njegovu postojanost. S obzirom da u istraživanom materijalu dominiraju fizički procesi trošenja provedena su simuliranja prirodnih ciklusa vlaženja-sušenja-smrzavanja.

Postojanost lapora iz definiranih IG jedinica je određivana na velikom broju uzoraka (223), a kao najnepostojaniji litološki član pokazao se lapor iz IG jedinice 3. Prema postojanosti IG jedinice je moguće poredati na sljedeći način:

IG 1 >> IG 2 > IG 4 > IG 3.

Istraživanja prezentirana u ovom radu su pokazala da na postojanost lapora najveći utjecaj ima njegova **geneza** te **udio minerala glina**. Ako usporedimo postojanost lapora s njegovim ostalim fizičkim i mehaničkim značajkama primjetit ćemo relativno visok korelacijski faktor s **prirodnom vlažnosti (0.59) i indeksom plastičnosti (0.57)**. To i ne čudi s obzirom da spomenute značajke materijala indirektno ukazuju na genezu, udio i sastav minerala glina.

Laboratorijska istraživanja potvrđuju rast ledenih kristala kao najsnažniji i najbrži vid fizičkog trošenja u ovim materijalima. Međutim, najrasprostranjeniji i najučestaliji proces fizičkog trošenja na istraživanom prostoru je opetovano vlaženje i sušenje. Navedeni zaključak se temelji na činjenici da je pojavljivanje ogolina puno češće na južno eksponiranim padinama reljefa, koje karakterizira već broj ciklusa vlaženja i sušenja.

Primjećeno je da udio minerala ilita u laporima, koji predstavlja produkt kemijskog trošenja iz minerala smektita i to procesima opetovanog vlaženja i sušenja u pripovršinskim zonama, može poslužiti za procjenu iznosa denudacije na pojedinim ogolinama. Naime stijensku masu koja gradi ogoline i sadrži povećan udio ilita obično krakteriziraju niski iznosi denudacije.

Od denudacijskih procesa na ogolinama središnje Istre najizraženiji su erozija vodom i pokreti masa najčešće u vidu osipavanja. Kako bi se kvantificirao iznos denudacije definiranih IG jedinica uspostavljene su 4 pokusne parcele (Šterna, Sv. Donat, Botonega i Boljun). Na njima se različitim fotogrametriskim metodama i profilometrima mjerila denudacija u razdoblju od približno 2 godine.

Najveća prosječna godišnja denudacija izmjerena digitalnom fotogrametrijskom metodom koja se u tu svrhu pokazala najpogodnijom je zabilježena na ogolinama Boljun (4.1 cm) i Sv. Donat (3 cm) koje su izgrađene od IG jedinice 3. Prema iznosu denudacije slijedi ogolinu Šterna (1.4 cm) izgrađena od IG jedinice 4, te na kraju ogolina Botonega (0.3 cm) izgrađena od IG jedinice 2. Usporedbom navedenih iznosa denudacije na pokusnim parcelama s gore prikazanim redosljedom postojanosti IG jedinica može se zaključiti da

postojanost predstavlja najvažniji faktor iznosa denudacije na razini izdanka. Time je u pogledu denudacije litologija stavljena u prvi plan.

Klimatološki parametri praćeni usporedno s denudacijom su se također pokazali vrlo utjecajnim na sam iznos denudacije. Tako je utvrđeno da kombinacija male količine oborina i visokih prosječnih temperatura u dužem vremenskom razdoblju praćenih intenzivnim kišnim olujama predstavlja najnepovoljniju kombinaciju klimatskih faktora koja uzrokuje visoke iznose denudacije.

Pomoću ortofoto snimaka cjelokupnog istraživanog područja izrađen je katastar u kojem je zabilježeno **5568** zasebnih poligona. Prema tim podacima udio ogolina na istraživanom prostoru iznosi **2.2 %**.

Prethodno prikazanim rezultatima i prostornom analizom različitih parametara bilo je moguće utvrditi i najvažnije faktore nastanka i opstanka ogolina koji su redom nabrojani prema važnosti:

1) Litološki sastav;
2) Razvoj reljefa;
3) Udaljenost od hidrografske mreže;
4) Nagib i aspekt padina;
5) Energetske stepenice;
6) Orijentacija sloja;
7) Meandriranje tokova;
8) Antropološki utjecaj.

Litološki sastav predstavlja svakako najvažniji faktor o kojem ovisi nastanak i opstanak ogolina. To je primjećeno na većini istraživanih slivova i to posebno na dijelovima izgrađenim od debljih intervala lapora na kojema su ujedno zabilježeni i veći udjeli ogolina. Ovu tvrdnju zbog nedostatka litološke podloge izrađene u krupnijem mjerilu nije bilo moguće kvantificirati.

Karta podložnosti stvaranju ogolina predstavljena u ovom radu je od podloga koristila faktore od točke 2 do 4. Iako je usporedba tako dobivene karte s kartom udjela ogoljelih

površina pokazala veliku sličnost i ovdje se uočava veliki nedostatak litološke karte u krupnijem mjerilu.

Premda je klima značajan faktor, ovdje je namjerno izostavljena zbog toga što se i nakon praćenja klimatoloških prilika tijekom dvije godine na različitim lokacijama ne primjećuju značajne klimatske razlike, pa se ona u cjelokupnom istraživanom prostoru smatra jednakom. Međutim, razlike u udijelima ogolina na područjima većih slivova istraživanog prostora potenciraju razvoj reljefa kao vrlo važan faktor o kojem ovisi udio ogolina na nekom slivu. Tako je utvrđeno da najveći udio ogolina ima sliv Boljunščice (5.6 %) i Raše (5.3%). Niži udjeli karakteriziraju slivove Borutskog potoka (2.1 %) i Botonege (2.0 %). Navedene slivove karakterizira slični litološki sklop naslaga, slični klimatski i geomorfološki parametri, a jedina razlika se očituje u geološkom sklopu šire okolice ušća navedenih slivova. Tako Mirna odnosno njezina lijeva pritoka Botonega ušće imaju u tektonski mirnoj zapadnoistarskoj antiklinali, dok su ušća Boljunčice i Raše u bližoj okolici tektonski aktivne jedinice Učka i Ćićarija. Činjenica da snižavanje razine erozione baze slivova Raše i Boljunščice zbog prisustva tektonske jedinice Učke i Ćićarije nije bilo toliko izraženo kao kod sliva Mirne potkrepljuje tezu o razlici u stadiju razvoja reljefa navedenih slivova.

Na istraživanom prostoru su definirana 4 tipa ogolina:

4) Tip 1 – zavjesasti (IG jedinica 3, 1. zona razvoja reljefa, nagibi >45°, duljina veća od širine i visine);
5) Tip 2 – amfiteatralni (IG jedinica 3, 1. zona razvoja reljefa, nagibi >45°, podjednake sve dimenzije);
6) Tip 3 – lepezaste u IG jedinici 2 i 4 (2. zona razvoja reljefa, nagib 10-35°)
7) Tip 4 - lepezaste u IG jedinici 3 (2. zona razvoja reljefa, nagib 10-35°).

Redosljed egzogenih procesa na ogolinama tip 1 i 2 je **trošenje, osipavanje, taloženje i erozija**, dok na tip 3 i 4 **trošenje, erozija, taloženje i erozija**.

Na kraju valja naglasti da fenomenu izučavanja ogolina na području središnje Istre, kao i u ostalom bilo gdje na svijetu, valja pristupiti s različitih točaka gledišta u različitim mjerilima izučavanja. Složenost egzogenih procesa karakterističnih za ogoline nameće potrebu formiranja multidisciplinarnog tima stučnjaka koji bi kroz duži vremenski period

praćenja navedenih procesa lakše mogao doći do još kvalitetnijh zaključaka. Time bi se i negativne poslijedice izazvane ekscesivnom denudacijom mogle još lakše i kvalitetnije ublažiti kroz izradu preporuka i osmišljavanje jednostavnih i učinkovitih tehničkih mjera zaštite.

9 LITERATURA

Achten, W. M. J., Dondeyne, S., Samweli, M., Elly, K., Jean, P., Jozef, D. i Bart, M. (2008): Gully erosion in South Eastern Tanzania: spatial distribution and topographic thresholds. Zeitschrift für Geomorphologie, 52, 225-235.

Afrouz, A. A. (1992): Practical handbook of rock mass classification systems and modes of ground failure. Library of congress cataloguing-in- publication data.

Alatorre, L. C. i Begueria, S. (2009): Identification of eroded areas using remote sensing in a badlands landscape on marls in the central Spanish Pyrenees. Catena 76, 182-190.

Alexander, D. (1982): Difference between "calanchi" i "biancane" badlands in Italy. U *Badland Geomorphology and Piping*. Urednici Bryan, R. B. i Yair, A., GeoBooks, Norwich, pp. 71-87.

Alexander, R. W., Harvey, A. M., Calvo, A. i dr. (1994): Natural stabilization mechanisms on badlands slopes – Tabernas, Almería, Spain. U *Effects of Environmental Change on Drylands: Biogeographical and Geomorphological Perspectives*. Urednici Milington, A. C. i Pye, K. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp. 85-111.

Anderson, M. i Burt, T. P. (1982): Throughflow and pipe monitoring in the humid temperate environment. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A. Geo Books, Norwich. 337-354.

ASTM – D 4543 – 08 (2008): Preparing rock core as cylindrical test specimens and verifying conformance to dimensional and shape tolerances.

ASTM - D 5873 – 05 (2005): Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method.

ASTM – D 5731-08 (2008): Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications.

Aydin, A. i Basu, A. (2005): The Schmidt hammer in rock material characterization. Engineering Geology 81, 1 –14.

Ballais, J. – L. (1996): L'âgu modelé de roubines dans les Préalpes du Sud: l'exemple de la region de Digne. Géomorphologie; relief, Processus, Environnement, (4), 61-68.

Bates, R. L. and Jackson, J., A. (1984): Dictionary of geological terms. American geological institute. Third edition. Anchor Books, a division of random house, inc. New York.

Bates, R. L. and Jackson, J., A. (1995): Glossary of Geology. Third Edition. American Geological Institute. Alexandria, Virginia.

Bell, F. G. (2007): Engineering geology. Elsevier. Second edition. Oxford.

Benito, G., Gutiérrez, M. I Sancho, C. (1992): Erosion rates in badland areas of the central Ebro basin (NE-Spain). Catena 19, 269-286.

Benito, G., Gutierrez, M. i Sancho, C. (1993): The influence of physic-chemical properties on erosion processes in badland areas, Ebro basin, NE Spain. Zeitschrift für Geomorphologie, 37, 199-214.

Bergant, S., Tišljar, J. i Šparica, M. (2003): Eocen carbonates and flysch deposits of the Pazin basin. 22nd IAS meeting of sedimentology – Opatija. Field trip guidebook.

Blatt, G. (1982): Sedimentary petrology. W.H. Freeman and Company, San Francisco, CA. 564 pp.

Boardmana, J., Parsons, A. J., Hollandc, R., Holmesc, P. J. i Washingtond, R. (2003): Development of badlands and gullies in the Sneeuberg, Great Karoo, South Africa. Catena 50, 165– 184.

Bochet, E., García-Fayos, P. i Poesen, J. (2009): Topographic thresholds for plant colonization on semi-arid eroded slopes. Earth Surface Processes and Landforms, 34/13, 1758–1771.

Bogunović, M. (1987): Rezultati fotointerpretacije u kartiranju pedosfere Istre. Monografija – Pedosfera Istre, Škorić i dr. Projektni savjet za izradu Pedološke karte SRH, str. 169-179, Zagreb.

Bogunović, M., Husnjak, S., Vidaček, Ž., Racz, Z., Sraka, M. i Mihalić, A. (2000): Istraživanje rizika od erozije tla vodom u Hratskoj – I. faza: erodibilnost tla. Hrvatske vode, 8(2000)31, 107-124. Zagreb.

Bouma, N. A. i Imeson, A. C. (2000): Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain. Catena 40, 147–171.

Bowyer-Bower, T. A. S. i Bryan, R. B. (1986): Rill initiation: concepts and experimental evaluation on badland slopes. Z. Geomorphol. N. F., Suppl. Bd. 60, 161–175.

Bryan, R. B., Imeson, A. C. i Campbell, I. A. (1984): Solute release and sediment entrainment on microcatchments in the Dinosaur Park badlands, Alberta, Canada. Journal of Hydrology, 71, 79-106.

Bryan, R. i Harvey, L., (1985): Observations on the geomorphic significance of tunnel erosion in a semi-arid ephemeral drainage system. Geogr. Ann. 67A–4., 257–272.

Brayan, R. B., Campbell, I. A. i Yair, A. (1986): Postglacial geomorphic development of the Dinosaur Provincial Park badland, Alberta. Canadian Journal of Earth Science, 24, 135-146.

Bryan, R. B. i Jones, J. A. A. (1997): The significance of soil piping processes: inventory and prospect. Geomorphology 20, 209-218, editorial.

Brayan, R. B. i Yair, A. (1982a): Badland geomorphology and piping. Geobooks. Horwich, Engleska.

Brayan, R. B. i Yair, A. (1982b): Perspectives on studies of badland geomorphology. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A.

BS-1377-2 (1990): Methods of test for Soils for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests.

Bufalo, M., Oliveros, C. I Quélennec, R. E. (1989): L'érosion des Terres Niires dans la région du Buëch (Hautes-Alpes). Contribution à l'étude des processus érosifs sur le bassin versant représentatif (BVRE) de Saint-Genis. La Houille Blanch, 1989 (3/4), 193-195.

Butler, J. i Goetz, H. (1986): Vegetation and sol-landscape relationships in the North Dakota badlands. American Midland Naturalist, 116, 378-386.

Campbell, I. A. (1982): Surface morphology and rates of change during a ten-year period int he Alberta badlands. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Bryan, R. B. I Yair, A. Geobooks, Norwich, pp.

Campbell, I. A. (1989): Badlands and Badland gulies. U *Arid zone geomorphology*. Urednik Thomas, D. S. G. Halstead Press, New York.

Campbell, I. A. (1997): Badlands and Badland gulies. U *Arid zone geomorphology*. Drugo izdanje, urednik Thomas, D. S. G. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, pp. 261-291.

Cantón, Y., Domingo, F., Solé-Benet, A. i Puigdefábregas, J. (2001): Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. Journal of Hydrology, 252/1–4, 65-84.

Castro, P. V., Chapman, R. W., Gili, S. I dr. (1998): Aguas Project. Paleoclimatic reconstruction and the dynamics of human settlement and land-use in the area of the Middle Aguas (Almería) in the south-east of the Iberian Península, EUR 18036, European Commission, Brussels.

Chen, J., Blume, H.–P. i Beyer, L. (2000): Weathering of rocks induced by lichen colonization — a review. Catena, 39/2, 121–146.

Churchill, R. R. (1981): Aspect-related differences in badlands slope morphology. Annals of the Association of American Geograpphers, Vol. 7, No. 3, pp. 374-388.

Ciccacci, S., Galiano, M., Roma, M. A. i Salvatore, M. C. (2008): Morphological analysis and erosion rate evaluation in badlands of Radicofani area (Southern Tuscany — Italy). Catena 74, 87–97.

Clark, A. N. (2003): Dictionary of geography. Penguin group. Third edition. London.

Clarke, M. L. i M. Rendell, H. M. (2006): Process–form relationships in Southern Italian badlands: erosion rates and implications for landform evolution. Earth Surface Processes and Landforms, 31, 15–29.

Credà, A. (2002): The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain. Journal of Arid Environments, 52, 319-3377.

Della Seta, M., Del Monte, M, Fredi, P. i Palmieri, E. L. (2009): Space–time variability of denudation rates at the catchment and hillslope scales on the Tyrrhenian side of Central Italy. Geomorphology, 107, 161–177.

Deo, P. (1972): Shales as embankment materials. Doktorska disertacija, Purdue University, West Lafayette.

De Ploey, J. (1974): Mechanical properties of hillslopes and their relation to gullying in central semi-arid Tunisia. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband, 21, 177-190.

Descroix, L. i Gautier, E. (2002): Water erosion in the southern French alps: climatic and human mechanisms. Catena, 50, 53-85.

Desir, G. i Marín, C. (2007): Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). Catena 71, 31–40.

de Vente, J. i Poesen, J., (2005): Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. Earth-Sci. Rev. 71, 95–125.

Díaz-Hernández, J. L. i Juliá, R. (2006): Geochronological position of badlands and geomorphological patterns in the Guadix–Baza basin (SE Spain). Quaternary Research 65, 467–477.

Dick, J. C., Shakoor, A. i Wells, N. (1994): A geological approach toward developing a mudrock-durability classification system. Can. Geotech. J. 34, 17-27.

Dixon, J. C. (2006): Weathering. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library.

Drew, D. O. (1982): Piping in the Big Muddy badlands, southern Saskatchewan, Canada. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A. Geo Books, Norwich, 293-304.

Eberl, D. D., Środoń, J. i Northrop, H. R. (1986): Potassium fixation in smectite by wetting and drying. U *Deochemical Processes at Mineral Surfaces*. Urednici Davis, J. A. i Hayes, K. F. ACS Symposium Series, 323, American Chemical Society.

Einsele, G., Hinderer, M., (1997): Terrestrial sediment yield and the lifetimes of reservoirs, lakes, and larger basins. Geol. Rundsch. 86, 288–310.

Eriksson, M., Reuterswärd, K. i Christiansson, C. (2003): Changes in the fluvial system of the Kondoa Irangi Hills, central Tanzania, since 1960. Hydrological Processes, 17, 3271-3285.

Evans, D. J. A., Campbell, I. A. i Lemmen, D. S. (2004): Holocene alluvial chronology of One Tree Creek, southern Alberta, Canada. Geografiska Annaler, 86/2, 117-130.

Faleh, A., Navas, A., Sadiki, A., (2005): Erosion and dam siltation in a Rif catchment (Morocco). U *Sediment Budgets 2.* Urednici: Horowitz, A. J., Walling, D. E. IAHS, vol. 292, pp. 58–64.

Favis-Mortlock, D. (1998): A self-organizing dynamic systems approach to the simulation of rill initiation and development on hillslopes. Computers & Geosciences, 24/4, 353-372.

Favis-Mortlock, D. (1998): Rill. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library. 852-853.

Feoli, E., Gallizia Vuerich, L. i Woldu, Z. (2002): Processes of environmental degradation and opportunities for rehabilitation in Adwa, Northern Ethiopia. Landscape Ecology, 17, 315-325.

Fookes, P. G., Gourley, C. S. I Ohikere, C. (1988): Rock weathering in engineering time. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, Vol. 21, pp. 33-57.

Foster, G. R. (1982): Modelling the erosion process. Hydrologic modeling of small watersheds, pp 297-382. American society of agricultural engineers, St. Joseph, MI.

Foster, G. R.; Meyer, L. D. I Onstad, C. A. (1977): An erosion equation derived from basic erosion principles. Trans. ASAE 20(4): 678-682.

Francke, T., López-Tarazón, J. A., Vericat, D., Bronstert, A. i Batalla, R. J. (2008): Flood-based analysis of high-magnitude sediment transport using a non-parametric method. Earth Surface Processes and Landforms, 33/13, 2064–2077.

Franklin, J. A., Broch, E. i Walton, G. (1971): Logging the mechanical character of rock. Trans. Instn. Min. Metall. 80, A1-A9.

Franklin, J.A. i Chandra, R. (1971): The slake-durability test. Int. J. Rock Mech. Nin. Sci. 9, 325-341.

Gaillardet, J. (2006): Denudation. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library.

Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i Patarčić, M. (2003): Digitalna godišnja oborinska karta Hrvatske. Hrvatski meteorološki časopis, 38, 21-33.

Gamble, J. C. (1971): Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. Doktorska disertacija, University of Illinois, Urbana.

Gams, I., Zeremski, M., Marković, M., Lisenko, S. i Bognar, A. (1985): Uputstvo za izradu detaljne geomorfološke karte SFRJ u razmeru 1:100000. Radna grupa Naučnog veća međurepubličko-pokrajinskog projekta za geomorfološko kartiranje. Beograd.

García-Fayos, P., García-Ventoso, B. i Cerdà, A. (2000): Limitations to plant establishment on eroded slopes in southeastern Spain. Journal of Vegetation Science, 11/1, 77-86.

García-Ruiz, J. M., David Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., Nadal-Romero, E., Navas E. A., Latron, J., Martí-Bono, C. i Arnáez, J. (2008): Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. Journal of Hydrology, 356, 245– 260.

Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Časopis "Izgradnja" specijalno izdanje.

Gerits, J., Imeson, A. C., Verstraten, J. M. i Bryan, R. B. (1987): Rill development and badland regolith properties. Catena Supplement 8, 141-160.

Gilbert, G. K. (1877): Report on the geology of the Henry Mountains. US geographical and geological survey of the Rocky Mountain region, Washington, DC.

Gilman, K. I Newson, M. D. (1980): Soil Pipes and Pipeflow - A Hydrological Study in Upland Wales. Geobooks, Norwich, 114 pp.

Gokceoglu, C., Ulusay, R. i Sonmez, H. (2000): Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. Engineering Geology 57, 215–237.

Gonzalez, M. A. (2001): Recent formation of arroyos in the Little Missouri Badlands of southwestern North Dakota. Geomorphology 38, 63–84.

Guàrdia, R., Gallart, F. i Ninot, J. M. (2000): Soil seed bank and seedling dynamics in badlands of the Upper Llobregat basin (Pyrenees). Catena, 40, 189–202.

Haigh, M. J. (1977): The use of erosion pins in the study of slope evolution. U *Shorter Technical Mehods (II)*. Technical Bulletin 18, British Geomorphological Research Group, Geo Books, Norwich.

Hajjaji, W., Hachani, M., Moussi, B., Jeridi, K., Medhioub, M., López-Galindo, A., Rocha, F., Labrincha, J. A. i Jamoussi, F. (2010): Mineralogy and plasticity in clay sediments from north-east Tunisia. Journal of African Earth Sciences 57, 41–46.

Halliday, W. R. (2007): Pseudokarst in the 21st century. Journal of Cave and Karst Studies, 69/1, 103–113.

Harvey, A. M. (1982): The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A. Geo Books, Norwich. 317-336.

Harvey, A. M. (1992): Process interactions, temporal scales and the development of hillslope gully systems: Howgill Fells, northwest England. Geomorphology, 5/3–5, 323-344.

Harvey, A. M. (2002): Effective timescales of coupling within fluvial systems. Geomorphology 44, 175–201.

Harvey, A. (2006): Badland. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library.

Head, K.H. (1982): Manual of Soil Laboratory Testing, Vol 1, Pentach Press, London Plymouth.

Hoek, E. i Brown, E. T. (1980): Empirical strength criterion for rock massef. Geotch. Engng Div., ASCE 106 (GT9). 1013-1035.

Hodges, W. K. I Bryan, R. B. (1982): The influence of material behaviour on runoff initiation in the Dinosaur Badlands, Canada. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A. Geo Books, Norwich. 13-46.

Holjević, D. (2002): Procjena erozije tla i pronos nanosa primjenom GIS-tehnologije. Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu. Magistarski rad.

Horton, R. E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin 56, 275-370.

Howard, A. D. (1994): Badlands. U *Geomorphology of Desert Environments*. Urednici Abrahams, A. D. i Parsons, A. J. Chapman &Hall, London.

Howard, A. D. (1997): Badland morphology and evolution: interpretation using a simulation model. Earth Surface Processes and Landforms, 22/3, pp. 211–227.

Howard, A. D. (2009): Badlands and gulling. U *Geomorphology of Desrt Environments*. Drugo izdanje, urednici Parsons, A. J. I Abrahams, A. D. Springer, Berlin, pp. 265-299.

Howard, A. D. i Kerby, G. (1983): Channel changes in badlands. Geological Society of American Bulletin, v. 94, p. 739-752.

Hsü, K. J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M. B., Erickson, A., Garrison R. E., Kidd, R. B., Mrliers, F. i Wright, R. (1977): History oft he Mediterranean salinity crisis. Nature, 267, 5610, 399-403.

Hudec, P. P. (1982): Statistical analysis of shale durability factors. Transportation Research Record, 873, 28-35.

Hudson, N. W. (1993): Field measurement of soil erosion and runoff. FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Rome.

Husnjak, S. (2000): Procjena rizika erozije tla vodom metodom kartiranja u Hrvatskoj. Agronomski fakultet. Sveučilište u Zagrebu. Disertacija.

Husnjak, S. (2001): Istraživanje erozije na području sliva Butonige. Hrvatske vode, 9(2001)35, 127-143, Zagreb.

Imeson, A. C., Kwaad, F. J. P. M. i Verstraten, J. M. (1982): The relationship of soil physical and chemical properties to the development of badlands in Morocco. U *Badland Geomorphology and Piping*. Urednici Bryan, R. B. i Yair, A., GeoBooks, Norwich, pp. 47-70.

Imeson, A. C. i Verstraten, J. M. (1988): Rills on badland slopes: a physico-chemicaly controlled phenomenon. Catena Supplement, 12, 139-150.

ISRM (1977): Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption, swelling and lake-durability index properties.

ISRM (1978): Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15, pp, 89-97.

ISRM (1985): Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 22, No. 2, pp. 51-60.

ISRM (1993): A Suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested method with particular reference to rock machineability. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 30, No. 3, pp, 321-322.

Jones, J. A. A. (1981): The Nature of Soil Piping, a Review of Research. Geobooks, Norwich, 301 pp.

Jones, J. A. A. (1982): U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A. Geo Books, Norwich. 355-370.

Jones, J. A. A. (2004): Pipe and piping. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library.

Joshi, V., Tambe, D. i Dhawade, G. (2009): Geomorphometry and fractal dimension of a riverine badland in Maharashtra. Journal of the Geological Society of India, 73, 355-370.

Juračić, M. (1980): Dubina sedimentacije "lapira s rakovicama" iz odnosa planktonskih i bentičkih foraminifera. Geološki vjesnik, 31, 61-67, Zagreb.

Jurak, V. i Fabić, Z. (2000): Erozija kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri. Zbornik radova 2. Hrvatskog geološkog kongresa, str. 603-612. Cavtat – Dubrovnik.

Jurak, V., Petraš, J. i Gajski, D. (2002): Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestičke fotogrametrije. Hrvatske vode, 10(2002)38, 49-58.

JUS (1982): Ispitivanje prirodnog kamena – Otpornost na dejstvo mraza. Pravilnik br. 50-5823/1 od 1982-04-08; Službeni list SFRJ, br. 29/82. Savezni zavod za standardizaciju.

Kearey, P. (2001): The new penguin dictionary of geology. Penguin group. London.

Keay-Bright, J. i Boardman, J. (2009): Evidence from field-based studies of rates of soil erosion on degraded land in the central Karoo, South Africa. Geomorphology 103, 455–465.

King, G. P. C. i Strudy, D. (1994): Tectonics. U *Understanding the Natural and Anthropogenic Causes of Soil Degradation and Desertification in the Mediterranean Basin, Volume 1: Land Degradation in Epirus*. Urednik van der Leeuw, S. E. Final report on contract EV5V-CT91-0021, EU, Brussels, pp. 13-45.

Kirkby, M. J. i Bull, L. J. (2000): Some factors controlling gully growth in fine-grained sediments: a model applied in southeast Spain. Catena, 40, 127–146.

Kisić, I.; Bašić, F.; Butorac, A.; Mesić, M.; Nestroy, O. i Sabolić, M. (2005): Erozija tla vodom pri različitim načinima obrade. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Kraus, K. (2006): Fotogrametrija. 1. Dio – osnove i standardni procesi. Synopsis Zagreb – Synopsis Sarajevo.

Lázaro, R., Cantón, Y., Solé-Benet, A., Bevan, J., Alexander, R., L.G. Sancho, L. G. i Puigdefábregas, J. (2008): The influence of competition between lichen colonization and erosion on the evolution of soil surfaces in the Tabernas badlands (SE Spain) and its landscape effects. Geomorphology 102, 252–266.

Liu, T., An, Z., Yuan, B. i Han, J. (1985): The loess-palaeosol sequence in China and climatic historiy. Episodes, 8, 21-28.

Lòpez-Bermùdez, F. i Romero-Dìaz, M. A., (1989): Piping erosion and badland development in south-east Spain. Catena (Suppl. 14.), 59–74, Catena Verlag, Cremlingen, D.

Lupia-Palmieri, E. (2006): Erosion. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library.

Lu, X. X. i Higgitt, D. L., (2001): Sediment delivery to the Three Gorges 2: local response. Geomorphology 41, 157–169.

Maerker, M., Castro, C. P., Pelacani, S. i Baeurel, M. V. S. (2008): Assessment of soil degradation susceptibility in the Chacabuto Province of central Chile using a morphometry based response units approach. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 31, 47-53.

Marinčić, S. (1981): Eocenski fliš jadranskog pojasa. Geološki vjesnik, 23, Zagreb.

Marinos, P. i Hoek, E. (2001): GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. GeoEng2000, An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, 19-24. November 2000, Melbourne.

Marković, M. (1983): Osnvi primenjene geomorfologije. Posebna izdanja, knjiga 8. Geoinstitut, Beograd.

McCarroll, D. i Viles, H., (1995): Rock-weathering by the lichen Lecisea auriculata in an arctic alpine environment. Earth Surf. Processes Landforms 20, 199–206.

McCool, D. K., Dossett, M. G. i Yecha, S. J. (1981): A portable rill meter for field measurement of soil loss. Erosion and sediment transport measurement, Proceedings of the Florence Symposium, IAHS Publ. No. 133, pp, 479-484.

McIntyre, S. C., (1993): Reservoir sedimentation rates linked to long-term changes in agricultural land use. Water Resour. Bull. 29, 487–495.

Meyer, L. D. i Renard, K. G. (1991): How research improves land management. Agriculture and the Environment. USDA Yearbook of Agriculture, pp. 20-27. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Mieth, A. i Bork, H. – R. (2005): History, origin and extent of soil erosion on Easter Island (Rapa Nui). Catena, 63, 244-260.

Mihljević, D. (1995): Geomorfološke značajke gorskog hrpat Učke gorske skupine Ćićarije i Istarskog pobrđa. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

Mileusnić, M. (2007): Podrijetlo, uvjeti nastanka i sastav glinovitih naslaga taloženih tijekom aptsko-albske emerzije u Istri. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

Morgan, R. P. C. (2005): Soil erosion and conservation. National soil resources institute, Cranfield University.

Nadal-Romero, E., Regüés, D., Martí-Bono, C. i Serrano-Muela, P. (2007): Badland dynamics in the Central Pyrenees: temporal and spatial patterns of weathering processes. Earth Surface Processes and Landforms 32, 888–904.

Noguerasa, P., Burjachsb, F., Gallartb, F. i Puigdefàbregas, J. (2000): Recent gully erosion in the El Cautivo badlands (Tabernas, SE Spain). Catena 40, 203–215.

Oostwoud Wijdenes, D. J. i Ergenzinger, P. (2003): Erosion and sediment transport on steep marly hillslopes, Draix, Haute-Provence, France: an experimental field study. Catena, 33, 179-200.

Panjukov, P. N. (1965): Inženjerska geologija. Građevinska knjiga. Beograd.

Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I. i Holjević, D. (2010): Odraz sanacije erodiranog terena na svojstva tla na flisu – slučajevi Abrami i Butoniga u Istri. Šumarski list br. 5-6, CXXXIV, 229-239.

Petraš, J. i Bašić, F. (1993): Metode istraživanja erozije tla vodom i zaštita voda. Hrvatske vode, vol. 1, br. 2, str. 99-105. Zagreb.

Petraš, J., Holjević, D. i Patrčević, V. (2008): Mjerenje produkcije erozijskog nanosa na istraživačkom poligonu "Abrami" u Istri. Savjetovanje – Hidrološka mjerenja i obrada podataka. Nacionalni park Plitvička jezera.

Pintado, A., Sancho, L. G., Treen, T. G. A., Blanquer, J. M. i Lázaro, R. (2005): Functional ecology of the biological soil crust in semiarid SE Spain: sun and shade populations of Diploschistes diacapsis (Ach.) Lumbsch. The Lichenologist, 37, 425-432.

Pleničar, M., Polšak, A. i Šikić, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, list Trst. Geološki zavod – Ljubljana i Institut za geološka istraživanja – Zagreb.

Pleničar, M., Polšak, A. i Šikić, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Trst. Geološki zavod – Ljubljana i Institut za geološka istraživanja – Zagreb.

Plummer, C. C., McGeary, D. i Carlson, D. H. (2005): Physical geology. McGraw-Hill, New York. 580.

Poesena, J., Nachtergaelea, J., Verstraetena, G. i Valentin, C. (2003): Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena 50, 91– 133.

Polšak, A. i Šikić, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, list Rovinj. Institut za geološka istraživanja – Zagreb.

Polšak, A. i Šikić, D. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Rovinj. Institut za geološka istraživanja – Zagreb.

Pope, G., Dorn, R. I. and Dixon, J. C. (1995): A new conceptual model for understanding geographical variations in weathering. Annals of the Association of American Geographers 85, 38–64.

Proceq (2008): Operating instructions. Silver Schmidt.

Ramirez, D. M. (1988): Indigenous soil conservation strategies in Philippine uplands farms. Working Paper No. 1. Environment and Polixy Institute, East-West Center, Honolulu.

Regüés, D., Pardini, G. I Gallart, F. (1995): Regolith behaviour and physical weathering of clayey mudrock as dependent on seasonal weather conditions in a badland area at Vallcebre, Eastern Pyrenees. Catena 25, 199-212.

Regüés, D., Guárdia, R. I Gallart, F. (2000): Geomorphic agents versus vegetation spreading as causes of badland occurrence in a Mediterranean subhumid mountainous area. Catena 40, 173-187.

Ries, J. B., Marzolff, I., (2003): Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp. Catena 50, 309–328.

Roje-Bonacci, T. (2003): Mehanika tla. Sveučilište u Splitu. Tiskara Poljica d.o.o., Dugi Rat.

Romero-Díaz, A., Alonso-Sarriá, F., Martínez-Lloris, M., (2007): Erosion rates obtained from check-dam sedimentation (SE Spain). A multi-method comparison. Catena 71, 172–178.

Rula, B. (1977): Rezultati istraživanja površinskog oticanja i spiranja s ogleda "Abrami" – period 1970. – 1977. godine. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" – Beograd.

Schumm, S. A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, 597-646.

Schumm , S. A. (1962): Erosion on miniature pediments in Badlands National Monument, South Dakota. Bulletin of the Geological Society of America, 73, 719-724.

Schumm, S. A. i Lusby, G. C. (1963): Seasonal variation of infiltration capacity and runoff on hillslopes in western Colorado. Journal of Geophysical Research, 68, 3655-66.

Scoging, H. (1982): Spatial variations in infiltration runoff and erosion on hillslopes in semi-ardi Spain. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Bryan, R. B. I Yair, A.). Geobooks, Norwich, pp. 89-112.

Slaymaker, O. (1982): The occurrence of piping and gullying in Penticton glacio-lacustrine silts, Okanagan Valley, B. C. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Brayan, R. B. i Yair, A. Geo Books, Norwich. 305-316.

Sneddon, J., Williams, B. G., Savage, J. V., Newman, C. T. (1988): Erosion of a gully in duplex soils. Results of a long termphotogrammetricmonitoring program. Aust. J. Soil Res. 26, 401–408.

Solé, I., Plana, F., Gallart, F., Josa, R., Giovanni Pardini, G. i Aringhieri, R. (1992): How mudrock and soil physical properties influence badland formation at Vallcebre (Pre-Pyrenees, NE Spain). CATENA, 19/3–4, 287-300.

Strahler, A. N. (1957): Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 8 (6): 913-920.

Swete Kelly, D. E. I Gomez, A. A. (1998): Measuring erosion as a component of sustainability. U *Soil Erosion at Multiple* Scales. Urednici Penning de Vries, F., Agus, F. i Kerr, J. CABI, New York, pp. 133-148.

Šandor, F. (1911): Ekskurzija u podravske pijeske, VGP za 1991. G.

Šikić, D., Polšak, A. i Magaš, N. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, list Labin. Institut za geološka istraživanja – Zagreb.

Šikić, D. i Polšak, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Labin. Institut za geološka istraživanja – Zagreb.

Šikić, D. i Pleničar, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Ilirska Bistrica. Institut za geološka istraživanja – Zagreb i Geološki zavod - Ljubljana.

Taylor, R. K. (1988): Coal measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. Quarterly Journal of Engineering Geology 21, 85–99.

Terzaghi, K. i Peck, R. B. (1966): Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley, New York, 566 pp.

Thomas, A. W., Welch, R., Jordan, T. R., (1986): Quantifying concentrated-flow erosion on cropland with aerial photogrammetry. J. Soil Water Conserv. 41, 249–252.

Thompson, G. R. i Turk, J. (1997): Introduction to Physical Geology. Brooks Cole. 432.

Tišljar, J. (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina. Institut za geološka istraživanja. Zagreb.

Torri, D. i Bryan, R. B. (1997): Micropiping processes and biancana evolution in southeast Tuscany, Italy. Geomorphology, 20, 219-235.

Torri, D., Regüés, D., Pellegrini, S. i Bazzoffi, P. (1999): Within-storm soil surface dynamics and erosive effects of rainstorms. Catena, 38, 131-150.

Toy, T. J.; Foster, G. R. i Renard, K. G. (2002): Soil erosion processes, prediction, measurement, and control. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Varnes, D. J. (1978): Slope movement types and processes. Schuster, R. L., and Krizek, R. J., eds., Landslides—Analysis and control: National Research Council, Washington, D.C., Transportation Research Board, Special Report 176, p. 11–33.

Velić, I., Tišljar, J., Vlahović, I., Matičec, D. i Bergant, S. (2003): Evolution oft he Istrian part oft he Adriatic carbonare platform from the middle juraxic to the santonian and formation oft he flysch basin durnig the eocene: main enents and regional comparison. Fild trip guidbook, 22nd IAS Meetidn of sedimentology. Opatija.

Walder, J. S. I Hallet, B. (1986): The physical basis of frost weathering: toward a more fundamental and unified perspective. Arctic and Alpine Research, vol. 18, no. 1, pp. 27-32.

Weltz, M. A.; Kidwell, M. R. i Fox, H. D. (1998): Influence of abiotic and biotic factors in measuring and modelling soil erosion on rangelands: state of knowledge. J. Range Manage. 51: 482-495.

Wainwright, J. (1994): Anthropogenic factors in the degradation of semi-arid regions: a prehistoric case study in Southern France. U *Effects of Environmental Changes on Drylands*. Urednici Millington, A. C. i Pye, K., John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, pp. 285-304.

Wainwright, J. (1996a): A comparison of the infiltration, runoff and erosion characteristics of two contrasting "badland" areas in S. France. Zeitschrift für Gemorpgologie Supplementband, 106, 183-198.

Wainwright, J. (1996a): Hillslope response to extreme storm events: the example of the Vaison-la-Romaine event. U *Advances in Hillslope Processes*. Urednici Anderson, M. G. I Brooks, S. M. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp. 997-1026.

Wainwright, J. i Brazier, R. (2011): Slope systems. U *Arid zone geomorphology*. Treće izdanje. Urednik Thomas, D. S. G.

Wainwright, J. i Thornes, J. B. (2009): Environmental issues in the Mediterranean: processes and perspectives from the past and present. Routledge, London.

Welch, R., Jordan, T. R., Thomas, A. W., (1983): Photogrammetry: a promising technique for monitoring gully erosion. J. Soil Water Conserv. 39, 191–194.

Wells, N. A. (2006): Gully. U *Encyclopedia of Geomorphology*. Urednik Goudie, A. S. Taylor & Francis e-Library. 503-506.

Wise, S. M., Thornes, J. B. I Gilman, A. (1982): How old are the badlands? A case stady from southeast Spin. U *Badland geomorphology and piping*. Urednici Bryan, R. B. I Yair, A.). Geobooks, Norwich, pp. 279-291.

Wood, L. E. I Deo, P. (1975): A suggested system for classifying shales materials for embankments. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 12/1, 39-55.

Zaninović, K., Srnec, L. i Perčec Tadić, M. (2004): Digitalna godišnja temperaturna karta Hrvatske. Hrvatski meteorološki časopis, 39, 51-58.

Zhu, T. X., Luk, S. H. i Cai, Q. G. (2002): Tunnel erosion and sediment production in the hilly loess region, North China. Journal of Hydrology, 257/1–4, 78-90.

Zorn, M. (2009): Measurements of Various Erosion Processes in a Coastal Submediterranean Catchment (Southwest Slovenia).Revista de geomorfologie – vol. 11, pp. 79-89.

Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Pruner, P. i Bosàk, P. (2008): Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of karst sediments in Slovenia. Karst Research Institute ZRC SAZU, Postojna.

Žugaj, R. (2000): Hidrologija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

ŽIVOTOPIS

Vlatko Gulam rođen je 2. listopada 1976. godine u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu pohađa u Zagrebu gdje 1995. godine upisuje Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Pod mentorstvom dr.sc. Radovana Hallea 2004. godine brani diplomski rad “Karbonatna ravnoteža crpilišta Vinogradi". Iste godine upisuje poslijediplomski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu smjer Inženjerska geologija. Trenutno je zaposlen na mjestu višeg stručnog suradnika pri Hrvatskom geološkom institutu.

Znanstveni i stručni interesi su mu vezani za: stabilnost kosina, kategorizaciju stijenske mase, probleme pri izvedbi građevinskih objekata na kontaktu stijena-tlo, usavršavanje inženjerskogeoloških laboratorijskih postupaka; trošenje i denudaciju flišnih naslaga, izučavanje veze između mineralnog sastava i fizičko-mehaničkih značajki stijena i tala te determinaciju korelacijskih veze između indeksnih i standardnih laboratorijskih ispitivanja.

Aktivno sudjeluje u realizaciji znanstvenog projekta Izrada osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske. Član je Hrvatskog geološkog društva, Hrvatskog geotehničkog društva, Međunarodnog društva za mehaniku stijena (International Society for Rock Mechanic) te Međunarodnog društva za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering).

ZNANSTVENI RADOVI

Znanstveni radovi u drugim časopisima:

- Dobrilović, I., Gulam, V. i Hrženjak, P. (2012): Primjena indeksnih metoda ispitivanja u određivanju mehaničkih značajki intaktnog stijenskog materijala. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. 22; 63-71.
- Buljan, R., Pollak, D. i Gulam, V. (2012): Engineering properties of marine sediments in Mali Ston Bay (Croatia) based on "Mainland - Pelješac" bridge investigation. Geologia Croatica : journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society. 65/2; 233-242.

Sažeci u zbornicima skupova:

- Bostjančić, I., Pollak, D., Podolszki, L. i Gulam, V. (2011): The geological setting of the sinkholes in bare Croatian karst. Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and population Safety, Laverov, N.P., Osipov V.I. (ur.). Moscow : IE Kiseleva N.V., 60-61.

- Bostjančić, I., Gulam, V., Podolszki, L. i Burić, H. (2010): Razrada gustoća ponikava krških područja u sklopu izrade OIGK. 4. Hrvatski geološki kongres. Knjiga sažetaka; Horvat, Marija (ur.). Zagreb : Hrvatski geološki institut, 322-323.
- Brkić, Ž. i Gulam, V. (2010): Inženjerskogeološki laboratorij u Hrvatskom geološkom institutu. 4. Hrvatski geološki kongres. Knjiga sažetaka; Horvat, Marija (ur.). Zagreb, 159-160.
- Buljan, R., Gulam, V. i Pollak, D. (2010): Most "Kopno-Pelješac" – inženjerskogeološke značajke. 4. Hrvatski geološki kongres. Knjiga sažetaka; Horvat, Marija (ur.). Zagreb : Hrvatski geološki institut, 161-162.
- Slišković, I. Buljan, R. i Gulam, V. (2005): Hidrogeologija sliva Imotskog polja i gornjeg toka rijeke Tihaljine. 3. Hrvatski geološki kongres, Knjiga sažetaka; Velić, Ivo ; Vlahović, Igor ; Biondić, Ranko (ur.). Zagreb : Hrvatski geološki institut - Croatian Geological Survey, 237 – 238.

KONTAKT PODACI:

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT
CROATIAN GEOLOGICAL SURVEY
ZAVOD ZA HIDROGEOLOGIJU I INŽENJERSKU GEOLOGIJU
Sachsova 2, P.O. box 268, HR-10001 Zagreb, Croatia
Tel: +3851 6160 778, Fax: +3851 6144 713, Mob: +38591 6144 702
vlatko.gulam@hgi-cgs.hr
www.hgi-cgs.hr