

Geoturistička valorizacija špilje Vilinske jame u Samoborskom gorju

Josipović, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:768786>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sara Josipović

**Geoturistička valorizacija špilje Vilinske jame u
Samoborskom gorju**

Diplomski rad

**Zagreb
2023.**

Sara Josipović

**Geoturistička valorizacija špilje Vilinske jame u
Samoborskom gorju**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistre geografije

**Zagreb
2023.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *istraživački (Fizička geografija s geoekologijom)* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Nenada Buzjaka

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

Geoturistička valorizacija špilje Vilinske jame u Samoborskom gorju

Sara Josipović

Izvadak: U današnje vrijeme pritisak na prirodni prostor postaje sve veći. Usljed brzorastućeg antropogenog utjecaja na okoliš bitno je zaštititi vrijedne krajobraze i educirati stanovništvo o važnosti njihova očuvanja. Stanovništvu je potrebno pružiti informacije o posebnostima i značaju pojedinih lokaliteta kako bi se stvorila ekološka svijest. Upravo se geoturizam, kao oblik turizma, fokusira na edukaciji posjetitelja o geolokalitetima velikog geološkog i geomorfološkog značaja. Popularan oblik interpretacije u geoturizmu su poučne ploče koje nude informacije o pojedinim lokalitetima unutar poučne staze. Osim poučnih ploča predstavljen je noviji oblik interpretacije kroz 3D modeliranje objekta. Špilja Vilinske jame jedinstvena je špilja nastala u sedri na Samoborskom gorju. Poučna staza Vilinske jame pruža geološke, geomorfološke i povijesne informacije o lokalitetima. Osmišljena poučna staza sadrži poučne ploče na hrvatskom i engleskom jeziku s dostupnim pristupom internetske karte poučne staze.

58 stranica, 47 grafičkih priloga, 3 tablice, 64 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: geoturizam, geolokalitet, Vilinske jame, sedra, poučna staza, 3D modeliranje

Voditelj: prof. dr. sc. Nenad Buzjak

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Nenad Buzjak
prof. dr. sc. Aleksandar Toskić
doc. dr. sc. Ivan Šulc

Tema prihvaćena: 9. 1. 2023.

Rad prihvaćen: 7. 12. 2023.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master Thesis

Geotourist valorization of the Vilinske jame cave in the Samoborsko gorje

Sara Josipović

Abstract: Nowadays, the pressure on natural space is increasing. Due to the rapidly growing anthropogenic impact on the environment, it is important to protect valuable landscapes and educate the population about the importance of their preservation. It is necessary to provide information about the significance of individual localities to general population in order to create ecological awareness. Precisely geotourism, as a form of tourism, focuses on educating visitors about localities of great geological and geomorphological significance. A popular form of interpretation in geotourism is educational boards that offer information about individual localities within the educational trail. In addition to the educational boards, a newer form of interpretation was presented through 3D modeling of the object. The Fairy Caves is a unique cave created in tufa in the Samoborsko gorje. The Vilinske jame (Fairy Caves) educational trail provides geological, geomorphological and historical information about the localities. The designed educational trail contains educational boards in Croatian and English with available access to the online map of the educational trail.

58 pages, 47 figures, 3 tables, 64 references; original in Croatian

Keywords: geotourism, geosite, Fairy Caves, tufa, educational trail, 3D modeling

Supervisor: Nenad Buzjak, PhD, Full Professor

Reviewers: Nenad Buzjak, PhD, Full Professor
Aleksandar Toskić, PhD, Full Professor
Ivan Šulc, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 09/01/2023

Thesis accepted: 07/12/2023

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Cilj istraživanja	1
2. Dosadašnja istraživanja	2
3. Metode rada.....	3
4. Prostorni obuhvat.....	5
5. Geoturizam	6
5.1. Interpretacija u geoturizmu	7
5.1.1. Poučne staze i poučne ploče.....	8
5.1.2. 3D Modeliranje kao novi oblik interpretacije	11
6. Prirodna obilježja krajobraza	14
6.1. Krajobrazna raznolikost	14
6.2. Georaznolikost	15
6.2.1. Geološke značajke prostora.....	15
6.2.2. Geomorfološke značajke prostora.....	17
6.2.2.1. Morfometrijska obilježja.....	17
6.2.2.1.1. Hipsometrija	17
6.2.2.1.2. Nagib padina.....	20
6.2.2.1.3. Vertikalna raščlanjenost reljefa	22
6.2.2.1.4. Ekspozicija padina.....	23
6.2.2.2. Sedra	25
6.2.3. Pedološka obilježja.....	28
6.3. Zemljišni pokrov	29
6.4. Hidrološka obilježja	30
7. Rezultati	34
7.1. Idejni projekt nove poučne staze „Vilinske jame“	34

7.1.1.	Predložene poučne ploče	39
7.1.1.1.	Vilinske jame	41
7.1.1.1.1.	Antropogeni utjecaj u Vilinskim jamama.....	47
7.1.1.2.	Sedreni slap.....	48
7.1.1.3.	Sedreni mlin.....	49
7.1.1.4.	Kuća od sedre.....	50
7.1.1.5.	Jaruga	51
7.1.1.6.	Izvor	52
7.1.1.7.	Puženje.....	53
7.2.	Primjeri interpretacije s 3D modelima	54
8.	Zaključak	58
	Literatura i izvori.....	59
	Prilozi.....	VII

1. Uvod

Uz biološku raznolikost, georaznolikost često ostaje zapostavljena pri interpretaciji značajnih lokaliteta vrijednih zaštite. Georaznolikost obuhvaća ukupnu geološku, pedološku i geomorfološku raznolikost prostora i njihov međusoban odnos (Gray, 2013). Promicanje georaznolikosti posjećivanjem i interpretacijom prirodnih krajobraza je geoturizam (Dowling i Newsome, 2006). Geoturizam je oblik turizma koji teži interpretaciji prostora i promicanju njegova očuvanja. Poučne staze predstavljaju sve popularniji oblik interpretacije u geoturizmu gdje se posjetitelji najčešće educiraju samostalno kroz poučne ploče. Danas sve više ljudi traži odmor i rekreaciju u prirodnim krajobrazima, a poučna staza je idealan način za upoznavanje s okolnim prostorom i očuvanjem istog.

Vilinske jame vrijedan su i jedinstven lokalitet Samoborskog gorja. Ovo je jedna od rijetkih špilja na Samoborskom gorju nastala u sedri. Kako bi se sedra mogla taložiti potrebni su specifični uvjeti, zato je ovaj tip stijene rijedak u svijetu. Potreban je vodeni tok s odgovarajućim uvjetima za otapanje kalcijevog karbonata, njegov transport u otopljenom obliku do mjesta gdje će otplinjavanje ugljikovog dioksida iz otopine biti moguće (Pavletić, 1960). Ono omogućava taloženje kalcita iz otopine. Veliku ulogu u taloženju sedre ima i vegetacija koja je zaslužna za zadržavanje sitnih kristala kalcita. Vilinske jame nalaze se kod zaseoka Tušini gdje se sedra može pronaći na više lokacija. Ova špilja pretrpjela je velik antropogeni utjecaj kao što je trganje siga, šaranje zidova i odlaganje otpada. Špilja je ipak još uvijek estetski privlačna i uz osmišljavanje dobre poučne staze može postati dobar lokalitet za edukaciju posjetitelja o važnosti zaštite i očuvanja ovakvih lokaliteta. Osim estetskih i edukativnih vrijednosti, špilja je lako dostupna posjetiteljima što je vrlo bitno pri stvaranju poučne staze.

Ovaj diplomski rad obuhvaća izradu idejnog prijedloga poučne staze „Vilinske jame“ koja promovira i interpretira značajke georaznolikosti, krajobraza i tradicionalnog načina života lokalnog stanovništva. U radu je smišljen cijeli poučni sadržaj u obliku poučnih ploča te je predstavljen nov oblik interpretacije kroz 3D modeliranje.

1.1. Cilj istraživanja

Vilinske jame vrijedan su i jedinstven lokalitet koji se devastira i čije vrijednosti nisu dovoljno prepoznate i iskorištene. Cilj diplomskog rada je osmisliti poučnu stazu koja uključuje Vilinske

jame te osmisлити poučni sadržaj i razraditi mogućnosti interpretacije lokacije Vilinske jame kao i cijelog područja predložene poučne staze. Svrha idejnog projekta predložene poučne staze je:

- educirati posjetitelje o važnosti očuvanja georaznolikosti;
- očuvanje izvornih geoloških, geomorfoloških i krajobraznih vrijednosti prostora;
- promocija geoturizma i novih oblika interpretacije na Samoborskom gorju.

2. Dosadašnja istraživanja

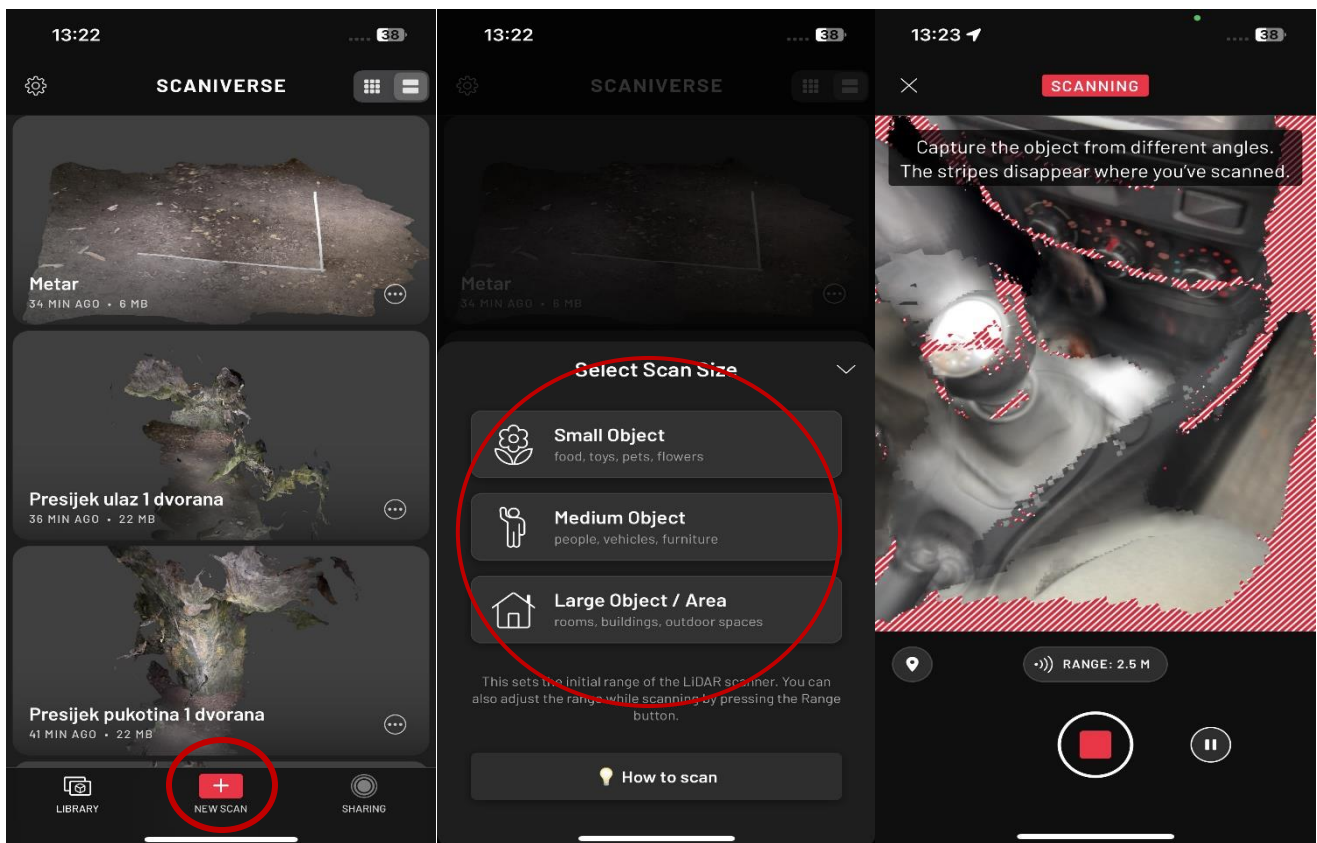
Vilinske jame samo je jedna od nekoliko špilja nastalih taloženjem sedre na području Samoborskog gorja. Međutim ona je jedina ovakva špilja koja je obrađena u literaturi na ovom području. Vilinske jame prvi puta opisao je Hirc početkom 20. st. u članku *Raznice. Zanimljive špilje* (Hirc, 1902). On spominje ime Viline jame i Žutu peć kao najveći dio ove špilje. Hirc (1902) spominje, a Lang (1915) opisuje priču o vilama koje su boravile u Vilinskoj jami, po čemu je špilja i dobila ime: „Vile su lijepe mlade ženske kao djevojke s dugim krasnim vlasima i u bijelom ruhu. Danas ih nema više nigdje u našoj okolini; ali nekoć ih je bilo. Prebivale su u Vilinskoj jami“ (Lang, 1915, 916). Špilja je u 20. stoljeću bila više puta spominjana u literaturi. Marjanac (1971), Reizer (1911) i Flašar (1938) u svojim radovima opisuju dimenzije špilje te spominju kako su stijene špilje presvučene sigama. Flašar (1938) u svome radu *Markiranim planinarskim putevima i stazama kroz Samoborsko gorje* još spominje teoriju o tome kako postoji više, dubljih dijelova špilje do kojih bi se moralo kopati. Ova teorija još uvijek nije dokazana. Najopsežniji opis špilje dao je Poljak (1933) koji spominje kako špilja nije nastala kao i ostale špilje u okolini uz pomoć tektonike, već je nastala taloženjem sedre. U svom članku *Nekoje pećine Zagrebačke i Samoborske gore* detaljno je opisao nastanak špilje od samog taloženja sedre do promjene glavnog toka i početka taloženja siga. Također, Poljak (1933) je detaljno opisao dimenzije i vrste stijena i siga sve tri dvorane, napravljen je tlocrt i profil špilje te fotografije. Nakon 20. stoljeća Vilinske jame ne spominju se toliko u literaturi, a jedan primjer njihova opisa u novije vrijeme je rad *Speleološke pojave u parku prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“* (Buzjak, 2002). U radu se spominju dosadašnja istraživanja te ugroženost špilje od raspadanja koje uzrokuju atmosferski procesi i korijenje vegetacije.

3. Metode rada

Istraživanje je provedeno kombinacijom kabinetskog i terenskog rada. Kabinetski rad obuhvaćao je prikupljanje i analizu podataka. Podaci su prikupljeni iz stručne literature i izvora. Analiza podataka odrađena je u programu *ArcGIS 10.5* tvrtke *ESRI*, izuzev grafikona izrađenih u programu *Microsoft Excel*. Područje istraživanja određivalo se sukladno granicama drenažnih bazena koje su dobivene uz pomoć raznih ArcGIS alata. Prvi korišten alat bio je *Fill* koji ispunjava nepravilnosti unutar reljefa, zatim je korišten *Flow direction* koji određuje smjer protoka iz svake ćelije u susjednu ćeliju. Zatim su pomoću dobivenog rastera smjera protoka s alatom *Basin* kreirane granice drenažnih bazena. Morfometrijska analiza uključuje analizu hipsometrije, nagiba padina, vertikalne raščlanjenosti i ekspozicije padina istraživanog područja pomoću odgovarajućih morfometrijskih analiza i karata. Morfometrijska i hidrološka analiza provedene su na digitalnom modelu reljefa rezolucije 5 x 5 metara *Copernicus Land Monitoring Service*-a. Analiza drenažnih bazena uključivala je prikazivanje drenažne mreže prema Strahlerovoj (1957) klasifikaciji te analizu gustoće drenažne mreže unutar 1 km². Analiza gustoće reljefnih oblika određena je brojem reljefnih oblika unutar ćelije 200 x 200 metara. Reljefni oblici determinirani su pomoću topografske karte 1:25000 preuzete sa stranice Geoportal DGU. Podaci 3D modela dobiveni aplikacijom *Scaniverse* na iPhone 13 Pro, obrađeni su programom *CloudCompare*. Ovaj program omogućuje računanja raznih parametara 3D modela, poput računanje površine, visine, udaljenosti, izrade tlocrta, profila i slično. *CloudCompare* radi s dva tipa podataka: s oblacima točaka i mrežama trokuta (*mesh*).

Terenski rad odrađen je 31. ožujka 2023. i 23. rujna 2023. godine. Prvim terenskim radom prijedena je i snimljena trasa predložene poučne staze, izvedena je inventarizacija geomorfoloških oblika uz stazu te je prikupljena fotodokumentacija. Podaci s terenskog rada prikupljeni su aplikacijom *LocusMap* koja omogućuje snimanje prijedene rute, snimanje i opis georeferenciranih fotografija te izvoz prikupljenih podataka. Prikupljeni podaci su obrađeni u programu *ArcGIS 10.5*. Početna i završna točka terenskog obilaska i snimanja rute bila je u zaseoku Tušini. Uz prijedenu rutu bilježeni su reljefni oblici, atraktivna područja, građevine izgrađene od sedre i ostale pojave koje bi mogle poslužiti za edukaciju i privlačenje posjetitelja. Drugim terenskim radom posjećene su Vilinske jame s ciljem 3D snimanja pojedinih dijelova špilje. Za 3D skeniranje špilje korištena je aplikacija *Scaniverse* koja je dostupna samo na iPhone mobilnim uređajima. *Scaniverse* stvara 3D objekte kombinacijom korištenja LiDAR-a i fotogrametrije. LiDAR radi na principu emitiranja laserske zrake te računanjem vremena

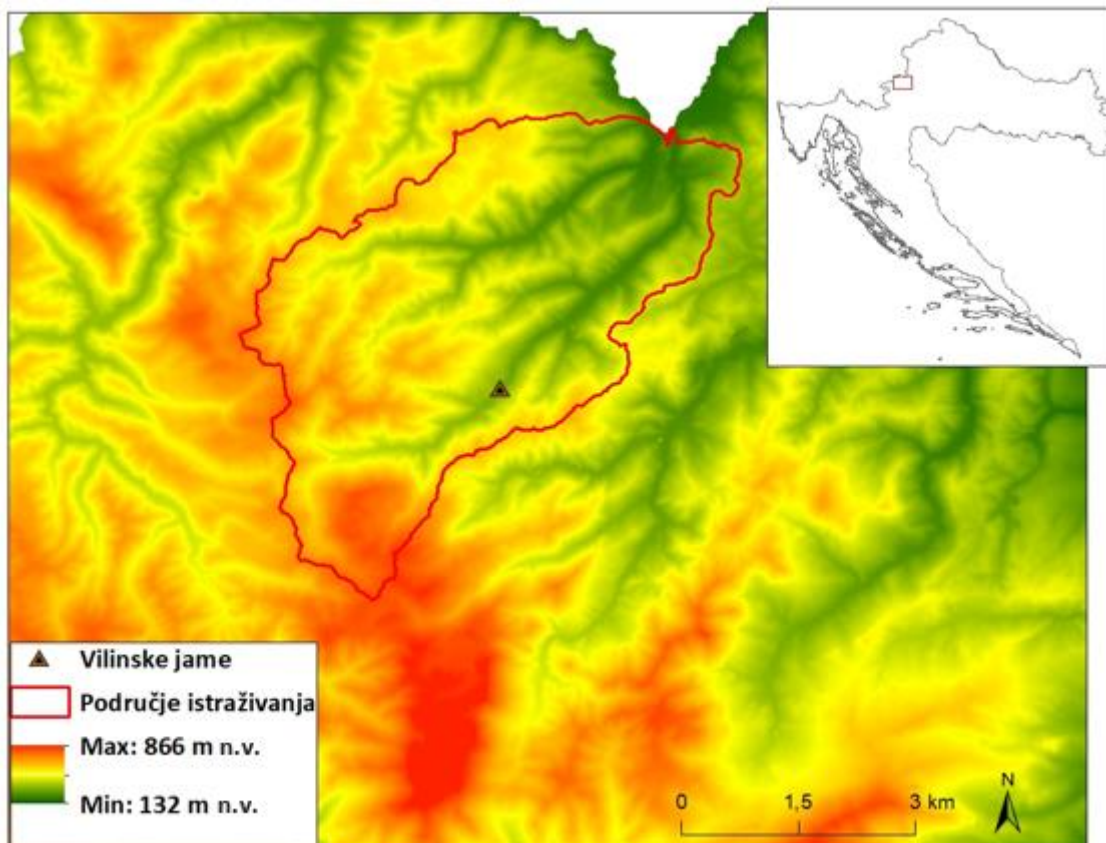
potrebnog da se svjetlo odbije od površine i vrati u skener. Tako LiDAR računa udaljenosti pojedine točke te snimanjem iz različitih kuteva stvara geometriju. Fotogrametrija je tehnika stvaranja realističnih 3D oblika snimanjem fotografija te tako bilježi boju i daje teksturu objektu. Kombinacijom ove dvije metode dobivaju se vrlo precizni i detaljni fotorealistični 3D snimci pojedinih objekata. U špilji je snimljeno nekoliko speleoloških oblika te tlo, dijelovi zidova i stropa špilje kako bi se mogao napraviti tlocrt i nekoliko poprečnih presjeka. Aplikacija se koristi tako da se u početnom izborniku odabere opcija *New scan* kojom se snima novi oblak točaka s fotografijama. Zatim se odabire domet skeniranja koji iznosi najviše 5 metara. Može se odabrati mali, srednji ili veliki objekt skeniranja (*small, medium i large*) kako bi se izbjeglo hvatanje nepotrebne pozadine unutar 3D modela. Nakon odabira započinje skeniranje. Prilikom skeniranja na ekranu će biti prikazane crveno-bijele površine koje predstavljaju područja koja skener nije dobro uhvatio te je potrebno izmicati kameru kako bi svi dijelovi bili skenirani (Sl. 1). Za izradu audio-vizualnog primjera interpretacije snimljen je 3D model u pokretu, a video je kasnije uređen te mu je dodan tonski zapis u mobilnoj aplikaciji *YouCut-Video Editor*.



Sl. 1. Scaniverse: Početni zaslon s funkcijama (lijevo); Odabir veličine dometa/objekta (sredina); Početak skeniranja (desno).

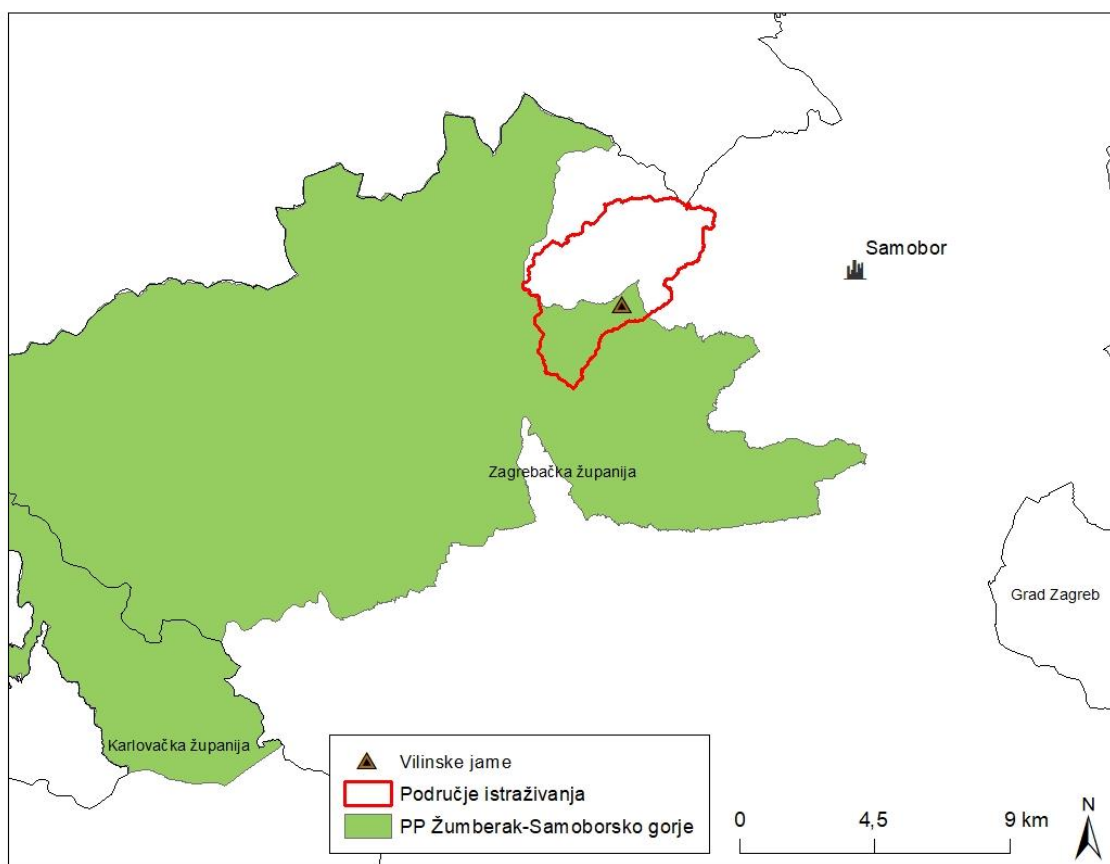
4. Prostorni obuhvat

Vilinske jame nalaze se na sjeverozapadu Republike Hrvatske, na Samoborskom gorju kod zaseoka Tušini (Sl. 2). Nalaze se u dolini Breganice na strmoj lijevoj obali, 15 metara iznad samog potoka (Poljak, 1933). Vilinske jame nalaze se i unutar Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje, kao i dio istraživanog područja (Sl. 3).



Sl. 2. Prostorni obuhvat Vilinskih jama i istraživanog područja unutar Republike Hrvatske.

Istraživano područje odabrano je za analizu prostora koji okružuje Vilinske jame i za lakše određivanje najpovoljnije lokacije za potencijalnu poučnu stazu. Granice istraživanog područja određene su granicama drenažnih bazena u blizini Vilinskih jama. Ova metoda određivanja prostornog obuhvata odabrana je zato što odgovara fizičko-geografskim karakteristikama prostora. Tako se granice područja poklapaju s prirodnim cjelinama te padine, doline, grebeni i ostale reljefne cjeline ostaju u kontinuitetu uključeni u prostor. Granica istraživanog područja dobivena je povezivanjem dvaju drenažnih bazena potoka Breganica i Škrobotnik. Istraživano područje ima površinu 21 km² (Sl. 2).



Sl. 3. Prostorni obuhvat Vilinskih jama i istraživanog područja unutar PP Žumberak-Samoborsko gorje.

Vilinske jame i istraživano područje prema geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske (Bognar 2001), pripadaju makrogeomorfološkoj regiji *1.4. Gorsko-zavalsko područje SZ Hrvatske*. Nadalje, istraživano područje pripada mezogeomorfološkoj regiji *1.4.2. Gorski masiv Žumberačke gore s JI predgorskom stepenicom* te unutar njega subgeomorfološkoj regiji *1.4.2.1 Gorski masiv Žumberačke gore*.

5. Geoturizam

Geoturizam je oblik turizma, usmjeren na prirodni krajobraz, geologiju i geomorfologiju. Potiče posjećivanje geolokaliteta važnih za georaznolikost, te edukaciju o njihovoj važnosti i potrebi za zaštitom (Dowling i Newsome, 2006). Geolokaliteti su *in situ* pojave određene geološkim i geomorfološkim značajkama, vrlo visoke znanstvene i edukacijske vrijednosti (Brilha, 2016). Georaznolikost obuhvaća ukupnu geološku, pedološku i geomorfološku raznolikost krajobraza (Gray, 2013). Očuvanje georaznolikosti bitno je, ne samo zbog njenih ekoloških, krajobraznih,

edukativnih ili znanstvenih važnosti, već i zbog zaštite biosfere. Iako je danas veći naglasak na zaštiti biosfere, bez adekvatnog očuvanja georaznolikosti ni biološka raznolikost ne može biti očuvana. Jedan od načina zaštite, održivog korištenja i očuvanja georaznolikosti je upravo geoturizam. Posjećivanje atraktivnih prirodnih krajobraza i jedinstvenih reljefnih oblika postojalo je puno prije razvoja pojma geoturizam. Geoturizam, osim posjećivanja geolokaliteta, uključuje i shvaćanje važnosti i potrebe njihova očuvanja (Dowling, 2013). Gordon (2012) tvrdi kako ljudi kroz značajnija i nezaboravna iskustva više cijene svoje geonaslijeđe i prije će pomoći u održivom upravljanju njime. Upoznavanje i edukacija o geolokalitetima postiže se samostalnim posjetima geolokaliteta, vođenim turama, korištenjem poučnih staza i vidikovaca, obilascima posjetiteljskih centara i ostalim načinima samostalne ili stručne interpretacije (Dowling i Newsome, 2010).

5.1. Interpretacija u geoturizmu

Geoturizam se ne bazira na estetskoj privlačnosti prostora, već na edukaciji i razumijevanju, stoga je u geoturizmu ključna interpretacija. Interpretacija predstavlja učinkovito objašnjavanje promatranog sadržaja uz pomoć vodiča ili samostalno uz poučne ploče, audio sadržaje, brošure i slično (Crofts i dr., 2020). Sadržaj može biti interpretiran od strane stručne osobe posjetiteljima ili interpretacija može biti samostalna. Samostalna interpretacija najčešće se provodi izložbama, publikacijama, audio-vizualnim sadržajima, poučnim stazama, plakatima, kroz radio, internetske stranice i slično. Izravna interpretacija od strane stručne osobe najčešće se provodi kroz razna predavanja, vođene ture, radionice, informacije pružene u posjetiteljskim centrima i slično (Bunić, 2006). Prema Tildenu (1957) pri planiranju interpretacije treba se držati nekoliko osnovnih principa:

- Interpretacija nudi prosvjetljenje i otkrivenje pružanjem informacija;
- Interpretacija kombinira različita znanja i vještine, kao što su znanstvena, povijesna i društvena;
- Glavni cilj interpretacije nije poučavanje, već provokacija;
- Objekt koji se interpretira mora biti povezan s zajedničkom temom interpretacije;
- Interpretacija za djecu ne smije biti samo pojednostavljena verzija interpretacije razvijene za odrasle.

Postoje određene prepreke koje se javljaju kod izravne interpretacije geoloških i geomorfoloških činjenica neovisno o sredstvima interpretacije i vrsti posjetitelja s kojom količinom detalja interpretirati pojedine pojave, kolika je sposobnost posjetitelja za pamćenjem i shvaćanjem interpretiranog sadržaja i kako komunicirati na najučinkovitiji način? Uspješnost izravne interpretacije najviše ovisi o sposobnostima interpretatora da zainteresira posjetitelje i dobro prenese važan sadržaj (Dowling i Newsome, 2006). S druge strane kod samostalne interpretacije interpretirani sadržaj je isti i uvijek dostupan za svake posjetitelje te posjetitelji mogu odlučiti koliko interpretiranog sadržaja žele proučiti. U geoturizmu se kao najčešći oblik interpretacije koriste poučne ploče i s njima povezano poučne staze.

5.1.1. Poučne staze i poučne ploče

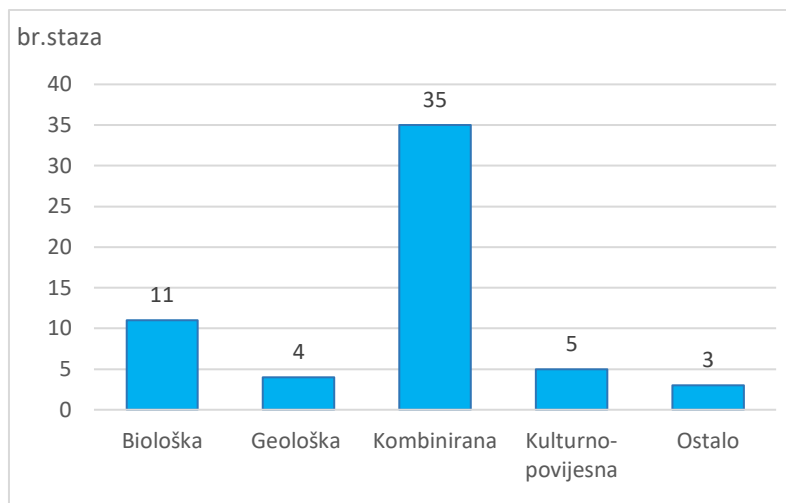
Poučne staze jedan su od najčešćih oblika interpretacije u geoturizmu, gdje se kroz različite medije, vođene ili samostalne ture prenose informacije o geolokalitetima (Marion i Reid, 2007). Glavni cilj ovih staza je prijenos informacija, ukazivanje na posebnosti krajolika i formiranje ekološke svijesti, najčešće uz poučne ploče koje su postavljene duž staze. Ove staze imaju ogroman potencijal za pomoć u raspodjeli opterećenja posjećenosti na lokalitete, prostornoj raspodjeli prihoda od turizma, integraciji manje poznatih mjesta unutar postojećeg turističkog proizvoda, podizanju svijesti odredišta, produljenju boravka posjetitelja, poticanju turista na potrošnju veće količine novaca na destinacijama, privlačenju novih posjetitelja, nadahnuću novih posjetitelja da se vrate i širenju održivog posjeta (Marion i Reid, 2007). Poželjno je da poučna staza bude atraktivna i da privlači što više posjetitelja. To se može postići povezivanjem većeg broja atrakcija i razmišljanjem o dostupnosti, sadržajima i obilježjima poučne staze. Postoji nekoliko tipova poučnih staza s različitim načinima interpretacije (Tab. 1.). Najčešće poučne staze u geoturizmu su tradicionalne staze. Interaktivne staze su najviše prikladne za djecu jer uključuju motoriku i osjete, dok se otkrivajuće staze temelje na samostalnom otkrivanju informacija. Bosonoge staze novi su oblik staza koje se mogu uključiti u interpretacijske staze, a prvenstveno su usmjerene na osjetilni doživljaj raznih tipova tla i stijena (Stolz i Megerle, 2022).

Tab. 1. Tipovi poučnih staza s dominantnim načinima interpretacije

Tip staze	Dominantni načini interpretacije
Tradicionalna	Poučne ploče
Interaktivna	Instalacije
	Interaktivne ploče
	Verbalna interpretacija
Otkrivajuća	Brošure
	Digitalna interpretacija
Bosonoga	Osjetilno iskustvo

Izvor podataka: Stolz i Megerle, 2022.

Osnovni oblici poučnih staza su kružni, linearni i oblik osmice (Buzjak, 2021). Linearni oblik odnosi se na stazu gdje posjetitelji najčešće obilaze rutu dva puta, ako se drugačije ne organizira prijevoz. Kod linijskih staza često dolazi do mimoilaženja posjetitelja što predstavlja problem na manjim prostorima te se zbog toga mogu stvoriti gužve. Ovakav oblik staze nije poželjan zbog njegove monotonije te se izbjegava. Linearne poučne staze stvaraju se samo u situacijama gdje nije moguće napraviti kružnu stazu. Kružna staza obuhvaća istu početnu i završnu točku i prelazak staze u jednom smjeru. Staza u obliku osmice predstavlja u stvari dvije povezane kružne staze. Prednost ovog oblika je taj što posjetitelji mogu posjetiti samo jedan krug u slučaju da ne žele obići cijelu stazu. Kružna staza i staza oblika osmice preferiraju se kod planiranja poučne staze. Duljina i težina staze vrlo su bitni parametri zato što određuju koja skupina posjetitelja može posjetiti stazu. Optimalna duljina staze je do 3 kilometra, a duže staze se preporuča podijeliti na više ruta kako bi svi posjetitelji mogli posjetiti barem jednu rutu. Važno je da duljina staze bude proporcionalna s količinom interpretiranog sadržaja. Težina staze ovisi o visinskoj razlici, karakteristikama terena ali i o klimatskim obilježjima (Buzjak, 2021). Poučne staze mogu pružati informacije vezane za jednu određenu temu ili nekoliko tema. U Hrvatskoj trenutačno postoje 94 poučne staze od kojih se samo četiri nalaze na području Javne ustanove Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje. Od 58 poučnih staza u Hrvatskoj, za koje postoje detaljni podaci, najviše postoji kombiniranih koji obuhvaćaju više tema, a od staza jedne tematike najčešće su one biološke (Parkovi Hrvatske, 2023) (Sl. 4). Stolz i Megerle (2022) naglašavaju kako su tematske staze puno učinkovitije jer privlače više ciljanih posjetitelja te posjetitelji bolje pamte interpretiran i bitan sadržaj staze od općih činjenica.



Sl. 4. Tematika poučnih staza u Hrvatskoj.

Izvor podataka: Parkovi Hrvatske, 2023.

Poučne ploče sadrže informacije o zanimljivim lokalitetima i pojavama uz stazu. Prednost poučnih ploča je ta što uvijek pruža informacije posjetiteljima te na jednostavan način interpretiraju značajke krajobraza. Poučne ploče mogu privući posjetitelje, ali i uključiti ih u proces edukacije. Primaran cilj većine posjetitelja poučnih staza je odmor i rekreacija u prirodi, učenja novih informacija je često za posjetitelje dodatan sadržaj (Dowling i Newsome, 2006). iz ovog razloga potrebno je postaviti kvalitetne poučne ploče koje će zainteresirati posjetitelje. Kako bi posjetitelji ostali zainteresirani za sadržaj poučne ploče, poželjno je da informacije budu sažete te da ploča sadrži karte i fotografije. Postoje određena pravila kojima se može postići poučna ploča koja će biti zanimljiva posjetiteljima. Jedno takvo pravilo je 3-30-3, gdje se naglašava kako naslov ploče mora biti jasan i kratak te za njegovo čitanje mora biti dovoljno 3 sekunde, za čitanje dijela teksta koji sadrži glavnu poantu ploče treba biti dovoljno 30 sekundi, za ostale informacije na ploči predviđeno je čitanje od 3 minute (Buzjak, 2021). Prema istraživanjima većina posjetitelja ne ostane niti jednu minutu ispred poučnih ploča (Stolz i Megerle, 2022). Zbog toga su privlačan naslov i glavna poruka vrlo bitni kod privlačenja posjetitelja za čitanje ostatka teksta poučne ploče i njihove veće uključenosti. Ploča ne smije imati previše teksta jer to može odbiti posjetitelje. Preporuča se primjena pravila trećina gdje ploča ima podjednaku količinu teksta, slika i praznina kako bi ploča bila vizualno i sadržajno privlačna posjetiteljima. Stvaranja tijekom misli bitno je kod stvaranja poučnih ploča, a postiže se dodavanjem grafičkih i tekstualnih elementa različitih veličina i boja te planskim rasporedom teksta i slika kako bi se pažnja usmjerila prvo na važnije elemente ploče (Buzjak, 2021). Interpretacijske ploče dijele se na kose i uspravne te vodoravne i okomite, a četiri propisane dimenzije ploča su: 90x120cm, 60x90cm, 30x60cm i 20x30 cm. Tekst poučnih ploča mora biti

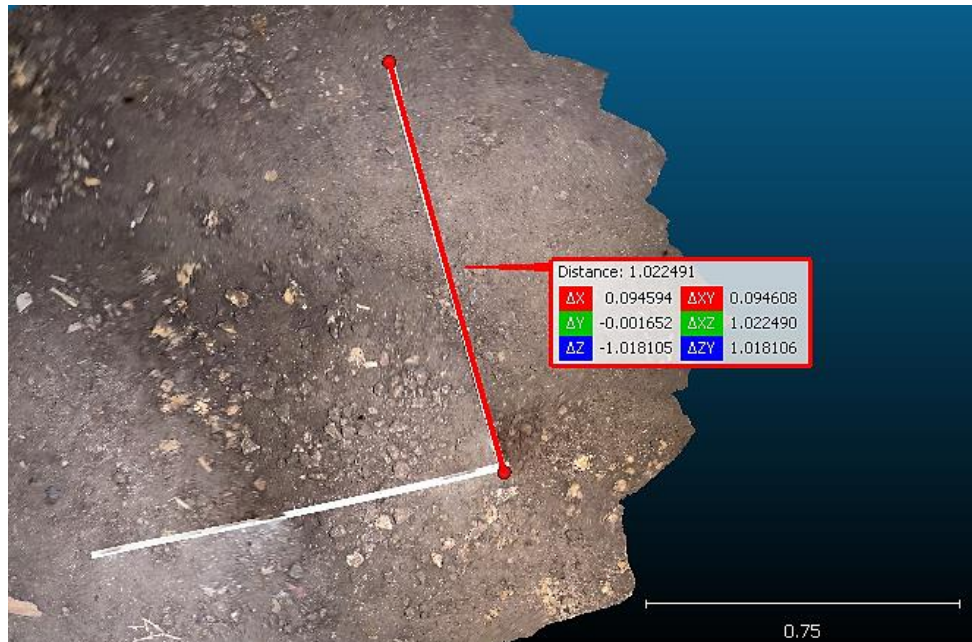
napisan i na hrvatskom i na engleskom jeziku, a optimalan broj fotografija je 1-5 (Pravilnik o jedinstvenom vizualnom identitetu zaštite prirode u Republici Hrvatskoj, 2020).

5.1.2. 3D Modeliranje kao novi oblik interpretacije

3D modeliranje predstavlja kreiranje površina s trodimenzionalnim obilježjima (Baričević i Žižić, 2011). U današnje vrijeme, zbog brzog i naglog rasta dostupnih metoda snimanja i kvalitete računalne vizualizacije, digitalni prikaz 3D modela naširoko je korišten. 3D modeli imaju široku primjenu od virtualne realnosti i video produkcije, do medicine i arhitekture. Za prikaz objekta u trećoj dimenziji koriste se dva oblika podataka, a to su oblaci točaka (*point cloud*) i 3D model (*mesh*). Oblak točaka sastavljen je od velikog broja točaka gdje je položaj svake točke u prostoru, odnosno modelu prostora definirana koordinatama x, y i z. Oblaci točaka mogu sadržavati informacije o boji, intenzitetu i klasifikaciji objekta, međutim ovakav prikaz nema površinu niti teksturu. Ovakav oblik podataka nije toliko učinkovit za vizualizaciju, ali je zato vrlo učinkovit za obradu i računanje morfometrijskih odnosa. *Mesh* ili 3D model predstavlja kontinuirani oblik koji je prikazan plohamu među točkama s poznatim koordinatama. 3D model prikazuje kontinuiranu površinu i teksturu pa je vrlo pogodan za vizualizaciju objekta (Bassier i dr., 2020).

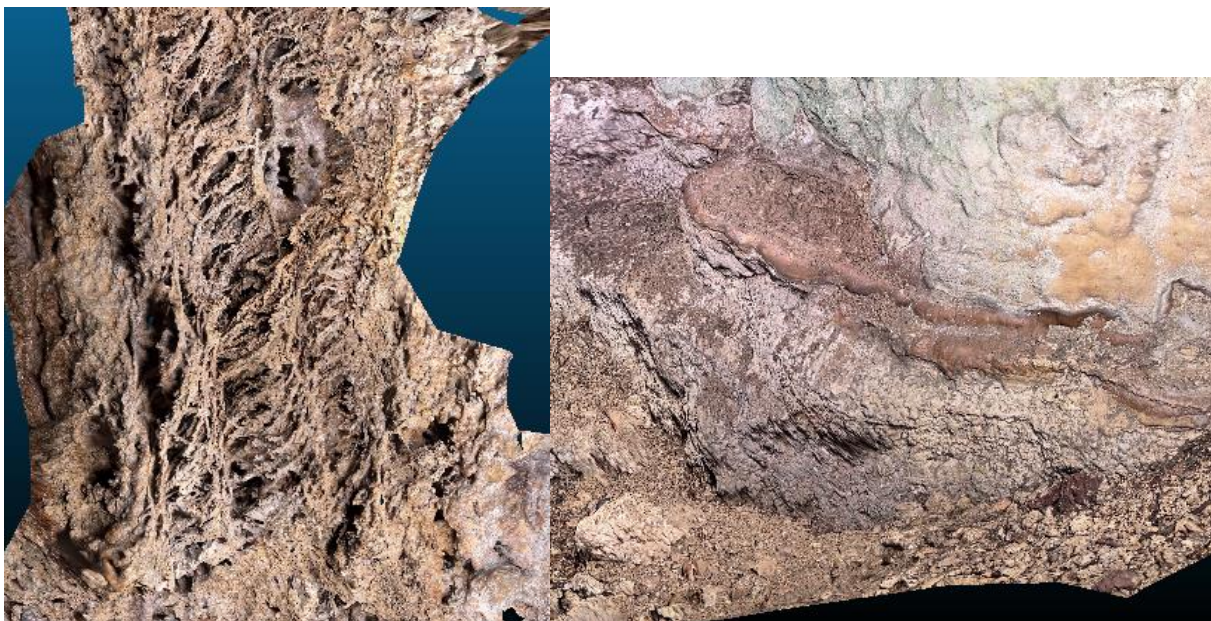
Prikupljanje podataka oblaka točaka izvodi se metodama daljinskog istraživanja. Jedna od metoda daljinskog istraživanja je i LiDAR ("Light Detection and Ranging") koja omogućuje stvaranje 3D modela visoke rezolucije laserskim skeniranjem. LiDAR mjeri udaljenosti računanjem vremena potrebnog da se emitirani signal iz laserskog odašiljača odbije od objekta i vrati u laserski prijamnik (Lohani i Ghosh, 2017). Lasersko skeniranje može se provesti iz zrakoplova, bespilotnih letjelica, vozila u pokretu ili kao stacionarno terestričko snimanje. Posljednjih godina LiDAR skeneri ugrađeni su u brojne uređaje što je omogućilo njegovu veću mobilnost i dostupnost (Błaszczak-Bąk i dr., 2023). Apple Inc. je 2020. godine predstavio iPhone 12 Pro i iPad 2020 Pro kao prvi pametan telefon i tablet opremljen LiDAR senzorom. Mobilni LiDAR dostupniji je većem broju korisnika i jeftiniji od dosadašnjih LiDAR metoda skeniranja. Također, vremenski je učinkovitiji i može skenirati teže dostupna mjesta. Međutim, mobilni LiDAR može kvalitetno skenirati samo male i srednje objekte (Luetzenburg i dr., 2021). Za dobivanje 3D modela u ovome radu korišten je iPhone 13 Pro, koji također dolazi s ugrađenim LiDAR senzorom. Od brojnih mobilnih aplikacija koje koriste LiDAR za 3D skeniranje, odabrana je aplikacija *Scaniverse*. Ona osim LiDAR-a koristi i kameru. LiDAR mjerenjima iz

različitih kutova konstruira geometriju objekta, dok kamera prikuplja RGB podatke i kreira teksturu objekta. Moguće je odrediti domet skeniranja u aplikaciji na maksimalno 5 metara. Aplikacija omogućuje prikaz 3D objekata kroz oblak točaka ili kao *mesh*. Skenirani model može se urediti unutar aplikacije ili izvesti i obraditi u drugim aplikacijama. *Scaniverse* izvozi modele visoke razlučivosti u sljedećim formatima: FBX, OBJ, GLB, USDZ, STL, PLY i LAS (Łabędź i dr., 2022). U ovome radu podaci su izvezeni u PLY, LAS i OBJ formatima. LAS formati koriste se za pohranjivanje oblaka točaka, OBJ za pohranu *mesh*-a, ali može prikazivati i oblake točaka, a PLY može jednako pohraniti i prikazati oblake točaka i *mesh*. Objekti u 3D prikazu mogu se obrađivati i iz njih se mogu dobiti brojni podaci. Dobiveni podaci mogu se koristiti u znanstvenim istraživanjima ali i za interpretaciju. Prilikom obrade i analize dobivenih modela u softveru *CloudCompare* napravljen je test koji će dokazati koliko su dobiveni podaci analiza točni. Na terenu, uz brojne speleološke oblike, skeniran je i drveni metar namješten na dužinu od jednog metra. Potom je u spomenutom softveru izračunata udaljenost između početne i završne točke na metru. Dobiven rezultat udaljenosti zapanjujuće je točan u usporedbi sa stvarnim stanjem te iznosi 1,02 metra (Sl. 5). Ovo dokazuje kako su sva računanja i analize s 3D modelima izrazito precizna i točna.



Sl. 5. 3D model metra s izračunatom udaljenosti u CloudCompare-u.

Špilje je, kao i ostale speleološke objekte, iznimno teško kvalitetno interpretirati zbog njihovih kompleksnih dimenzija i oblika. Špilje sadrže mnogo speleoloških oblika različita postanka, vrlo male površine i sitnih detalja koji su bitni za njihovu interpretaciju. Još jedan problem interpretacije unutar špilja je i nedostatak svjetla, teškoća kretanja i dolaska do određenih lokacija. Pojedine špilje nisu otvorene za javnost ili uređene za posjetitelje. One špilje koje su uređene za posjete često obuhvaćaju posjete samo jednog jako malog dijela špilje, dok je većina špilje i dalje nedostupna. Ovakvi problemi mogu se riješiti uz 3D modeliranje i vizualizaciju (Gallay i dr. 2015). 3D modelima mogu se prikazati cijele špilje, izraditi tlocrti, profili i presijeci te se mogu snimiti pojedini oblici i pojave. Ovakvi modeli pomogli bi u interpretaciji špilja zato što bi se kroz 3D modele mogli lakše uočiti detalji pojedinih speleoloških oblika, mogli bi se prikazati teško dostupni dijelovi špilje i interpretirati teško uočljivi detalji. Osim za špilje, skeniranje i 3D modeliranje reljefa i pojedinih reljefnih oblika je vrlo korisno u geomorfologiji. Nakon izrade modela oni se mogu uređivati i povezivati, mogu se računati dimenzije, udaljenosti, visine i ostali parametri. 3D modeli mogu vrlo dobro poslužiti i prilikom brojnih istraživanja, jer nude brojne izračune i vrlo dobar stvarni prikaz (Sl. 6). Prostor u tri dimenzije nudi realniju sliku stvarnosti stoga je jako dobar za promatranje promjena određenog prostora ili objekta.



Sl. 6. Fotografije 3D modela sedre (lijevo) i kaskade (desno).

6. Prirodna obilježja krajobraza

6.1. Krajobrazna raznolikost

"Krajobraz je dio zemljišta koji se razvija u vremenu pod utjecajem prirodnih procesa i čovjeka" (Council of Europe, 2023). Istraživano područje pripada u brdsko-gorski krajobrazni tip. Brdsko-gorski krajobrazni tip karakterizira najčešće šumski pokrov, izrazito raščlanjen reljef s izraženim vrhovima i duboko usječenim dolinama te brojni vodotoci (Bilušić Dumbović i dr., 2013). Krajobraz istraživanog područja može se odrediti kao kombinacija prirodnih, šumskih krajobraza, s mozaičkim tradicionalnim krajobrazima koji se sastoje od manjih ruralnih naselja, oranica, pašnjaka, vinograda i drugih antropogeno modificiranih površina (Sl. 7). Samoborsko gorje karakteriziraju manja ruralna naselja u kojima su se ljudi bavili tradicionalnom poljoprivredom. Danas je stanovništvo Samoborskog gorja malobrojno i uglavnom starije životne dobi te dolazi do smanjenja poljoprivrednih površina, što uzrokuje promjenu krajobraza ovog područja (Župančić, 1996). Malobrojna naselja, obradive površine, livade i pašnjaci napuštaju se, što dovodi do sukcesije šume i jednoličnosti krajobraza. Ipak, procijenjeno je kako su karakteristike brdsko-gorskog tipa krajobraza na području Samoborskog gorja dobro očuvane. Dobro očuvana priroda i povijest ovog kraja doprinijeli su visokim estetskim i ekološkim vrijednostima područja. Prirodne, povijesne i krajobrazne karakteristike istraživanog područja predstavljaju dobar resurs za turističke i edukacijske sadržaje (Bilušić Dumbović i dr., 2013). Unutar istraživanog područja postoji više seoskih naselja, a najveća su Beder s 68 stanovnika, Breganica s 59 i Višnjevec Podvrški s 30 stanovnika (Popis stanovništva, 2021). Ova naselja zadržala su svoj seoski karakter s kraja 19. i početka 20. stoljeća te se tako vrlo često može vidjeti tradicionalna drvena arhitektura, vrt u okućnici te razne kućne životinje. S druge strane, većih obradivih područja te pašnjaka i stoke nema u velikom broju. Brojne kuće u naseljima su napuštene, a stanovništvo je uglavnom starije životne dobi.



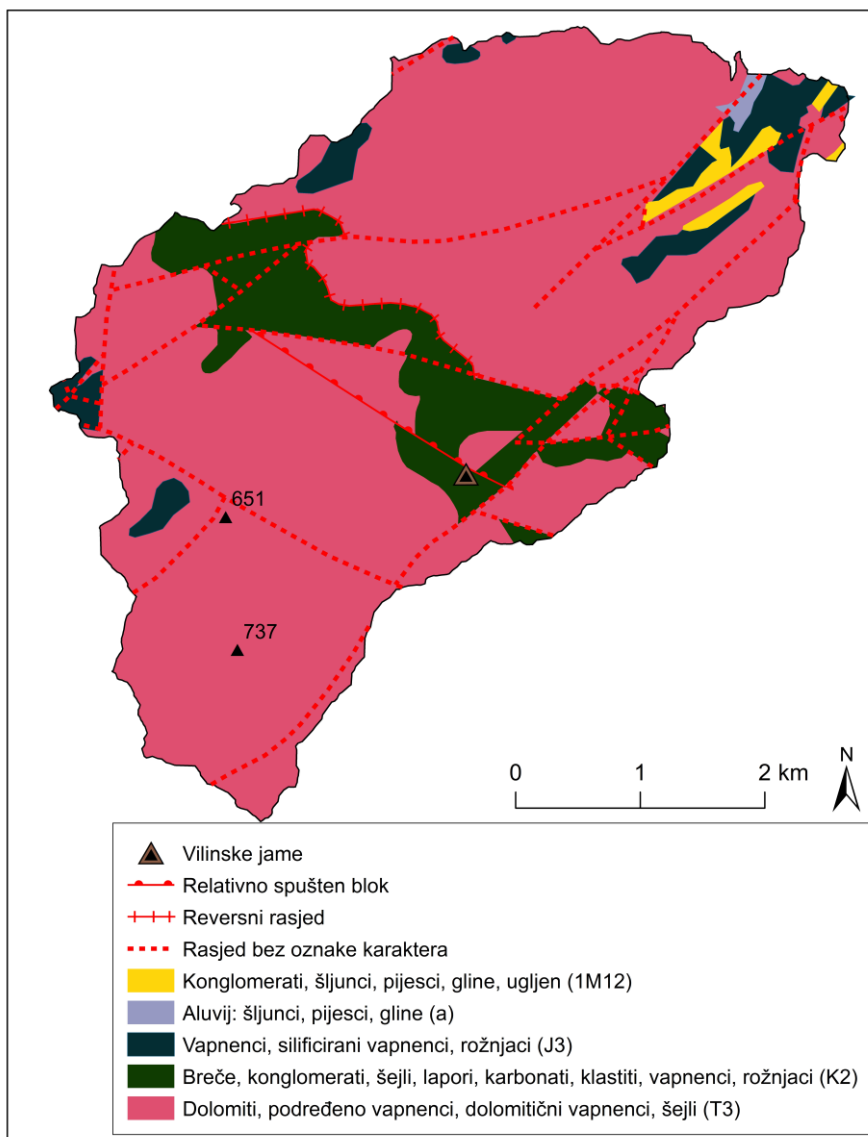
Sl. 7. Vizura krajobraza u blizini naselja Višnjevec Podvrški (lijevo) i Tušini (desno).

6.2. Georazolikost

6.2.1. Geološke značajke prostora

Unutar istraživanog područja najviše su rasprostranjene naslage trijasa koje zauzimaju čak 80,6% površine istraživanog područja (Sl. 8). Unutar šireg pojasa oko istraživačkog područja prisutne su naslage donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa, međutim unutar istraživanog područja prisutne su samo naslage gornjeg trijasa. Gornjotrijaske naslage (T_3), u kojima prevladavaju dolomiti, rasprostranjene su unutar cijelog istraživanog područja, osim na samom središnjem dijelu. Mlađi dio naslaga gornjeg trijasa, osim dolomita može se sastojati od vapnenaca i dolomitiziranih vapnenaca. Količine $CaCO_3$ nisu velike i u ovim naslagama najčešće ne prelaze 10%. Naslage malma (J_3) rasprostiru se na nekoliko manjih područja, a sastoje se od plitkovodnih vapnenaca i vapnenačkih breča. Sedimentna podloga unutar karbonatnog bazena bila je razarana strujama te je tako dolazilo do njihovog ponovnog pretaloživanja. Debljina slojeva varira od 5 do 10 centimetara (Brkić i Čakarun, 1998). Važne naslage unutar istraživanog područja su naslage iz gornje krede (K_2). To su najčešće breče, konglomerati, lapori i karbonatni klastiti. Breče i konglomerati nastali su taloženjem i litifikacijom trošina starijih stijena, dolomita i vapnenca, transgresijom na razvijen paleoreljef. Ove naslage su zbog

svog karbonatnog sastava ključne za taloženje sedre i samim time za postanak Vilinskih jama. Debljina gornjokrednih naslaga doseže najviše oko stotinu metara. Naslage donjeg helveta ($1M^{12}$) najčešće se sastoje od konglomerata koji su često slabo vezani, te se raspadaju u šljunak, pijesak i glinu. Aluvij (a) je predstavljen potočnim naslagama sastavljenim uglavnom od pijeska, te je vidljiv samo u većim potočnim dolinama. Maksimalna debljina potočnih aluvijalnih nanosa je 10 metara (Brkić i Čakarun, 1998). Izgled reljefa istraživanog područja djelom je uvjetovan položajem pružanja strukturnih elemenata. Strukture se na sjevernom djelu istraživanog područja pružaju u smjeru jugozapad-sjeveroistok, dok u južnom i središnjem dijelu postoji i pružanje zapad-istok. Unutar istraživanog područja nalaze se brojni kamenolomi iz koji je eksploatiran uglavnom dolomit. Dolomit je najčešće služio kao sirovina za daljnju preradu i proizvodnju betona i žbuka (Tomašić i Peh, 1992).



Sl. 8. Geološka karta istraživanog područja.

Izvor podataka: Šikić i dr., 1978.

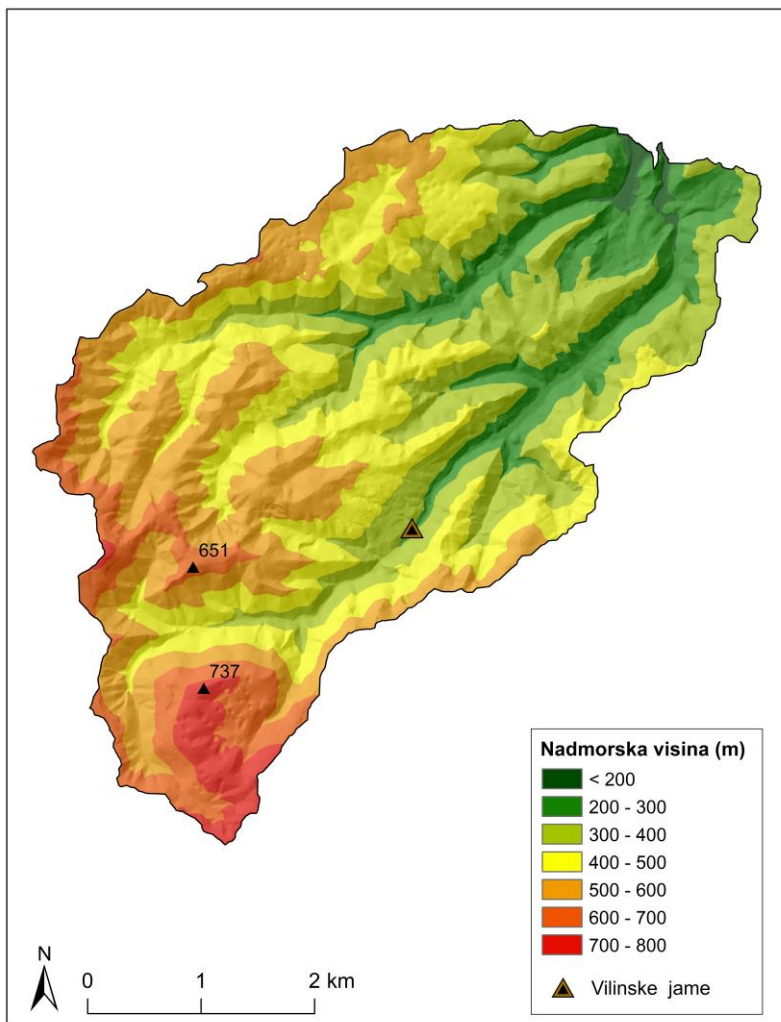
6.2.2. Geomorfološke značajke prostora

Istraživano područje nalazi se na Samoborskom gorju, koje je dio morfostrukture Žumberačkog gorja. Samoborsko gorje razlikuje se od Žumberka po svojoj visokoj raščlanjenosti reljefa s brojnim hrptovima i dolinama. Reljef istraživanog područja oblikovan je krškim, padinskim i fluvijalnim morfološkim procesima. Prevladava fluviodenudacijski tip reljefa, dok se fluviokrški i krški tipovi reljefa javljaju na manjim područjima. Krški oblici prevladavaju u krajnjem južnom te sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja. Fluviokrš se u Samoborskom gorju najviše javlja na dolomitnoj podlozi. Najveće područje fluviokrša na Samoborskom gorju nalazi se između gornjih tokova Bregane i Breganice, gdje se nalazi i područje istraživanja (Buzjak i dr., 2011). U nastavku rada će posebno biti obrađena sedra zbog njezine velike važnosti u kontekstu Vilinskih jama.

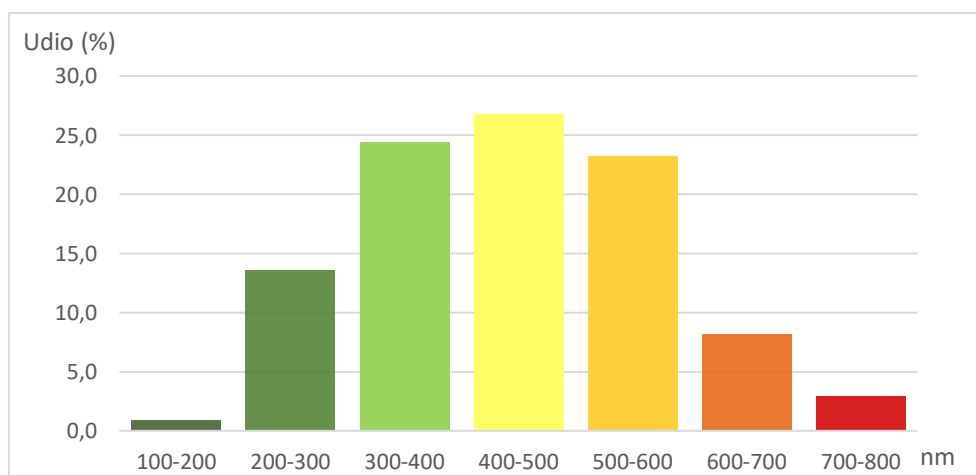
6.2.2.1. Morfometrijska obilježja

6.2.2.1.1. Hipsometrija

Područje istraživanja obuhvaća reljef visinskog raspona od 183 do 777 metara nadmorske visine. Najviši dijelovi nalaze se na jugozapadu područja, dok najniži dijelovi prevladavaju na sjeveroistoku (Sl. 9). Izdvajanjem najviših vrhova mogu se odrediti potencijalni vidikovci kao dio poučne staze. Istraživano područje može se podijeliti na dvije homogene cjeline. Jedna cjelina obuhvaća jug i sjeverozapad istraživanog područja kojeg karakteriziraju zaravni na većim visinama s velikom gustoćom ponikva. Druga cjelina obuhvaća središnji dio istraživanog područja pravca jugozapad-sjeveroistok. Reljef ove cjeline izrazito je raščlanjen s usječnim dolinama potoka Breganice i Škrobotnika te njihovim pritocima. Drugu cjelinu karakteriziraju linijski grebeni i vrhovi, a uz doline brojne usječene jaruge. Unutar istraživanog područja prevladavaju visine od 300 do 600 metara nadmorske visine (Sl. 10) što je pogodno kod planiranja lokacije poučne staze. Poučnu stazu pogodno je raditi na područjima relativno male visinske razlike, kako staza ne bi bila previše zahtjevna za pojedine posjetitelje.

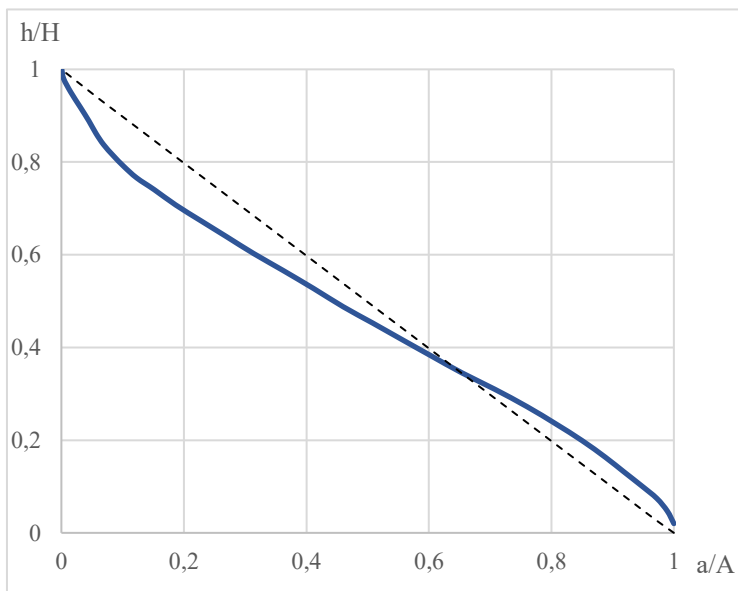


Sl. 9. Hipsometrijska karta istraživanog područja.



Sl. 10. Udio hipsometrijskih razreda u ukupnoj površini istraživanog područja.

Vrlo dobar pokazatelj razvoja reljefa je hipsometrijska krivulja, koja prikazuje odnos relativnih visina (h/H) i relativnih površina (a/A) drenažnog bazena (Sl. 11). Hipsometrijsku krivulju prvi puta opisao je Strahler (1952b) kao broj površina iznad ili ispod točke koja se nalazi na referentnoj nadmorskoj visini unutar drenažnog bazena. Relativna visina (h/H) računa se dijeljenjem razlike maksimalne i minimalne visine određene točke (h) sa ukupnom visinom drenažnog bazena (H), dok se relativna površina (a/A) računa dijeljenjem površine na visini (h) iznad određene točke (a) sa ukupnom površinom drenažnog bazena (A). Postoje tri oblika hipsometrijske krivulje, a to su *konveksni oblik* koji predstavlja mladi stadij razvoja reljefa, *konkavni* koji predstavlja završni stadij te krivulja u *s-obliku* koja predstavlja zreli stadij razvoja reljefa (Strahler, 1952b). Hipsometrijska krivulja istraživanog područja odgovara s-obliku krivulje što označava da se istraživano područje nalazi u zreлом stadiju razvoja reljefa.



Sl. 11. Hipsometrijska krivulja istraživanog područja.

6.2.2.1.2. Nagib padina

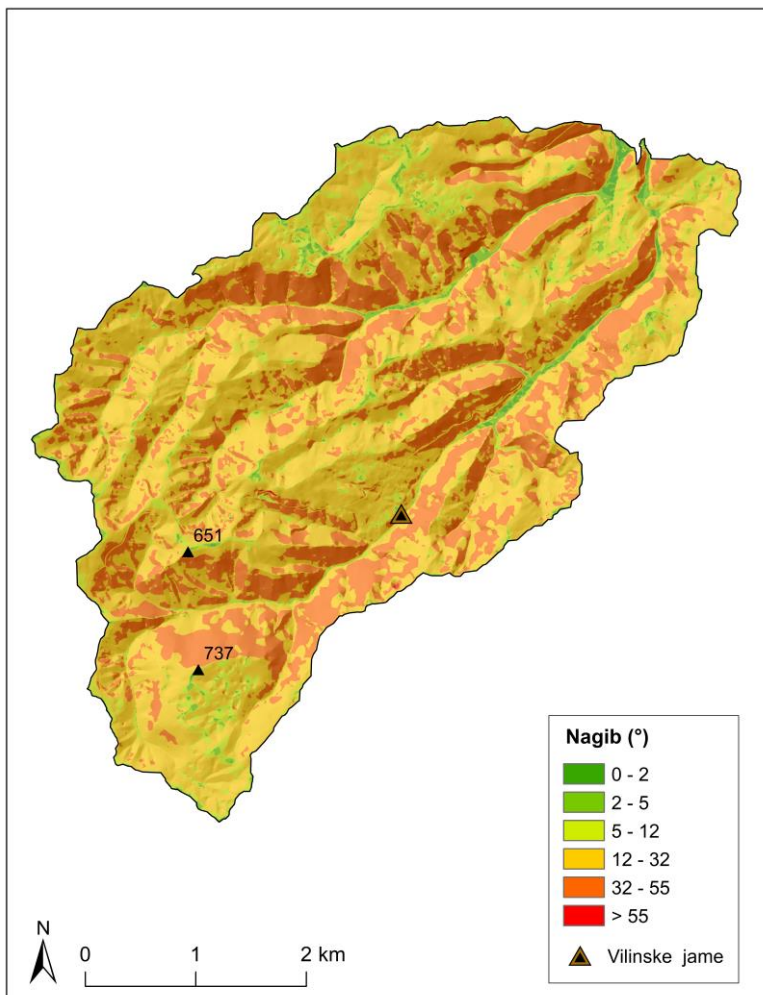
Unutar istraživanih područja nagibi padina kreću se od 0° do 67° (Sl. 12). Za što bolji prikaz utjecaja nagiba na morfološke procese i reljefne oblike odabrana je klasifikacija prema Demeku (1972) (Tab.2).

Tab. 2. Geomorfološka klasifikacija nagiba padina

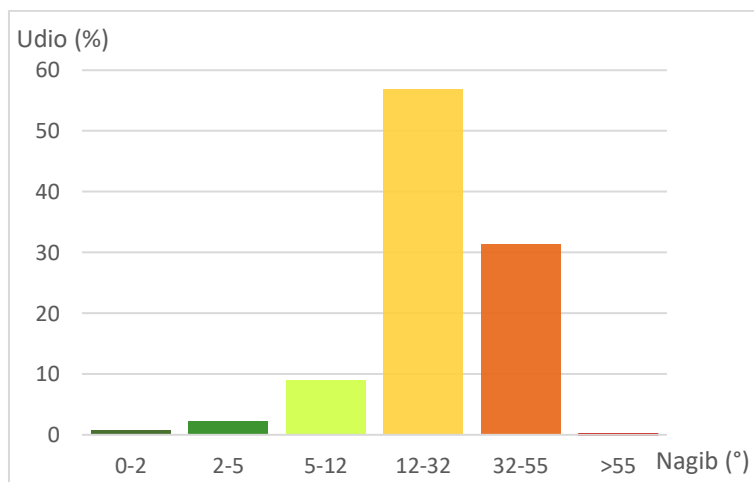
Nagib (°)	Opis	Proces
0-2	ravnice	kretanje masa se ne opaža
2-5	blago nagnuti teren	blago spiranje
5-12	nagnuti teren	pojačano spiranje i kretanje masa
12-32	jako nagnuti teren	snažna erozija, spiranje i izrazito kretanje masa
32-55	vrlo strm teren	dominira destrukcija
>55	strmci (litice)	urušavanje

Izvor: Demek, 1972.

Nagiba većih od 55° gotovo da i nema, budući da zauzimaju samo 0,02% ukupne površine. Više od polovice površine istraživanih područja čine nagibi od 12° do 32° (57%), nakon njih slijede nagibi od 32° do 55° koji zauzimaju 31% površine (Sl. 13). Istraživano područje najviše obilježava jako nagnuti i strmi reljef s jakom denudacijom. Manji nagibi padina unutar područja istraživanja nalaze se na područjima velike gustoće ponikava i na dnu dolina. Veći nagibi padina vežu se uz područja dolinskih strana. Prilikom određivanja lokacije poučne staze poželjno je izbjegavati područja velikih nagiba padina zbog sigurnosti posjetitelja. Ipak, nagibi padina mogu poslužiti i u interpretaciji krajobrazu. Određeni nagibi padina uvjetuju nastanak brojnih geomorfoloških procesa i reljefnih oblika. Tako je mali nagib padina bitan uvjet za formiranje ponikava, a veći, ali ne previše strmi nagibi pogodni su za nastanak klizišta. Nagibi padina uvjetuju brojne padinske procese stoga se mogu koristiti i pri određivanju rizika od pojave istih.



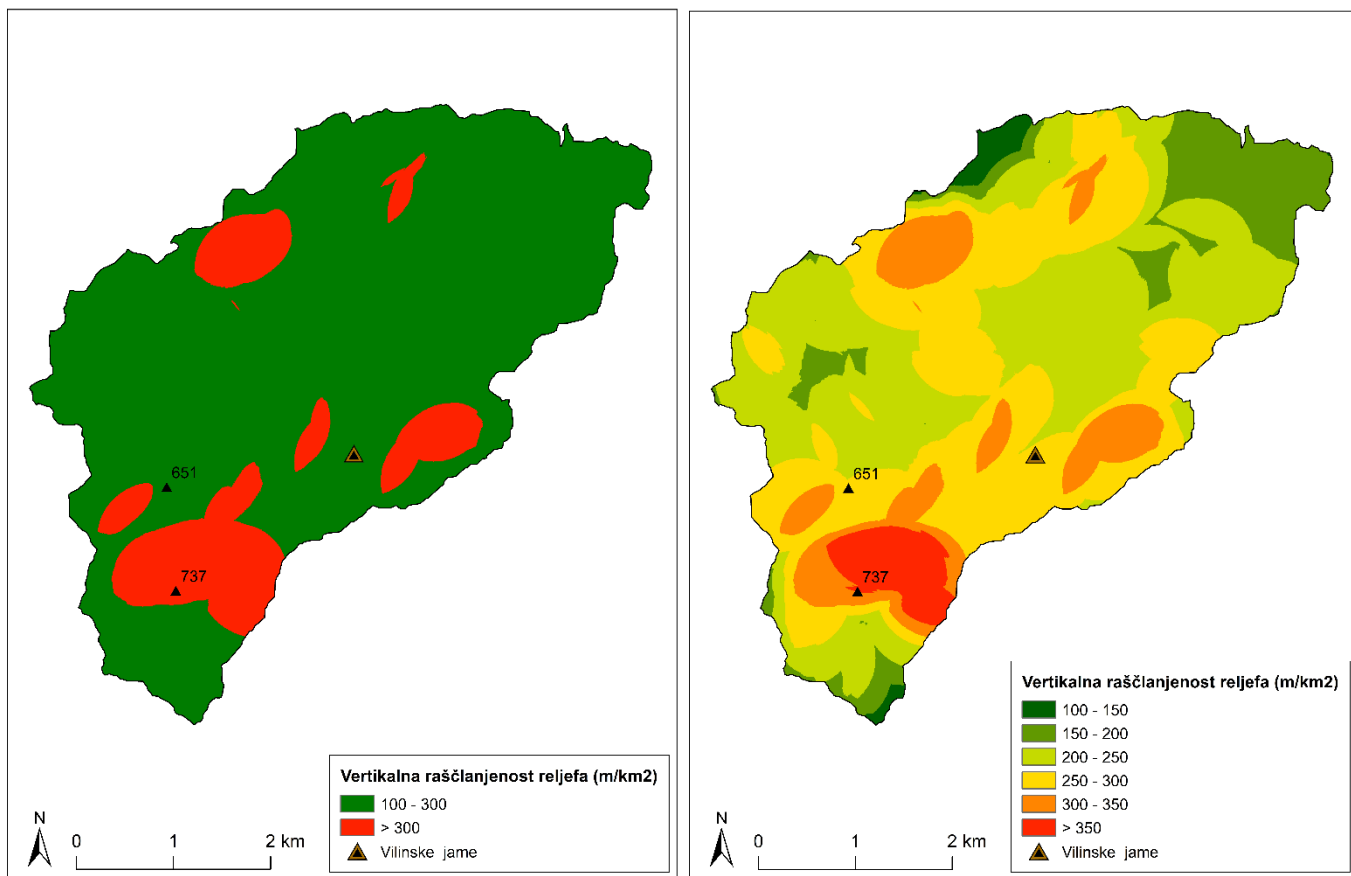
Sl. 12. Karta nagiba padina istraživanog područja.



Sl. 13. Udio kategorija nagiba padina u ukupnoj površini istraživanog područja.

6.2.2.1.3. Vertikalna raščlanjenost reljefa

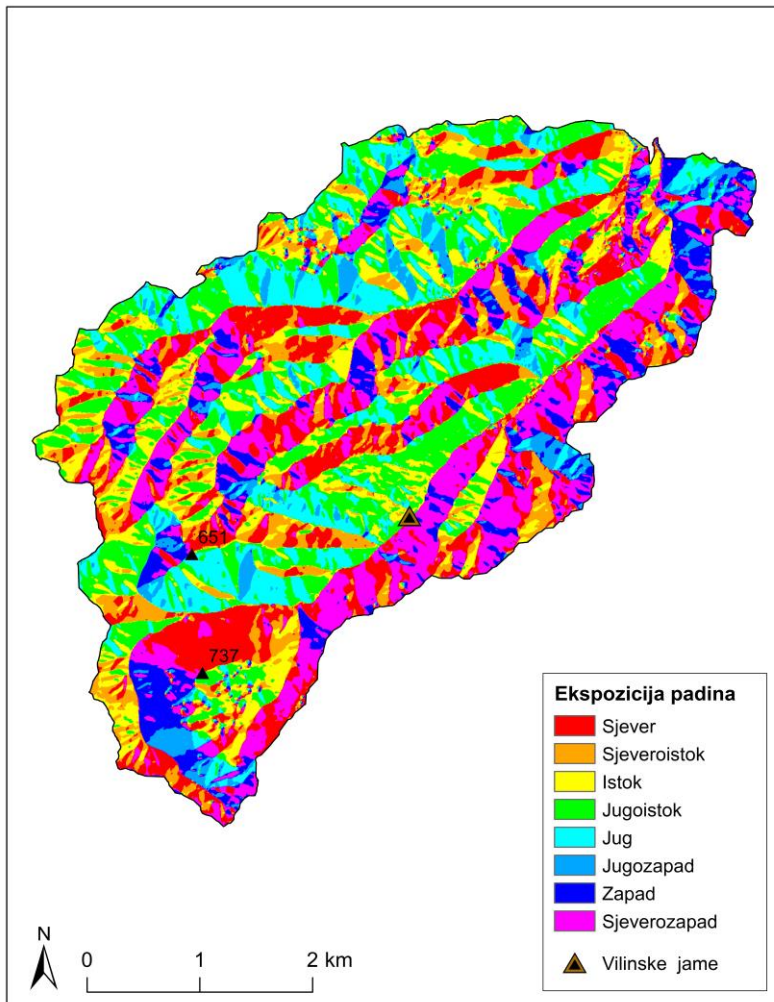
Vertikalna raščlanjenost reljefa, odnosno energija reljefa je određena visinskom razlikom između najviše i najniže točke unutar površine od 1 km². Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog područja iznosi od 105 m/km² do 394 m/km². Prema klasifikaciji A. Bognara (1992.), vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog područja može se svrstati u samo dvije kategorije (Sl. 14). Te dvije kategorije predstavljaju umjereno raščlanjen reljef (100-300) i izrazito raščlanjen reljef (>300). Zone izrazito raščlanjenog reljefa prevladavaju na jugu istraživanog područja te na sjeverozapadu. Radi detaljnijeg prikaza energije reljefa napravljena je karta vertikalne raščlanjenosti reljefa s više razreda. Na drugoj karti može se uočiti kako je vertikalna raščlanjenost veća uz dolinske strane. Najveća energija reljefa nalazi se na samom jugu istraživanog područja koje karakteriziraju veći nagibi, velike visine i istodobno blizina doline potoka Breganice gdje visina terena naglo opada. Područja najmanje vertikalne raščlanjenosti nalaze se na rubovima istraživanog područja te obuhvaćaju zaravnjene površine na većim nadmorskim visinama ili nizine, kao što je na sjeveroistoku istraživanog područja. Što je vertikalna raščlanjenost reljefa veća, raste i mobilnost padina. Zbog toga se preporuča izbjegavati područja najveće vertikalne raščlanjenosti prilikom odabira lokacije poučne staze. Ako se područja velike vertikalne raščlanjenosti ne mogu izbjeći, potrebno je analizirati područje i odrediti postoji li veći rizik od pojave razornih padinskih procesa. U slučaju rizika od razornih padinskih procesa potrebno je provesti adekvatne mjere zaštite kako bi posjetitelji potpuno sigurno mogli posjećivati stazu. Područja manje vertikalne raščlanjenosti poželjna su kod poučnih staza i zbog manje visinske razlike i lakšeg prelaska terena.



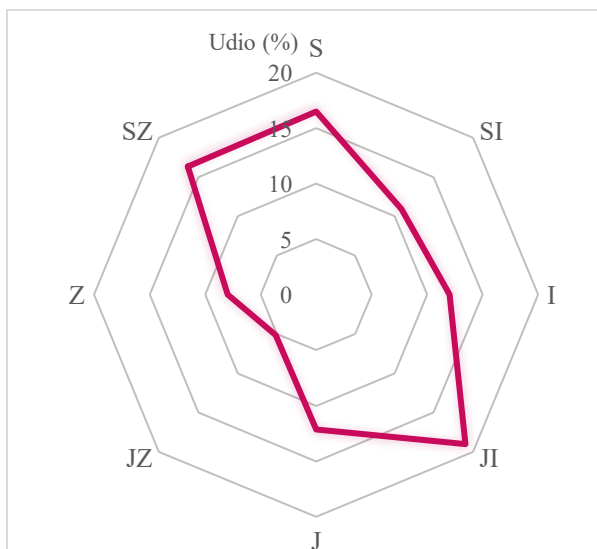
Sl. 14. Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog područja: klasifikacija prema Bognaru, 1992. (lijevo) i klasifikacija s jednakim intervalima (desno).

6.2.2.1.4. Ekspozicija padina

Ekspozicija padina je definirana orijentacijom padina s obzirom na strane svijeta. Orijehtacija padina bitna je zbog određivanja osunčanosti koja utječe na rast pojedinih biljnih vrsta, na otapanje snijega i srodnih procesa. Padine koje su orijentirane na jug primaju najviše sunčeva svjetla godišnje, dok one orijentirane na sjever primaju najmanje. Padine orijentirane na sjever zbog toga bilježe niže temperature što se može negativno odraziti na dojam posjetitelja poučnih staza. Ljeti, najveću ulogu u stvaranju hladovine ima vegetacija pa ekspozicija padina ne stvara veliku razliku. Zbog navedenih razloga preporučuje se prilikom planiranja poučne staze što više izbjegavati padine orijentirane prema sjeveru. Na slici 15. ekspozicija padina vrlo dobro pokazuje raščlanjenost reljefa i utjecaj, prvenstveno egzogenih procesa na nastanak reljefa. Padine unutar istraživanog područja su uglavnom orijentirane prema sjeveru i sjeverozapadu te jugoistoku (Sl. 16). Ova ekspozicija padina poklapa se s pravcem dviju glavnih dolina koje su okrenute u smjeru jugozapad – sjeveroistok.



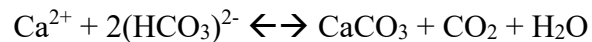
Sl. 15. Ekspozicija padina istraživanog područja.



Sl. 16. Udio smjera orijentacije padina.

6.2.2.2. Sedra

Sedra je porozna, vapnenačka stijena formirana i taložena u slatkovodnim izvorima, rijekama jezerima i vodopadima, niske temperature, koji sadrže vegetaciju potrebnu za taloženje (Pavlović i dr., 2002). Može predstavljati vrlo širok opseg karbonatnih naslaga taloženih u slatkim vodama. Sedra se može formirati kroz nekoliko kemijskih procesa, međutim većina sedre se formira prema sljedećoj kemijskoj reakciji (Pavletić, 1960):



Za otapanje vapnenca potrebna je ugljična kiselina. Ugljična kiselina u vodu dospijeva iz atmosfere ili iz tla. Ugljična kiselina u vodi otapa vapnenac i nastaje kalcijev bikarbonat. Bikarbonati su u otopini u kemijskoj ravnoteži sa slobodnim CO_2 te kako bi došlo do promjene u otopini i do taloženja CaCO_3 , količina slobodnog CO_2 mora se smanjiti. Vegetacija fotosintezom može smanjiti dio ugljikova dioksida iz otopine, međutim puno veće količine ugljikova dioksida ispuštaju se zbog razlike parcijalnih tlakova u vodi i atmosferi (Roje-Bonacci i Bonacci, 2006.). U vodama bogatim karbonatima, parcijalni tlak ugljikovog dioksida uglavnom je veći od atmosferskog što omogućuje oslobađanje ugljikovog dioksida iz otopine. Otplinjavanje ugljikovog dioksida veće je kada je voda što većom površinom u kontaktu s atmosferom, na primjer gdje se voda raspršuje kod vodopada i slapova. Nakon oslobađanja dijela slobodnog CO_2 , kemijski proces kristalizacije započeo je i počinju se formirati mali kristalići kalcita. Sam kemijski proces nije dovoljan za formiranje sedre, pogotovo velikih sedrenih oblika. Veliku ulogu u formiranju sedre ima vegetacija koja zadržava istaložene kristaliće kalcita i formira sedrene oblike kakve poznajemo danas (Pavletić, 1960). Postoje dva temeljna mehanizma taloženja sedrenih naslaga: organski i anorganski, što nas dovodi do pojma travertin. Sedra se ponekad zamjenjuje za travertin, međutim radi se o dva različita pojma. Pojmovi sedra i travertin spominju se u od prilike istom razdoblju kao građevinski materijal rimskih građevina. Danas oba pojma predstavljaju širok raspon slatkovodnih i fluvijalnih karbonata. Pentecost i Viles (1994) razlikovali su sedru i travertin prema geokemijskim obilježjima. Geokemijska obilježja obuhvaćaju podrijetlo ugljikovog dioksida. Sedra se taloži u hladnim vodama gdje CO_2 dopire iz tla i atmosfere. Travertin se taloži u vrućim vodama gdje CO_2 dopire iz unutrašnjosti Zemlje. Travertin se taloži znatno brže od sedre, samo je nekoliko sati dovoljno da se stvore značajne naslage travertina, dok se naslage sedre talože godinama (Ford i Pedley, 1996). Još jedna važna razlika između sedre i travertina je i utjecaj mikroorganizama i biljaka. Travertin se taloži brže pa često zarobi razne mikroorganizme i

biljke u stijenu prilikom taloženja. S druge strane sedra se taloži na razne mikroorganizme, mahovine, lišajeve, alge i slično, koji kasnije ostavljaju razne otiske i udubine koje povećavaju poroznost stijene. Biota ima vrlo važnu ulogu u nastanku sedre zato što, ne samo da uklanja CO₂ iz vode, već služi i za hvatanje kalcita (Golubić i dr., 2008). Unutar područja istraživanja sedra se većinom hvata i taloži na raznim vrstama mahovina (Sl. 17). Mahovina omogućuje taloženje relativno male količine kalcita na velikim površinama. Mahovina zauzima prostor te samim time formira udubljenja i nepravilnosti koje povećavaju volumen stijene. Sedra zbog toga nije kompaktna i lako se prepoznaje.

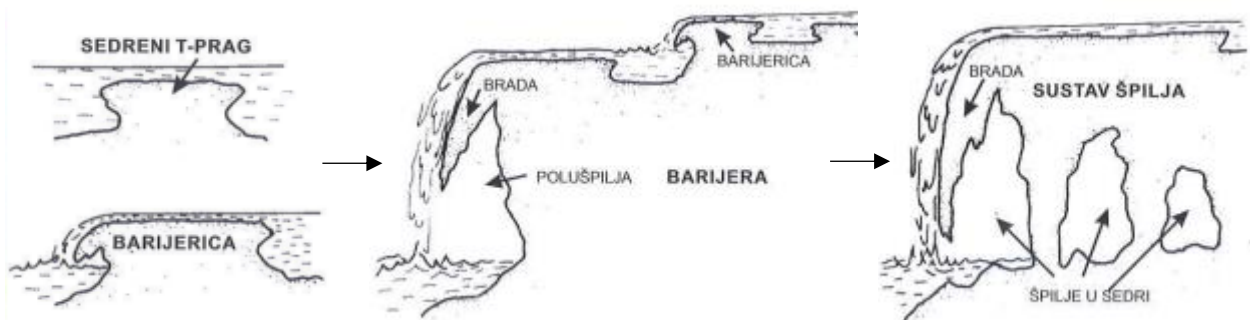


Sl. 17. Sedra taložena na mahovini.

Taloženje sedre često je izrazito lokalno na mjestima uzduž korita, oko izvora, na slapovima i vodopadima, ali isto tako može prikrivati i velike površine (Ford i Pedley, 1996). Po mjestu taloženja Pedley (1990) je izdvojio pet modela sedre: izvorski (*perched springline*), kaskadni (*cascade*), fluvijalni (*fluviatile*), jezerski (*lacustrine*) i močvarni (*paludal*). Izvorski model temelji se na vodi koja izvire u brdskim krajevima i bogata je karbonatima te otječe strmim koritima. Sedra se može početi taložiti već kod izvora, međutim najčešće se taloži niz padinu. Sedra koja se taloži na ovaj način može u kontinuitetu pokrivati i do nekoliko kilometara padine. Sedra se u kaskadnom modelu taloži na strminama i liticama. Voda prelaskom preko strmine formira vodopad i slapove, a upravo ondje je voda najturbulentnija, što pogoduje taloženju

sedre. Ovaj tip sedre nije čest jer nastaje na ograničenoj površini pod posebnim uvjetima i sama voda na slapu i vodopadu često uništi naslage sedre (Pedley, 1990). Fluvijalni model odnosi se na pliće rijeke i potoke na padinama manjih nagiba. Sedra se u ovim slučajevima može taložiti lokalno na pojedinim mjestima brzaca ili izbočenih dijelova korita, gdje se turbulencija vode povećava. Također, u fluvijalnom modelu sedra može formirati i barijeru koja zaustavlja normalni protok vode i stvara jezero. U jezerskom tipu sedra se taloži na plitkim rubovima jezera. Zagrijavanjem jezera povećava se zasićenost vode kalcijevim karbonatom i pospješuje se taloženje. Močvarni model temelji se na slabo dreniranim područjima, gdje se sedra taloži na biljkama i u središtu uvale/depresije (Pedley, 1990). Sedra koja je formirala Vilinske jame pripada kaskadnom tipu.

Postoji nekoliko oblika sedre, a u ovome radu biti će objašnjeni oni ključni za nastanak špilje u sedri, kao što je i špilja Vilinske jame. Prvi sedreni oblik formira se u smjeru uz i niz vodenog toka unutar vode i zove se sedreni T-prag. T-pragovi nastavljaju rasti u visinu, a kada izbiju iznad površine vode i počinju se razvijati više nizvodno dolazi do stvaranja oblika nazvanog sedrena barijera. Stvaranjem većih barijera formira se i oblik nazvan brada koji označava dio stijene koji visi u smjeru otjecanja vode, praznina koja ostaje iza brade naziva se podbradak (Pavletić, 1960). Kako barijere rastu vertikalno, raste i veličina brade i podbradaka, što može dovesti do formiranja špilja i polušpilja (Sl. 18).



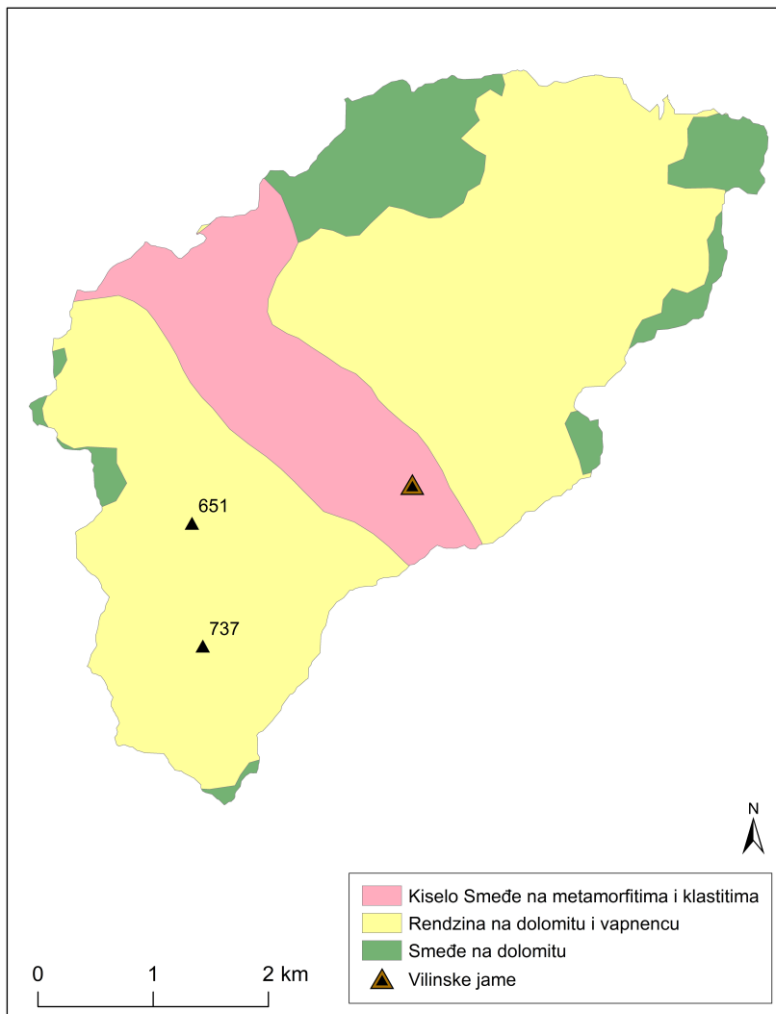
Sl. 18. Geomorfološki oblici u sedri.

Izvor: Roje-Bonacci i Bonacci, 2006. prema Pavletić, 1960.

Sedra zbog svoje poroznosti predstavlja dobar građevinski materijal koji se lako oblikuje, obrađuje i dobro štiti od buke. Kako je sedra česta unutar istraživanog područja, postoje brojne građevine građene ovim materijalom. Sedra se danas ne koristi toliko za gradnju, zbog toga što je na brojnim lokacijama iskorištena i rijetka (Roje-Bonacci i Bonacci, 2006). Sedra je rijedak materijal, koji nastaje u specifičnim uvjetima te je stoga bitno naglasiti njezinu važnost i zaštititi ju.

6.2.3. Pedološka obilježja

Za nastanak određenih vrsta tla veliku ulogu imaju geomorfološki i klimatski procesi, ali i antropogeni utjecaj. Unutar istraživanog područja postoje dvije vrste tla, a to su smeđa tla i rendzina (Sl. 19). Smeđa tla nalaze se na metamorfitima i klastitima i na dolomitima, dok se rendzina nalazi na dolomitima i vapnencima. Rendzina je tlo bogato humusom koje se formira najčešće od vapnenca. Smeđa tla na dolomitima i vapnencima dosta su zastupljena u Hrvatskoj i karakterizira ih šumska vegetacija, dok su smeđa tla na metamorfitima i klastitima kisela (Zemljišni resursi, n.d.). Ovakva povezanost između vrsta tla i stijena te vegetacije može poslužiti kao dobar primjer u interpretaciji i povećavanju svijesti posjetitelja za očuvanjem svih dijelova prirode. Ne može se zaštititi samo živi svijet bez da se zaštiti i abiotički dio prirode s kojim je živi svijet u nerazdjeljivoj cjelini.

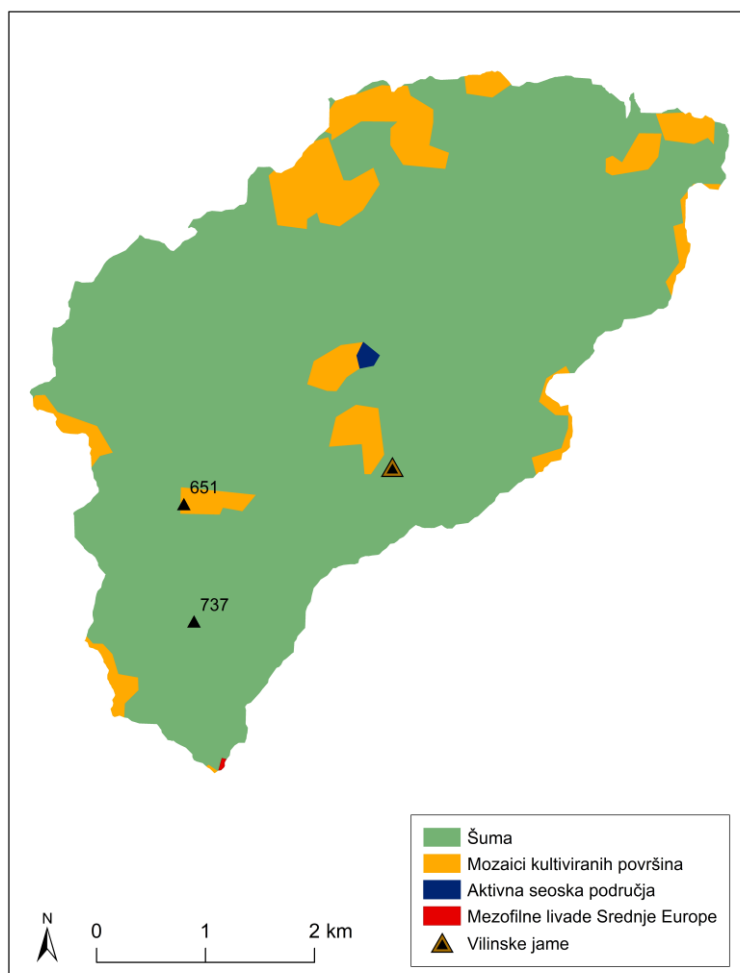


Sl. 19. Pedološka karta istraživanog područja.

Izvor podataka: Zemljišni resursi, n.d.

6.3. Zemljišni pokrov

Zemljišni pokrov dobar je odraz načina života i interakcije ljudi s okolišem. Zemljišni pokrov unutar istraživanog područja sastoji se uglavnom od šuma, koje su autohtone za ovakva područja, što znači da je ljudski utjecaj na područje vrlo malen. Za prikaz zemljišnog pokrova odabrani su slojevi Nacionalne klasifikacije stanišnih tipova (NKS). Slojevi NKS klasifikacije s različitim vrstama šuma povezani su u jedan sloj iz razloga što za ovo istraživanje vrsta šuma nije relevantna, već mozaik krajobraza. Šume zauzimaju čak 90% istraživanog područja. Mozaici kultiviranih površina zauzimaju gotovo 10% površine, aktivna seoska područja 0,1%, a livade samo 0,02% površine (Sl. 20). Šuma predstavlja važno stanište za razne biljke i životinje, sprječava pojačanu eroziju terena te može služiti kao dobro mjesto za rekreaciju i odmor, stoga je pozitivno što upravo ova vrsta pokrova prevladava unutar istraživanog područja. Aktivno seosko područje odnosi se na naselje Višnjevci Podvrški. Promjene u zemljišnom pokrovu u zadnjih nekoliko desetaka godina gotovo da i nije bilo, što doprinosi promicanju geoturizma i održivosti.

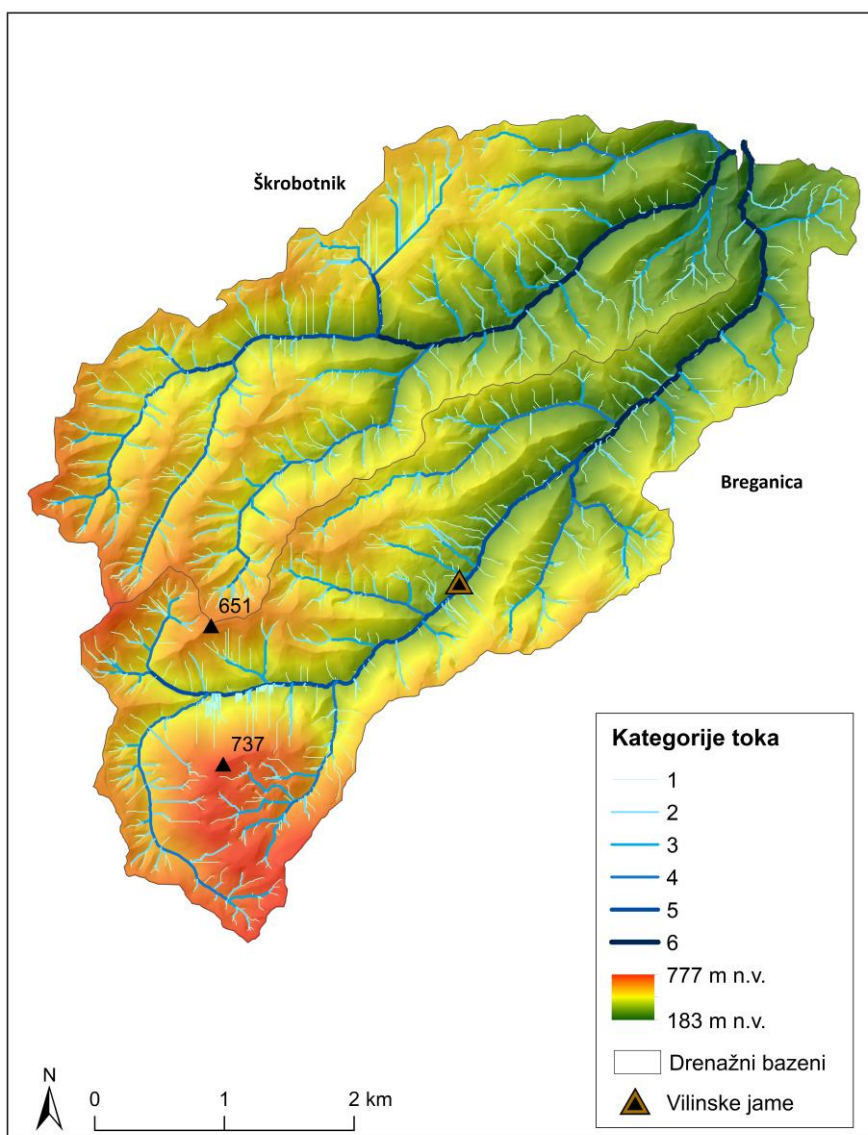


Sl. 20. Karta zemljišnog pokrova istraživanog područja

Izvor podataka: Bioportal, n.d.

6.4. Hidrološka obilježja

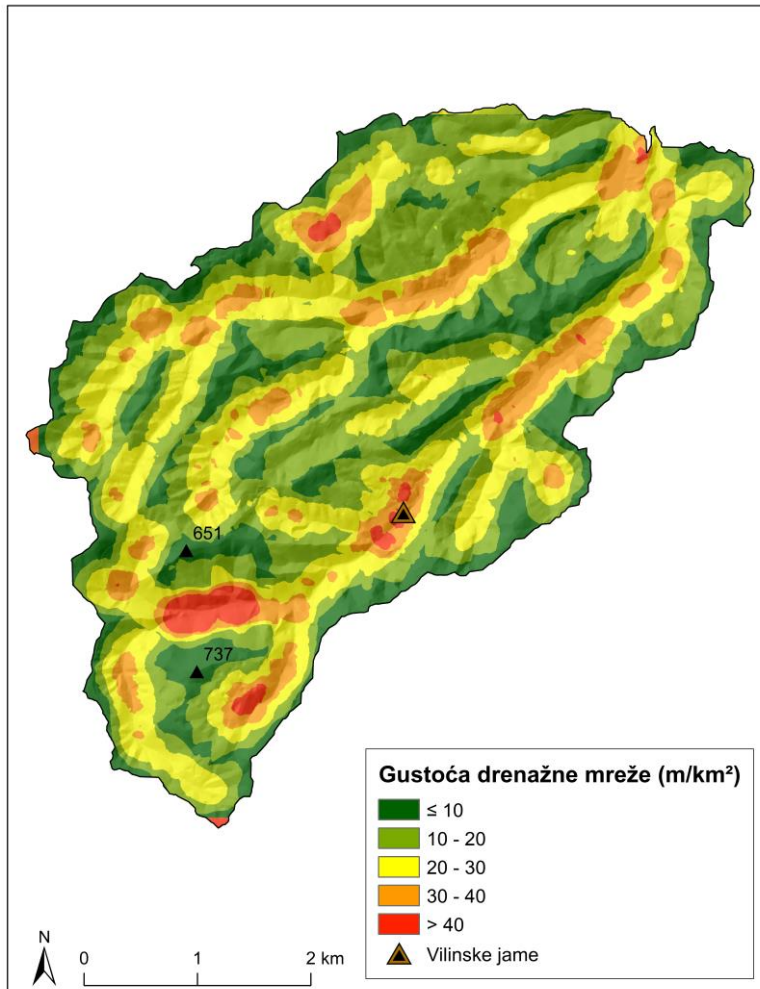
Istraživano područje sastoji se od dva drenažna bazena: potoka Breganice i Škrobotnika. Površina drenažnog bazena Škrobotnika je 10 km², a Breganice 11 km². Oba potoka ulijevaju se u Savu i prema geografskom položaju pretpostavlja se da imaju kišno-snježni režim. Ovaj režim karakteriziraju potoci koji izvire na visinama do 1000 metara nadmorske visine te dva godišnja minimuma i maksimuma. Maksimumi se javljaju u ožujku ili travnju i u prosincu, a minimumi u kolovozu i veljači (Čanjevac, 2013). Izrađena je drenažna mreža istraživanog područja u kojoj su tokovi klasificirani metodom Strahler (1957) (Sl. 21). Ukupna duljina tokova drenažne mreže iznosi 215 km. Ova metoda temelji se na brojčanoj klasifikaciji gdje dva toka prve kategorije tvore tok druge kategorije. Nadalje, dva toka druge kategorije tvore tok treće kategorije i tako dalje. Prema klasifikaciji Strahler-a (1957) maksimalna kategorija unutar istraživanog područja je tok šeste kategorije u kojem se nalaze dijelovi potoka Breganice i Škrobotnik. Tip drenažne mreže je pretežno dendritični. Ovaj tip javlja se na homogenoj litološkoj podlozi i tektonski slabo aktivnim područjima (Summerfield, 2014). Osim dendritičnog javlja se i paralelni tip drenažne mreže. Kao što sam naziv govori, u ovakvom tipu drenažne mreže tokovi su paralelni. Ovaj tip može se uočiti na krajnjem sjevernom dijelu istraživanog područja te u središtu južnog dijela na prelasku većih nadmorskih visina u manje. Paralelni tip drenažne mreže nastaje na tektonski aktivnom području i na strmim padinama (Summerfield, 2014).



Sl. 21. Drenažni bazeni potoka Breganica i Škrobotnik te klasifikacija tekućica prema Strahleru (1957).

Gustoća drenažne mreže može ukazivati na brojne geomorfološke procese i pojave. Računa se odnosom duljine tokova na jedinici površine, u ovom slučaju unutar jednog kvadratnog kilometra. Može ukazivati na područja najjače erozije na način da veća duljina tokova unutar površine znači i veću mogućnost erozije. Maksimalna izračunata vrijednost gustoće drenažne mreže istraživanog područja je 63 m/km^2 . Područja s najvećom gustoćom nalaze se na južnom i jugoistočnom dijelu potoka Breganice te na krajnjem sjevernom dijelu koji se ulijeva u potok Škrobotnik (Sl. 22). Područja najveće gustoće drenažne mreže poklapaju se s područjima najveće vertikalne raščlanjenosti. Povećana gustoća povezana je s mjestima ulijevanja većeg broja pritoka u drugi pritok ili u Breganicu i Škrobotnik. Gustoća drenažne mreže može ukazati

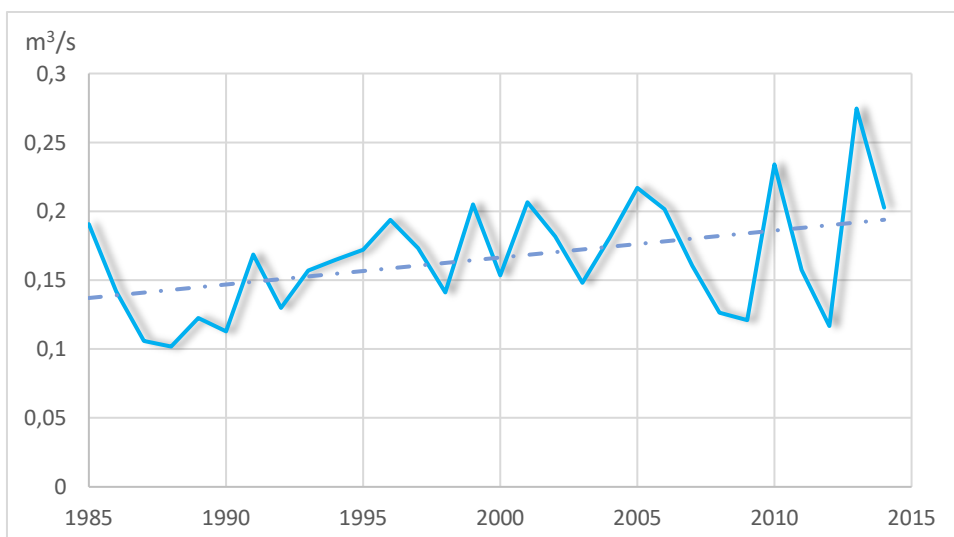
na jake geomorfološke procese na pojedinim područjima. Iz tog razloga ona može biti dobar pokazatelj kod procjene pritiska u geoturizmu. Sukladno procjeni pritiska će se uređivati poučna staza.



Sl. 22. Gustoća drenažne mreže istraživanog područja.

Unutar istraživanog područja postoji jedna mjerna hidrološka postaja Svinjarići na potoku Breganici. Postaja bilježi podatke kontinuirano od 1980. godine do danas. Podaci za vodostaj su kontinuirani, dok podaci za protok od 2015. do 2020. i za 2022. godinu nedostaju. Prosječan vodostaj 2022. godine na mjernoj postaji Svinjarići iznosio je 19.5 cm, a prosječan protok 2021. godine 0,166 m³/s (DHMZ, 2014). Izrađen je grafikom za tridesetogodišnje razdoblje od 1985. do 2014. godine u svrhu prikaza promjena protoka (Sl. 23). Analizom je utvrđeno da dolazi do trenda povećanja protoka u svim godišnjim dobima unutar odabranog tridesetogodišnjeg razdoblja, međutim zimi je taj trend najveći. Razlog tomu je vjerojatno smanjenje padalina u

obliku snijega zimi i njihovog bržeg topljenja što uzrokuje veće otjecanje, a samim time i veći protok (Čanjevac, 2012). Vidljivo je i kako od 1985. do 2014. dolazi do povećanja ekstremnih vrijednosti protoka. Prisutne su veće varijacije u vrijednostima protoka, odnosno veće minimalne i maksimalne vrijednosti. Povećanje ekstremnih vrijednosti protoka povezano je s utjecajem klimatskih promjena koje utječu na povećanje ekstrema klimatskih elemenata koji direktno utječu na protok (IPCC, 2022). Ovakve promjene protoka mogu negativno utjecati na sedru. Sedra je vrlo krhka stijena stoga ju jači protok u kombinaciji s donošenim materijalom može uništiti. Isto tako sedra se taloži u vrlo specifičnim uvjetima i promjena protoka mogla bi utjecati na količinu njezina taloženja.

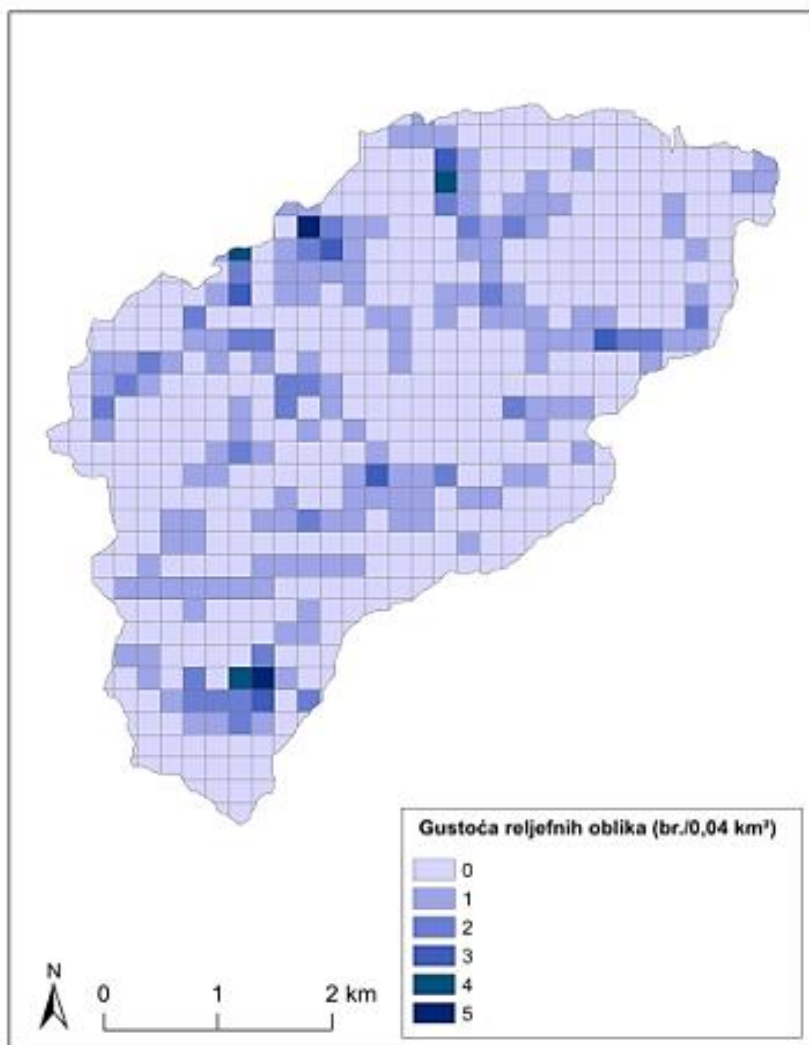


Sl. 23. Protok hidrološke postaje Svinjarići od 1985. do 2014. godine
Izvor podataka: DHMZ, 2014.

7. Rezultati

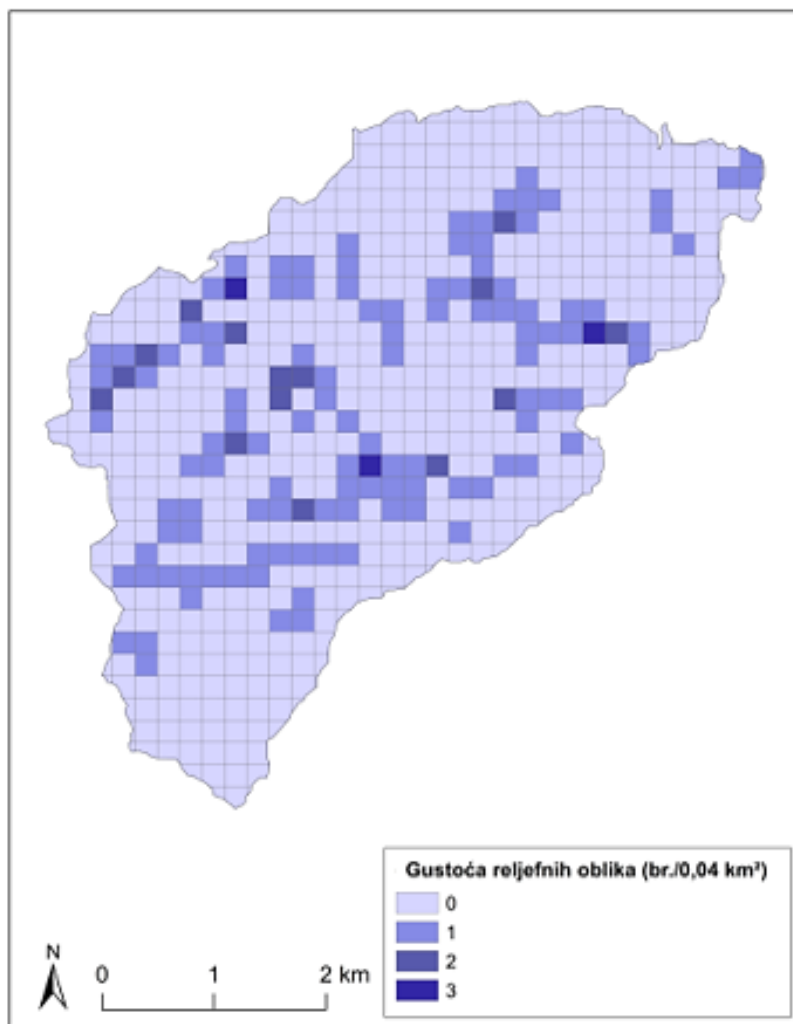
7.1. Idejni projekt nove poučne staze „Vilinske jame“

Radi utvrđivanja najpovoljnije lokacije za postavljanje poučne staze napravljena je analiza gustoće reljefnih oblika. Istraživano područje podijeljeno je u kvadrate 200 x 200 metara površine 0,04 km². Mreža kvadrata napravljena je u programu ArcGIS 10.5 uz pomoć alata *Create Fishnet* gdje se odredila visina i širina ćelija na 200 metara. Nakon stvaranja mreže kvadrata ucrtavali su se reljefni oblici. Od reljefnih oblika bilježili su se oni prepoznatljivi na topografskoj karti 1:25000, a to su izvori, jaruge, derazijske doline, ponikve i špilje. Jaruge i derazijske doline ucrtavale su se linijski, a ostali reljefni oblici su se prikazivali točkama. Dobiveni slojevi reljefnih oblika povezani su sa slojem mreže kvadrata alatom *Spatial Join*. Ovaj alat povezuje atributivne podatke jednog sloja s drugim na temelju njihovog prostornog odnosa. Dakle, ako se jedan točkasti reljefni oblik nalazio unutar jednog kvadrata taj kvadrat će poprimiti broj 1 u atributivnoj tablici, ako su unutar jednog kvadrata dva reljefna oblika kvadrat će imati vrijednost 2 i tako dalje. Linijski reljefni oblici često su se protezali kroz nekoliko kvadrata unutar mreže, u tom slučaju svaki kvadrat je bilježio vrijednost, ovisno o tome koliko se različitih linija (jaruga i derazijskih dolina) nalazilo unutar kvadrata. Analiza se radila posebno za točkaste i linijske slojeve reljefnih oblika te su se rezultati na kraju zbrojili i dobivena je konačna karta. Dodijeljeni broj unutar svakog kvadrata odgovara broju reljefnih oblika tog kvadrata (Sl. 24). Najviše je zabilježeno 5 reljefnih oblika u 0,04 km². Područja s najviše zabilježenih reljefnih oblika unutar odabranih kvadrata nalaze se na jugozapadnom i sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja. Radi se o područjima s iznimnom gustoćom ponikava, stoga ta područja ne predstavljaju veliku raznolikost reljefnih oblika. Takav oblik gustoće nije poželjan za postavljanje poučne staze zbog jednoličnosti. Poželjnije bi bilo kada bi se na malom području pronašao što veći broj različitih reljefnih oblika kako bi edukacija bila opsežnija i kvalitetnija te interes za stazu veći.



Sl. 24. Gustoća reljefnih oblika istraživanog područja.

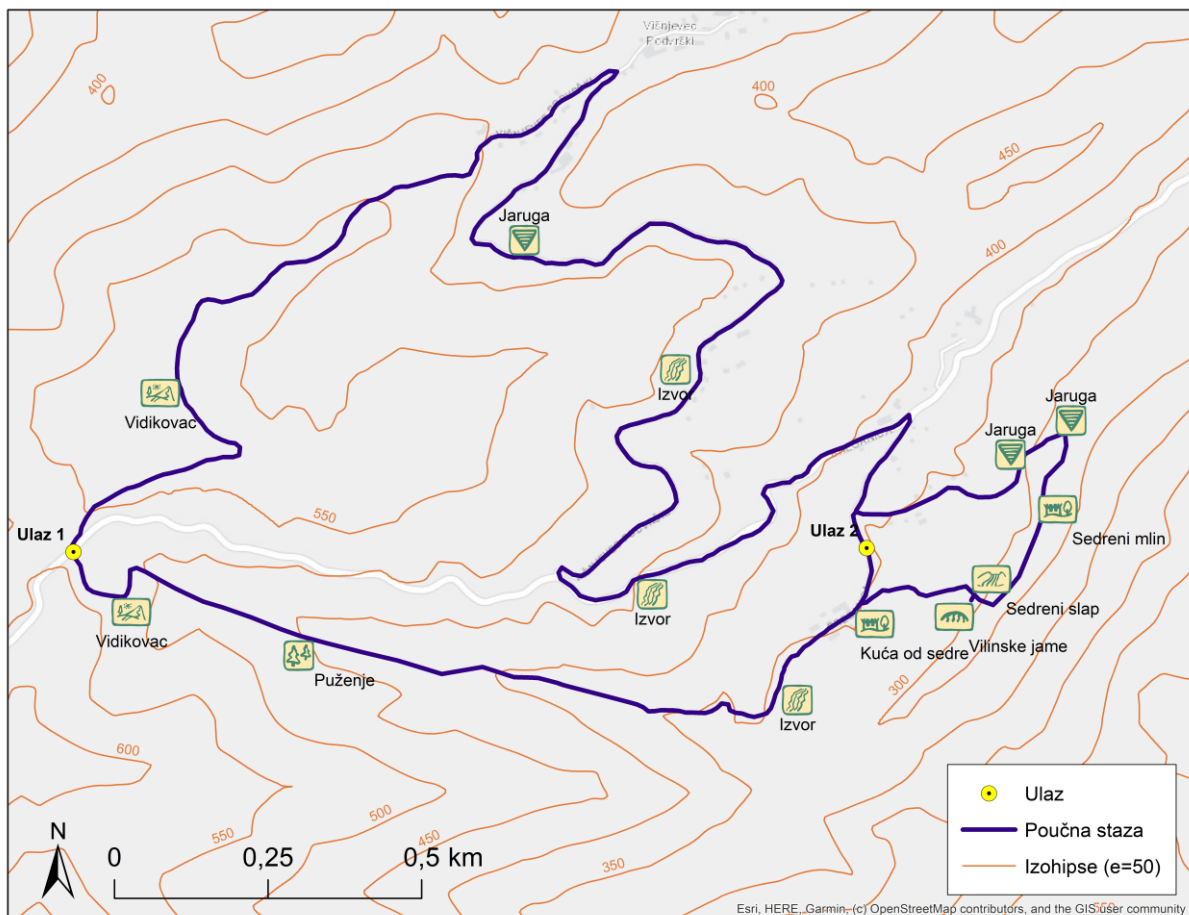
Zbog povećane gustoće ponikava u određenim područjima gdje nisu zabilježeni ostali reljefni oblici, napravljena je još jedna karta koja prikazuje količinu reljefnih oblika unutar kvadrata površine 0,04 km² izuzev ponikava (Sl. 25). Izuzevši ponikve najveća gustoća reljefnih oblika raspoređena je u samom središtu istraživanog područja. Najviše zabilježenih reljefnih oblika je 3 unutar odabranih kvadrata, a radi se najčešće o izvorima i jarugama. Na kartu je dodana i lokacija Vilinskih jama kako bi se lakše moglo odrediti područje koje bi uključivalo špilju, ali i ostale reljefne oblike. Poželjno je da poučna staza prelazi područjima velike gustoće reljefnih oblika kako bi staza bila atraktivnija i kako bi bilo više lokacija za interpretaciju.



Sl. 25. Gustoća reljefnih oblika (izuzev ponikava) istraživanog područja.

Nakon određivanja područja velike gustoće različitih reljefnih oblika u blizini Vilinskih jama, trebao se odrediti način njihova povezivanja. Unaprijed je odlučeno da su Vilinske jame glavna atrakcija oko koje će se bazirati staza. Također je unaprijed određeno da poučna staza koristi postojeće i prohodne puteve, stoga su za njezino određivanje korištene postojeće planinarske staze te postojeći putevi, koji su dijelom asfaltirani, a dijelom su pogodni samo za pješake. Postojeći putevi odabrani su radi lakšeg konstruiranja i održavanja poučne staze te zbog minimiziranja dodatnih utjecaja na postojeći okoliš prilikom postavljanja staze. Pri odabiru položaja poučne trase u obzir je uzeta gustoća reljefnih oblika, postojanje planinarskih ili drugih staza, te blizina Vilinskih jama. Predložena poučna staza planirana je u obliku osmice (Sl.26). Ovaj oblik vrlo je pogodan zato što se posjetitelji ne vraćaju istim putem, ne stvaraju se gužve te je omogućeno skraćivanje staze i prelaska samo jednog kruga. Manji krug obuhvaća Vilinske jame stoga se pretpostavlja kako će on privlačiti više posjetitelja. Napravljena su dva ulaza zbog ograničenih mogućnosti parkinga i manjih stvaranja gužvi. Ulaz 1 nalazi se na najvećoj cesti

unutar istraživanog područja koja povezuje Noršić Selo i Breganicu te je njegova lokacija odabrana zbog najbolje dostupnosti. Ulaz 2 nalazi se u samom zaseoku Tušini te je smješten ovdje zbog blizine Vilinskim jamama i zbog toga što se nalazi na sjecištu krugova pa posjetitelji mogu prijeći samo jedan krug one rute koja im se čini interesantnija. Prijedlog je da se na Ulaz 1 ulazi ukoliko se želi proći cijela staza ili veći krug predložene staze. Ulaza 1 nalazi se na većoj cesti, izvan naselja, stoga se on više preporučuje kako se ne bi previše remetilo lokalno stanovništvo i zbog veće dostupnosti ulaza. Ako će posjetitelji htjeti posjetiti samo manji krug poučne staze, stazi mogu pristupiti na Ulaz 2.



Sl. 26. Karta poučne staze „Vilinske jame“.

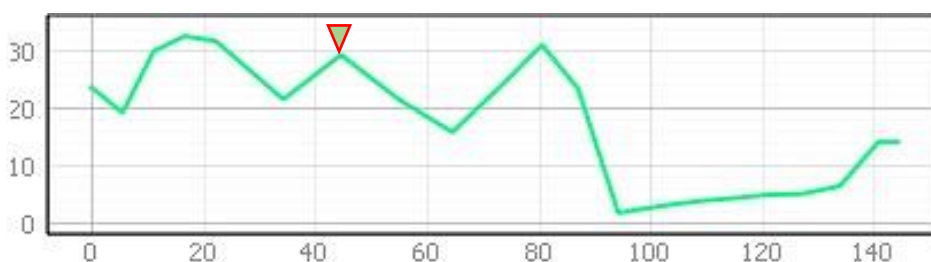
Poučna staza dugačka je 7,9 kilometara te je za njezin prelazak potrebno oko 4 sata s kraćim zadržavanjima oko pojedinih lokacija. Obilazak poučne staze u terenskom radu 31. ožujka 2023. godine trajao je nešto više od 5 sati uz duža zadržavanja i fotodokumentaciju lokacija. Najviši vrh poučne staze doseže 597 metara nadmorske visine, dok je najniža točka 282 metra nadmorske visine (Sl. 27). Visinska razlika od 315 metara nije velika pa je staza prikladna za

sve uzraste dobrog zdravlja uz prikladnu odjeću i obuću. Najviši dijelovi staze nalaze se u većem krugu oko vidikovaca, gdje se posjetitelji mogu odmoriti.

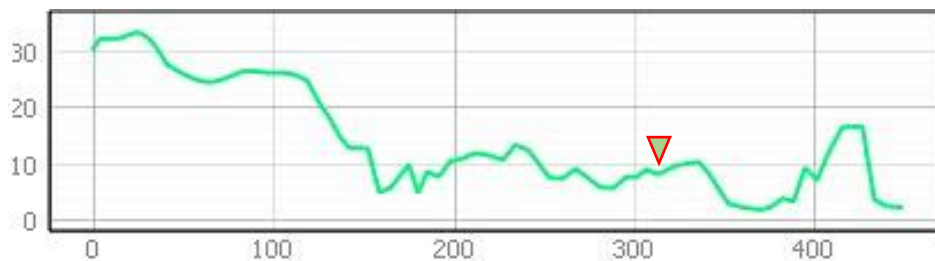


Sl. 27. Profil s podacima o visini (m n.v.) predložene poučne staze.

Kako bi se prikazala dostupnost pojedinih dionica napravljena je analiza nagiba za dvije odabrane dionice. Odabrana je dionica dijela puta do Vilinskih jama i od Vilinskih jama do potoka Breganice (Sl. 28), a za drugu dionicu odabran je put do vidikovca na većoj nadmorskoj visini (Sl. 29). Ove dvije lokacije odabrane su zato što se smatra da će se posjetitelji najduže zadržati na ove dvije lokacije. Također, ove dvije lokacije nalaze se na područjima većih nagiba i visina, stoga se detaljnije razmotrio taj faktor. Dionicu kod Vilinskih jama obilježava najveći nagib od 36° . Nagib je visok na putu prema Vilinskim jamama, a na putu od Vilinskih jama do potoka Breganice nagib padina naglo opada. Dionicu koja vodi na vidikovac na početku puta također obilježavaju visoki nagibi, s najvećom vrijednosti od 37° , a pri dolasku na vidikovac i u blizini vidikovca nalaze se manji nagibi. Velika područja malih nagiba uz vidikovac pogodna su za izgradnju posjetiteljske infrastrukture gdje bi se posjetitelji mogli odmoriti. Moglo bi se reći kako odabrane dionice pripadaju zahtjevnijim dionicama većih nagiba unutar poučne staze, stazu većinom karakteriziraju manji nagibi od onih prikazanih ovom analizom.



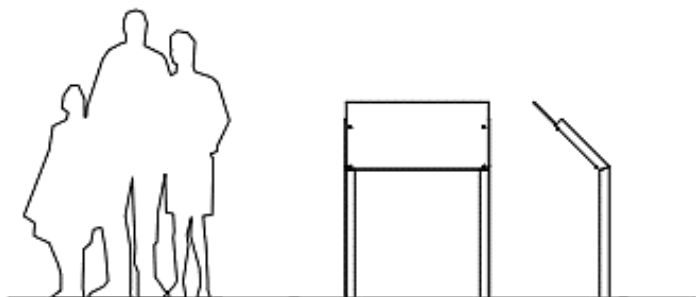
Sl. 28. Profili s podacima o nagibu ($^\circ$) za dionicu do Vilinskih jama, strelica prikazuje položaj Vilinskih jama.



Sl. 29. Profili s podacima o nagibu ($^{\circ}$) za dionicu do višeg vidikovca, strelica prikazuje položaj vidikovca.

7.1.1. Predložene poučne ploče

Kao sredstvo interpretacije unutar poučne staze predlaže se postavljanje poučnih ploča. Poučne ploče najlakši su oblik interpretacije koji je uvijek dostupan posjetiteljima. Svaka izdvojena lokacija opisana je te je napravljen primjer poučne ploče. Unutar poučne staze postoji tri lokacije jaruga i tri izvora. Za svaku od tri lokacije izvora koristiti će se jednaka poučna ploča o izvorima, isto tako će se napraviti i jedinstvena poučna ploča o jarugama za sve tri lokacije jaruga. Na vidikovcima se ne planira postavljanje poučnih ploča zato što su to mjesta velike estetske vrijednosti te su predviđeni kao mjesta za odmor. Poučne ploče napravljene su u dimenzijama 60 x 90 cm. Predlaže se postavljanje ploča kose konstrukcije i vodoravnog formata kako bi ploče bile lako dostupne za čitanje i gledanje (Sl. 30). Ploče kose konstrukcije dostupnije su posjetiteljima nižeg rasta i djeci te je osigurano odlijevanje vode.



Sl. 30. Poučna ploča kose konstrukcije i vodoravnog formata.

Izvor: Pravilnik o jedinstvenom vizualnom identitetu zaštite prirode u Republici Hrvatskoj, 2020.

Na poučnoj stazi postaviti će se i dvije orijentacijske ploče s prikazom rute na mjestima ulaza na stazu (Sl. 31). Orijetacijska ploča, osim prikaza rute, sadrži i osnovne informacije o stazi kao što je duljina, težina i trajanje obilaska staze, kao i smjernice ponašanja. Težina staze određena je s obzirom na njezinu duljinu i trajanje, karakteristike terene te visinsku razliku.



Sl. 31. Orijetacijska poučna ploča s prikazom rute.

Na poučnim pločama koje se nalaze uz lokalitete biti će dostupan QR kod sa internetskom kartom poučne staze kako bi se posjetitelji mogli lakše orijentirati.

Internetska karta poučne staze također je dostupna na poveznici:

https://www.google.com/maps/d/edit?mid=10GL5r14Vz6_JGYk_232W_IJsnPEGsM&usp=s_haring

7.1.1.1. Vilinske jame

Jedina obrađena špilja nastala u sedri u Samoborskom gorju upravo je špilja Vilinske jame (Buzjak, 2002). Zbog svojih jedinstvenih karakteristika ova špilja zaslužuje veću pozornost i posjećenost, stoga je upravo ona određena kao glavna lokacija preporučene poučne staze (Sl. 32).

Vilinske jame – Fairy Caves

Špilja, danas suha i napuštena, priča priču o svojoj prošlosti. Stijena od koje je sastavljena nastala je u vodi, a prema predaji nekada su ovdje živjele vile.

Vilinske jame posebne su zbog stijene koja ih gradi, a to je sedra. Sedra je stijena koja se taložila iz potoka bogatog otopljenim kalcijevim karbonatom. Prelaskom potoka preko strme stijene došlo je do većeg raspršivanja i oslobađanja ugljikovog dioksida što dovodi do kemijske reakcije odvajanja i taloženja kalcita. Kalcit se primao za postojeću floru, najčešće mahovine te je stijena često zadržala oblik biljaka na kojima se taložila.

Potok u kojem su nastale Vilinske jame promijenio je smjer i taloženje sedre je prestalo. Naknadnim taloženjem, najčešće vodom prokapsnicom, nastali su brojni oblici siga. Stalaktiti, stalagmiti, saljevi i kaskade najčešće su sige unutar Vilinskih jama.

Stalaktiti Stalactites

Kaskade Cascades

Šupljkavost sedre The tufa porous

OPREZI! Sedra je lako lomljiva, stoga ne dirajte stijene. Ponesite svjetlo u špilju i pazite na niske dijelove stropa!

CAUTION! Tufa is easily broken, so do not touch the rocks. Take the light into the cave and watch out for the low parts of the ceiling!

Ulaz u Vilinske jame Entrance to Fairy Caves

Vilinske jame dobile su ime po pričama kako su ovdje nekada živjele vile. Vile su opisane kao mlade, lijepe djevojke koje su noću dolazile i pomagale dobrim mještanima. Vile su iz Vilinskih jama nestale nakon što je ubijen njihov gospodar - „vilovnak“.

The Fairy Caves got their name from the stories that fairies once lived here. The fairies were described as young, beautiful girls who came at night and helped the good locals. The fairies disappeared from the Fairy Caves after their master - the „fairyman“ - was killed.

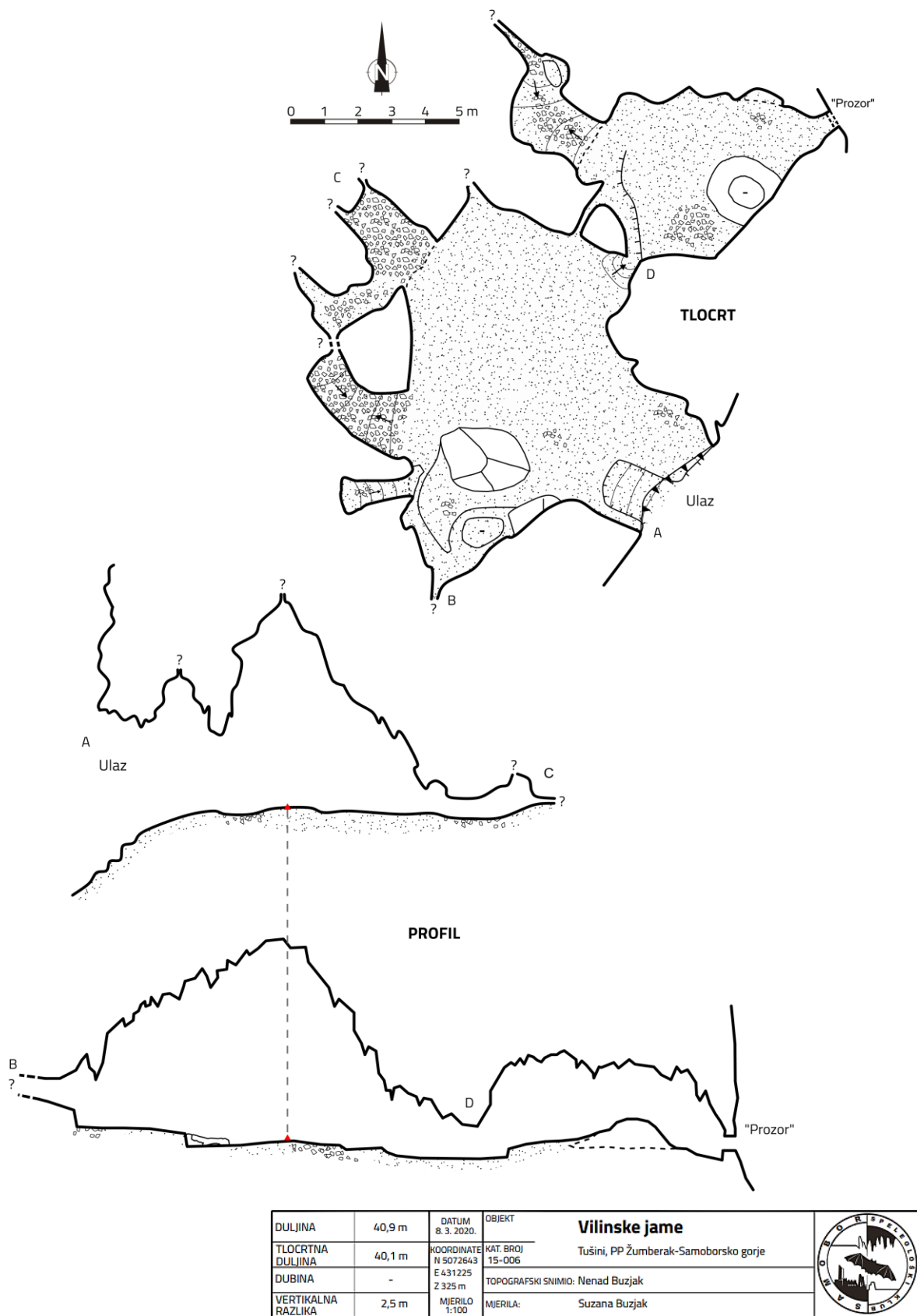
The cave, today dry and abandoned, tells the story of its past. The rock it is made of was formed in the water, and according to legend, fairies once lived here.

Fairy Caves are special because of the rock that builds them, which is tufa. Tufa is a rock that was deposited from a stream rich in dissolved calcium carbonate. When stream was crossing over the steep rock, there was a greater dispersion and release of carbon dioxide, which leads to a chemical reaction of separation and precipitation of calcite. Calcite was accepted for the existing flora, most often mosses, and the rock often retained the shape of the plants on which it was deposited.

The stream in which the Fairy Caves were created changed its direction and the deposition of tufa stopped. Numerous forms of calcite flowstones were created by subsequent deposition, most often by dripping. Stalactites, stalagmites and cascades are the most common sights inside the Fairy Caves.

Sl. 32. Poučna ploča Vilinske jame.

Vilinske jame nalaze se na 300 metara nadmorske visine na lijevoj obali potoka Breganice, nedaleko od naselja Tušini. Ulaz u špilju okrenut je prema jugozapadu s visinom i širinom većom od 3 metra. Špilja se sastoji od tri dvorane od kojih je najveća prva dvorana kojoj je najduža os dugačka 11 metara i 60 centimetara (Sl. 33). Ulaz u drugu dvoranu visok je 1 metar, a najdulja os druge dvorane paralelna je s najduljom osi prve dvorane i iznosi 5 metara i 70 centimetara. Treća dvorana najmanja je u duljini 1 metar i 60 centimetara (Poljak, 1933).



Sl. 33. Tlocrt i profil špilje Vilinske jame.

Izvor: Arhiva Speleološkog kluba Samobor, n.d.

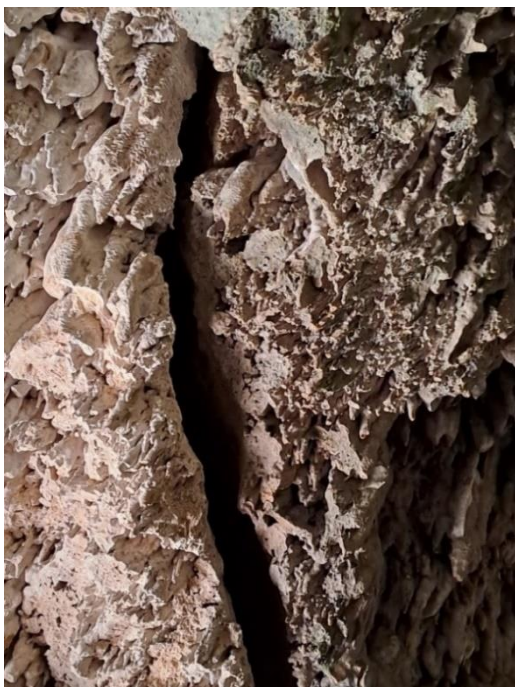
Kao što je već spomenuto, Vilinske jame razlikuju se od okolnih špilja zato što nisu nastale korozivnim djelovanjem, dakle denudacijom već taloženjem sedre, dakle akumulacijom. Za nastanak ove špilje vrlo je bitna litologija okolnog prostora, odnosno postojanje karbonata, posebice vapnenaca. Na litološkim granicama između pretežno dolomita i sloja breča, konglomerata i vapnenca unutar istraživanog područja često izbijaju izvori. Ti izvori su puni kalcijeva karbonata koji je nastao otapanjem vapnenca i dolomita. Ulijevajući se u potok Breganicu i prelaskom vodotoka preko strme padine dolazi do većeg raspršivanja vode i oslobađanja ugljikovog dioksida iz otopine, što uzrokuje taloženje sedre. Postojanje flore, ponajprije mahovina, na mjestu pada vode pospješilo je primanje i zadržavanje sitnih kristala kalcita koji su nakon taloženja zadržali oblik izvornih biljaka na kojima su se taložili. Talloženjem većih količina sedre nastala je strma barijera koja je počela razdvajati sam tok od strme nataložene stijene. Postepeno se na barijeru počela nadovezivati brada koja se taložila u smjeru pada vode te postupno zatvorila šupljinu, odnosno prostor koji je daljnjim taloženjem sedre pretvoren u špilju kakvu poznajemo danas. Danas Vilinske jame nisu više hidrološki aktivne, a voda se u špilji nalazi u obliku vode prokapnice koja se procjeđuje s površine i kaplje sa stropa i cijednice koja se cijedi po stijenama za vrijeme jačih oborina i na mjestima kondenzacije u špilji. Razlog tome je taj što je vodotok koji je stvorio Vilinske jame promijenio smjer i danas teče oko 25 metara sjevernije od prijašnjeg toka (Poljak, 1933). Nakon što je tok izmaknut, špilja je poprimila obujam kakav ima i danas, međutim taloženje se nastavilo u drugom obliku. Počelo je taloženje siga, koje danas prikrivaju gotovo cijeli svod te dio zidova i tla špilje te joj daju poseban izgled. U razmjerno kratkom geološkom vremenu u špilji se nataložila velika količina siga. Sige su u Vilinskim jamama vrlo bitne jer su obložile sedru te je tako štite od raspadanja. Sigovina je puno čvršća od sedre te ju štiti od ljudskih utjecaja ali i od mehaničkog trošenja. U Vilinskim jamama postoji puno vrsta siga koje se mogu interpretirati, to su: stalaktiti, stalagmiti, saljevi, kaskade, koraloidi i obalne ploče. Stalaktiti su izdužene sige koje vise sa stropa špilje i nastaju kristalizacijom kapljica koje dolaze iz pukotina na stropu. Stalagmiti su sige nastale na špiljskom dnu iz kapljica koje padaju sa stropa i stvaraju tanki film koji se kristalizira u obliku lamina. Saljev je vrsta siga koja često podsjeća na kameni vodopad, a nastaje kristalizacijom iz tankog fila vode, polaganim prelijevanjem. Kaskade nastaju kristalizacijom na neravnom podu špilje iz tankog filma vode gdje se stvaraju barijere iza koji se akumulira voda. Koraloidi su sige koje svojim izgledom podsjećaju na koralje, a nastaju najčešće kristalizacijom kapljica koje se raspršuju (Bočić, 2016). Obalne ploče vodoravni su oblici siga koji nastaju kristalizacijom na rubu mirne površine jezerca (Speleološki odsjek Velebit, 2008).

Od živog svijeta u špilji se mogu pronaći životinje poput šišmiša i raznih kukaca (pauci, leptiri i špiljski konjici). Također, ostatci kostiju manjih životinja upućuju na to da špilju posjećuju i pojedine vrste sisavaca poput lisica i kuna. Kako u špilju dopire dosta svjetla na stijenama se mogu uočiti brojne vrste mahovina i lišajeva, čak i pojedine vrste gljiva (Sl. 34). Uočeno je kako korijenje biljaka s vanjske strane špilje prodire kroz stijene u njezinu unutrašnjost te tako uništava vrlo krhku sedru koja se zbog toga jače lomi i puca. Korijenje biljaka je danas, uz antropogeni utjecaj, najveća prijetnja špilji.



Sl. 34. Živi svijet u Vilinskim jamama (šišmiš, špiljski konjic i mahovina).

Zbog velikih dimenzija ulaza, prva dvorana je potpuno osvijetljena, svjetlost ne dopire samo do većih udubljenja. Prva dvorana sastavljena je od sedre, izuzev jugozapadnog dijela dvorane koji se sastoji od dolomita presvučenog naslagama sedre (Poljak, 1933). Strop špilje ispunjen je stalaktitima koji na žalost nisu ostali očuvani te su gotovo svi vrhovi stalaktita otrgnuti. Sige su se spuštale s ulaza u špilju, međutim otrgnute su što je znatno povećalo samu visinu ulaza. Pod je prikriven rastresitim materijalom, prahom, tlom, kršjem i komadićima sedre. S lijeve strane od ulaska u prvu dvoranu nalazi se pukotina (Sl.35). Pukotina se rasprostire od zidova do stropa dvorane te je toliko duboka da povezuje dvoranu s površinom. Tektonskog je postanka i vrlo je vjerojatno dodatno proširena korozijom. Raizer, (1911.) upravo je zbog te pukotine posumnjao da su Vilinske jame pukotinskog podrijetla što je kasnije opovrgnuo Poljak (1933).



Sl. 35. Pukotina u Vilinskim jamama.

Ulaz u drugu dvoranu antropogeno je povećan, odnosno iskopan je dio sedimenta na podu kako bi pristup iz prve u drugu dvoranu bio lakši. Iako je druga dvorana povezana s vanjštinom kroz okno ili „prozor“ ono ne propušta puno svjetlosti. U bočnim zidovima prolaza iz prve u drugu dvoranu mogu se primijetiti obalne ploče koje vrlo dobro pokazuju nekadašnju razinu vode u špilji (Sl. 36). Druga dvorana bogata je sigama i sedrom vrlo izražene šupljikavosti gdje se jasno vide obrisi nekadašnjih biljaka na koje se sedra taložila. Ovaj vrlo privlačan oblik sedre nalazi se u drugoj dvorani na sjeveroistočnom zidu iznad okna. Gotovo cijeli strop dvorane prikrivaju sige, u dvorani je najviše stalaktita, ali postoji i nekoliko stalagmita. Tlo dvorane prekriveno je, kao i u prvoj dvorani, rastresitim materijalom otpalih komada sedre i siga. Gotovo je svaki stalaktit otkinut, što može dobro poslužiti za edukaciju o nastanku stalaktita zbog dobre vidljivosti inicijalne cjevčice i slojevitog širenja stalaktita. Najveća siga u dvorani nalazi se kod ulaza u treću dvoranu i proteže se od stropa do nekoliko desetaka centimetara od tla. Spomenuta siga ustvari je saljev koji nastaje polaganim prelijevanjem vode niz stijenu (Hill i Forti, 1997). Na saljevu vrlo je dobro vidljiva granica njenog taloženja te slojevi koji predstavljaju nekadašnje razine vode u špilji kako se saljev taložio samo do razine vode (Sl. 33). Na stijenama ispod spomenutog saljeva nalaze se i tako zvane koraljaste sige. Iako se većina koraljastih siga formira na zraku, pretpostavlja se kako su one u Vilinskim jamama formirane u vodi. Postoji jasna linija iznad koje se koraljaste sige ne pojavljuju što ukazuje na nekadašnju razinu vode u špilji.



Sl. 36. Obalne ploče na prolazu iz prve u drugu dvoranu (lijevo) i saljev u drugoj dvorani (desno).

Ulaz u treću dvoranu vrlo je nizak i teško prohodan stoga je ova dvorana bila i najmanje istraživana. Treća dvorana je ujedno i površinom najmanja dvorana. Dvorana je upravo zbog teže dostupnosti manje devastirana nego prve dvije, međutim većina stalaktita je svejedno otkinuta. Dvorana je vrlo atraktivna, zbog koraljastih sigi koje se protežu cijelom dužinom na donjim stijenama u blizini tla, dok se ostatak dvorane sastoji od sigi nastalih kapanjem i prelijevanjem vode s lijepim primjerom jedne veće i očuvane sige, stalaktita čije je taloženje također završilo na nekadašnjoj razini vode u jezercu unutar špilje (Sl. 37.). U trećoj dvorani zrak se najviše kondenzira u usporedbi s prve dvije te kapljice vode daju svjetlucavi efekt na stijenama.



Sl. 37. Koraljaste sige (lijevo) i veći stalaktit (desno) u trećoj dvorani špilje Vilinske jame

7.1.1.1.1. Antropogeni utjecaj u Vilinskim jamama

Vilinske jame je špilja koja je lako dostupna i vrlo mala stoga ju je lagano cijelu istražiti. U špilji postoje vidljivi dokazi kako je ona dugo vremena devastirana od strane čovjeka. Jedan od najboljih pokazatelja ranog antropogenog utjecaja nalazi se u drugoj dvorani na istočnoj strani gdje je mali otvor ili „prozor“ koji dovodi danje svjetlo u dvoranu (Sl. 38). Ne zna se sa sigurnošću da li je otvor prirodno ili antropogeno formiran, ali zbog svojih pravilnih dimenzija može se naslutiti kako je napravljen antropogeno vjerojatno za obrambenu funkciju. Najveća šteta napravljena je trganjem stalaktita. Gotovo je svaki stalaktit unutar špilje uništen te su im otkinuti vrhovi, što predstavlja veliku štetu i uništilo je značaj ali i estetiku same špilje. Ljudi su vandalizirali špilju ne samo trganjem stiga, već i šaranjem i ostavljanjem potpisa unutar špilje (Sl. 38). Osim toga u špilji su nađeni brojni strani predmeti koji su teško razgrađivi i u stvari predstavljaju otpad (baloni, novine, konci, perlice i sl.). Upravo su ovakvi oblici devastacije razlog zašto se na ovom mjestu moraju postaviti poučne ploče, kako bi se educiralo posjetitelje o važnostima očuvanja špilje i okolnog prostora. Osim uvođenja poučne staze špilju treba redovito obilaziti stručno osoblje kako bi se stanje špilje što bolje očuvalo. Vođene ture također bi pridonijele povećanju svjesnosti stanovništva kako se treba ponašati na lokalitetima velike geomorfološke, geološke i ekološke važnosti.



Sl. 38. Antropogeni utjecaj u špilji- „prozor“ (lijevo), otrgnut stalaktit (desno gore), potpisi u špilji (desno dolje).

7.1.1.2. Sedreni slap

Sedreni slap nalazi se na lijevoj obali potoka Breganice na 278 metara nadmorske visine. Slap je nastao potokom koji se ulijeva u Breganicu, a nekada je taj potok, prije nego je promijenio smjer tečenja, taložio sedru Vilinskih jama. Potok je prelaskom strmine prije ulijevanja u Breganicu počeo biti turbulentniji i došlo je do većeg raspršivanja vode, što pogoduje oslobađanju ugljikovog dioksida. Oslobađanjem ugljikovog dioksida, gubi se ravnoteža u otopini i kalcijev karbonat se može taložiti. Ovaj tip sedre rijedak je jer nastaje na maloj površini i sama turbulentnost vode na strmini često uništi naslage sedre (Pedley, 1990). Potok je stvorio sloj sedre ne kojem je izrasla mahovina koja pospješuje daljnje taloženje sedre. Sedra je ovdje najčešće u početnoj fazi taloženja gdje tanki slojevi prikrivaju mahovine i ostalu vegetaciju i zbog toga je još više lomljiva nego ostali tipovi sedre. Ova lokacija prikladna je za edukaciju, zbog prikaza trenutačnog procesa taloženja sedre (Sl. 39). Također, lokacija je estetski vrlo privlačna što će privlačiti posjetitelje.

Sedreni slap – Tufa waterfall

Zeleni pokrov i obilje vode skrivaju sedru na kojoj teče slap.

Iz samog naziva slapa može se naslutiti kako je on nastao u sedri. Potok iz kojeg se nekada sedra taložila u Vilinskim jamama, promijenio je smjer i danas prelazi preko Sedreog slapa. Sedra se taloži prilikom oslobađanja ugljikovog dioksida iz otopine bogate otopljenim kalcijevim bikarbonatom, odnosno kemijskom formulom kristalizacije:

$$\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Kako bi se kalcit istaložio potrebna je neravnoteža u otopini koja se dobiva oslobađanjem CO_2 . Parcijalni tlak ugljikovog dioksida u vodi uglavnom je veći od atmosferskog što omogućuje oslobađanje CO_2 iz otopine. Otplinjavanje ugljikovog dioksida veće je mjestima raspršivanja vode jer je onda većom površinom u kontaktu s atmosferom, na primjer kod vodopada i slapova. Nakon otplinjavanja CO_2 dolazi do formiranja minerala kalcita. Daljnje taloženje kalcita može biti organsko i anorgansko. Na sedrenom slapu taloženje je organsko jer vegetacija, posebno mahovine, ima bitnu ulogu u zadržavanju izlučenih minerala kalcita.

OPREZ! Ne dirajte divlje životinje, neke su možda zaštićene ili otrovne!

CAUTION! Do not touch wild animals, some may be protected or poisonous!

The green cover and abundance of water hide the tufa on which the waterfall flows.

From the very name of the waterfall, it can be guessed that it was created in tufa. The stream from which tufa was once deposited in the Fairy Caves changed its direction and today crosses the Tufa waterfall. Tufa is deposited during the release of carbon dioxide from a solution rich in dissolved calcium bicarbonate, i.e. the chemical formula of crystallization:

$$\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

In order for calcite to precipitate, an imbalance in the solution is needed, which is obtained by the release of CO_2 . The partial pressure of carbon dioxide in water is generally higher than the atmospheric pressure, which enables the release of CO_2 from the solution. The degassing of carbon dioxide is greater in places where the water is dispersed because then there is a larger surface area in contact with the atmosphere, for example at waterfalls and cascades. After the degassing of CO_2 , the mineral calcite is formed. Further deposition of calcite can be organic and inorganic. At the tufa waterfall, deposition is organic because vegetation, especially mosses, plays an important role in retaining the excreted calcite minerals.

Formirana sedra na Sedrenom slapu
Formed tufa on Tufa waterfall

Sedreni slap
Tufa waterfall

Pjegavi datvevjak
Spotted salamander

ZUMBERAK SAMOBORSKO GORJE
PARKOVI HRVATSKE
POUČNA STAZA
EDUCATIONAL TRAIL

Sl. 39. Poučna ploča Sedreni slap.

7.1.1.3. Sedreni mlin

Napušteni mlin nalazi se na potoku Breganica, a građen je od blokova sedre. Sedra je, za razliku od ostalih stijena, lagan materijal, koji se lako vadi i oblikuje (Roje-Bonacci i Bonacci, 2006). Uz to sedra je česta u okolici zaseoka Tušini, stoga ne čudi kako je upravo ovaj materijal odabran za izgradnju mlina. Zbog malog komercijalnog uzgoja žitarica mlinovi nisu bili česti na Samoborskom gorju. Na području Žumberka i Samoborskog gorja stanovnici su većinom uzgajali žitarice za vlastite potrebe. Najviše se uzgajala pšenica i kukuruz najčešće kao hrana za stoku, ali i za ljudsku prehranu (Župančić, 1996). Mlinovi na Samoborskom gorju tradicionalno su drveni što je još jedan razlog jedinstvenosti i posebnost ovog mlina građenog od sedre (Roje-Bonacci i Bonacci, 2006). Mlin je nekada koristio snagu vode za usitnjavanje žitarica, a danas je opstao samo donji dio građevine. Silazak do mlina teško je dostupan, potrebno je proći strminu do potoka, stoga se preporučuje gledanje mlina sa staze (Sl. 40).

Sedreni mlin – Tufa mill

Građevina koja prikazuje skromnu povijest nekadašnjih djelatnosti i korištenja dostupnih materijala.

Na Samoborskom gorju žitarice se nisu sadile koliko u ostalim krajevima, stoga ni mlinovi nisu bili toliko česti. Sedreni mlin savršeni je primjer iskorištavanja lokalnih materijala. Većina građevina na Samoborskom gorju građene su od drveta, međutim ondje gdje je bilo sedre ona se koristila kao materijal za gradnju.

Sedra je, u odnosu na ostale stijene, lagan materijal, lako dostupan i lak za obradu. Sedra je stijena koja se sporo taloži pa ne može više ispuniti današnje građevinske potrebe. U okolici mlina još uvijek postoji taložena sedra koja se više ne iskorištava za građevinski materijal, ali sada može poslužiti za edukaciju.

OPREZI! U blizini mlina može doći do pojave klizišta!
CAUTION! Landslides may occur near the mill!

A building that shows a modest history of former activities and the use of available materials.

Cereals were not planted in the Samobor Mountains as much as in other regions therefore mills were not so common. The tufa mill is a perfect example of using local materials. Most of the buildings on the Samobor Mountains were built of wood, however, where there was tufa, it was used as a building material.

Compared to other rocks, tufa is a light material, easily available and easy to process. Tufa is a rock that deposits slowly, so it can no longer fulfill today's construction needs. In the vicinity of the mill, there is still deposited travertine, which is no longer used as a building material, but can now be used for education.

POUČNA PLOČA
EDUCATIONAL TRAIL

ZUMBERAK SAMOBORSKO GORJE
PARKOVI HRVATSKE

Sedreni mlin
Tufa mill
Klizište
Landslide
Sedra u blizini mlina
Tufa near the mill

Sl. 40. Poučna ploča sedreni mlin.

7.1.1.4. Kuća od sedre

Sedra se koristi kao građevinski materijal već tisućama godina, na mjestima gdje je ima u izobilju. Rimljani su bili posebno poznati po gradnji sedrenih građevina pa su cijela sela koja bi se nalazila u područjima bogatim sedrom gradila od sedre. Brojne poznate rimske građevine također su građene od sedre (Capezzuoli i dr., 2009). Sedra predstavlja vrlo kvalitetan građevinski materijal, koji je lak za obradu. Vrlo se lako obrađuje, oblikuje i polira. Stijenu je lakše oblikovati dok je mokra, međutim kada se osuši sedra dobiva na čvrstoći. Sedra se najčešće vadi u manjim blokovima te se takva koristi za gradnju. Osim lake obrade, sedra je i vrlo dobra kao izolator od topline, odnosno hladnoće i buke, što omogućuje njezina šupljikava struktura. Sedra danas nije toliko dostupna pa se više ne koristi u tolikim razmjerima za gradnju. Danas sedra najviše služi za edukaciju, zaštitu i divljenje zbog svojih jedinstvenih uvjeta taloženja i rijetkosti (Sl. 41). Kuća od sedre se u budućnosti može iskoristiti i pretvoriti u posjetiteljski centar.

The poster features a green background with white text and images. At the top right, there are logos for 'ŽUMBERAK SAMOBORSKO GORJE' and 'PARKOVI HRVATSKE', along with a QR code labeled 'POUČNA STAZA' and 'EDUCATIONAL TRAIL'. The main title 'Kuća od sedre – Tufa house' is in a large, bold font. Below the title, there are two columns of text. The left column contains a short introduction and a detailed paragraph about the material's history and properties. The right column contains a short introduction and a detailed paragraph about the material's history and properties. In the center, there is a photograph of a stone house with a thatched roof. Below the photograph, there are two small images of stone blocks, one labeled 'Sedreni blok' and the other 'Tufa blok'.

Kuća od sedre – Tufa house

Od velikih Rimljana pa sve do manjih ljudi sa sela, znala se kvaliteta koju ima sedra.

Kuća građena od sedre još i danas stoji neiskorištena i napuštena. Ova kuća dokaz je koliko su mještani iskorištavali dostupne materijale. Sedra je iznimno poželjan materijal za gradnju. Vrlo lako se obrađuje, pogotovo vlažna stijena, a kada se osuši iznimne je čvrstoće. Sedra se obrađivala u blokove te se takva koristila za gradnju. Sedra je zbog svoje šupljikavosti vrlo dobar izolator topline i buke.

Sedra se kao građevinski materijal koristi već nekoliko tisuća godina, a koristili su je Egipćani i Rimljani. Sedra se danas rijetko koristi kao građevinski materijal, najviše zbog njezine male dostupnosti. Sedra je prirodan materijal boljih građevinskih svojstva od većine suvremenih industrijski proizvedenih materijala.

From the great Romans to the smaller people from the countryside, the quality of tufa was known.

The house built of tufa still stands today unused and abandoned. This house is proof of how well the locals used the available materials. Tufais an extremely desirable building material. It is very easy to process, especially wet rock, and when it dries it is extremely strong. Tufa was processed into blocks and used as such for construction. Because of its porosity, travertine is a very good insulator of heat and noise.

Tufa has been used as a building material for several thousand years, and was used by the Egyptians and Romans. Today, travertine is rarely used as a building material, mostly due to its low availability. Travertine is a natural material with better construction properties than most modern industrially produced materials.

Kuća od sedre
Tufa house

Sedreni blok
Tufa blok

Sl. 41. Poučna ploča kuća od sedre.

7.1.1.5. Jaruga

Jaruga je izduženi reljefni oblik koji nastaje destruktivnim djelovanjem koncentriranog linijskog toka na padini (Benac, 2016). Za nastanak jaruga potrebna je snažna destruktivna sila koja se postiže prenošenjem rastresitog materijala bujičnim tokovima niz padinu. Jaruge se javljaju u mehanizmu voda gornjeg toka gdje prevladava linijska denudacija, stoga one imaju poprečni presjek oblika slova V. Smanjenjem nagiba sve više dolazi do bočne erozije. Iako se jaruge formiraju destrukcijom padine, one su vrlo važne jer se njima prenosi materijal koji je erodiran i prenesen padinskim procesima. Materijal se u jarugama prenosi sve do dna padine gdje se taloži i formira proluvijalna plavina (Sharma, 1982). Jaruge se najviše vežu uz fluviudenudacijski i fluviokrški tip reljefa u dolomitima poput onoga u istraživanom području. Tijekom trasiranja poučne staze pronađene su tri veće jaruge (Sl. 42), sve se nalaze na dolomitima.

Jaruga - Ravine

Mala jaruga, velike snage. Djeluje destruktivno na padinu, a u isto vrijeme stvara proluvijalnu plavinu na njezinom dnu.

Jaruga nastaje snažnom erozijom bujičnih tokova. Erozijski procesi predstavljaju egzogeni proces prijenosa, transporta i odvajanja čestica različitim agensima, u ovom slučaju vodom. Prevladava linijska denudacija koja stvara korito oblika slova V. Materijal koji padinskim procesima završi u jaruzi transportiran je i taloži se na dnu jaruge u proluvijalnu plavinu.

Jaruge se najbolje formiraju na podlozi izgrađenoj od nepropusnih stijena. Međutim, postoje i na područjima propusnih stijena gdje je moguće površinsko otjecanje, odnosno gdje je koeficijent otjecanja veći od poniranja. U ovom slučaju jaruge su se formirale na dolomitima.

JESTE LI ZNALI? Jaruge mogu postati riječne doline, kada dođe do smanjenja nagiba i povećanja bočne erozije.

DID YOU KNOW? Ravines can become river valleys, when there is a decrease in slope and an increase in lateral erosion.

A small ravine, great strength. It has a destructive effect on the slope, and at the same time creates a proluvial fan at its bottom.

The ravine is formed by strong erosion of torrential flows. Erosion is an exogenous process of transfer, transport and separation of particles by different agents, in this case water. Deep linear denudation prevails, which creates a V-shaped bed. The material that ends up in the ravine due to slope processes is transported and deposited at the bottom of the ravine in the proluvial fan.

Ravines are best formed on a base built of impermeable rocks. Ravines also exist in areas of permeable rocks where surface runoff is possible, i.e. where the coefficient of runoff is greater than sinking. In this case, ravines were formed on dolomites.

Profil jaruge V oblika V-shaped ravine profile

Horizontal Distance (m)	Vertical Elevation (m)
0	550
50	540
100	530
150	520
200	510
250	520
300	540
350	550

Sl. 42. Poučna ploča jaruga.

7.1.1.6. Izvor

Izvor je mjesto gdje voda izbija na površinu i formira vodotok. Izvori izbijaju na kontaktima propusnih i nepropusnih ili slabije propusnih stijena. Izvori su vrlo bitni za ovo područje, zato što upravo oni pružaju vodu koja je dovoljno bogata kalcijevim karbonatom i stvara uvjete za taloženje sedre na površini. Iz tog razloga interpretacija izvora je vrlo važna (Sl. 43). Izvori koji se nalaze odmah uz stazu antropogeno su izmijenjeni, a oni potpuno prirodni nalaze se na padini koja je vidljiva sa staze ali teško dostupna. Postoji nekoliko različitih klasifikacija izvora u svijetu, ali većina njih svodi se na 5 istih tipova izvora. Ti tipovi izvora su: su reokreni, limnokreni, helokreni i špiljski izvori te gejziri. Reokreni izvori su oni koji otječu i tvore jedno ili više korita. Limnokreni su jezerski ili lokvasti izvori, dok su heliokreni oni gdje voda izvire iz močvarnog područja blagog nagiba. Špiljski izvori pojavljuju se u špiljama okršenih područja, a gejziri predstavljaju eksplozivne izvore vruće vode (Martinić, 2022). Izvori su brojni na Samoborskom gorju što je pripomoglo oblikovanju današnjeg reljefa gustih drenažnih mreža. U blizini izvora nalaze se brojne kuće što je olakšavalo dostupnost vode za stanovništvo.

Izvor - Spring

Mjesto gdje sve počinje. Izvor stvara vodu, a voda stvara sedru.

Izvor je mjesto gdje voda izlazi na površinu. Voda koja izbija najčešće formira vodotok manjeg intenziteta. Ulijevanjem više vodotoka formira se veća tekućica. Izvori na ovom području izbijaju na granici različitih litoloških podloga, odnosno na granici propusnih i nepropusnih stijena. Voda koja je tekla podzemno u propusnim vapnencima, konglomeratima i brečama kada dođe u kontakt s manje propusnim dolomitima počinje teći površinski.

Na izvorima izbija voda puna otopljenih minerala koje je otopila prilikom svog podzemnog otjecanja. U podzemlju su otopljene i velike količine kalcijeva karbonata koji je ključan za stvaranje sedre na površini.

Antropogeno izmijenjeni izvori
Anthropogenically modified springs

Prirodan izvor
Natural spring

The place where it all begins. The spring creates water, and water creates tufa.

A spring is a place where water comes to the surface. The water that springs most often forms a stream of lesser intensity. By connecting more water streams, a river is formed. Springs in this area emerge at the border of different lithological substrates, i.e. at the border of permeable and impermeable rocks. Water that flowed underground in permeable limestones, conglomerates and breccias, when it comes into contact with less permeable dolomites, begins to flow on the surface.

At the springs, water bursts out full of dissolved minerals that it dissolved during its underground runoff. Large amounts of calcium carbonate, which is crucial for the formation of tufa on the surface, are also dissolved in the underground.

OPREZ! Ne ostavljajte otpad oko izvora kako ga ne biste kontaminirali!

CAUTION! Do not leave waste around the spring so you would not contaminate it!

ŽUMBERAK SAMOBORSKO GORJE

PARKOVI HRVATSKE

POLIČNA STAZA
EDUCATIONAL TRAIL

Sl. 43. Poučna ploča izvor.

7.1.1.7. Puženje

Puženje je arealni padinski proces sporog kretanja. Uvjeti za njegovu pojavu su sljedeći: postojanje regolita, padina i samim time gravitacijsko djelovanje na njoj te voda, odnosno padaline koje će natopiti regolit i omogućiti njegovo kretanje. Puženje je najsporiji padinski proces koji obuhvaća kretanje regolita niz padinu, a to kretanje iznosi samo nekoliko centimetara godišnje (Strahler, 1952a). Kretanje regolita kod puženja ne može se primijetiti u realnom vremenu, međutim postoje indikatori koji ukazuju na proces puženja. Indikatori mogu biti valovite, izdužene male izbočine na tlu ili koljenasto povijena stabla (Sl. 44). Ovakva stabla lako su prepoznatljiva zbog svog povijenog dna koje je nastalo prilikom istovremenog kretanja tla i rasta stabla u suprotnim smjerovima. Puženje se razlikuje od ostalih padinskih procesa ne samo po sporosti djelovanja, već i po manjem intenzitetu procesa i vjerojatnosti da će ono zahvatiti veća područja. Iako proces puženja nije toliko destruktivan kao ostali padinski procesi i dalje može iznimno negativno utjecati na ljudsku infrastrukturu i građevine. Puženje može izazvati pucanje u cestama, građevinama, nasipima i ogradama, može naginjati stupove, ograde i proizvesti štetu ostaloj ljudskoj infrastrukturi.

Puženje - Creeping

Neprimjetno i sporo tlo se miče, dok stabla pokušavaju ostati na mjestu.

Puženje je padinski proces kretanja regolita niz padinu. Regolit se kod puženja pomiče vrlo sporo, samo nekoliko centimetara godišnje. Puženje je manje intenzivan proces u odnosu na druge padinske procese ali može zahvatiti velike površine.

Proces puženja teško je uočiti zbog njegove sporosti, ali može se prepoznati prema jednom pokazatelju. Koljenasto povijena stabla najbolji su pokazatelj puženja. Dok se regolit pomiče niz padinu, stabla se pomiču prema Suncu te se tako povijaju pri dnu. Puženje je najveće u površinskom dijelu zemlje i dok je zemlja vlažna. Ovaj proces može jako štetno djelovati na ljudske građevine i infrastrukturu.

Osim puženja uz poučnu stazu uočena su i drugi padinski procesi kao što su klizišta.

ZANIMLJIVOST!
Puženje je najsporiji padinski proces.

INTERESTING!
Creeping is the slowest slope process.

Povijena stabla kao indikator puženja
Bent trees as an indicator of creep

Unnoticed and slowly, the soil moves, while the trees try to stay in place.

Creeping is a slope process of regolith movement down the slope. When creeping, the regolith moves very slowly, only a few centimeters per year. Creeping is a less intensive process compared to other slope processes, but it can affect large areas.

The process of creeping is difficult to notice because of its slowness, but it can be recognized by one indicator. Bent trees are the best indicator of creep. As the regolith moves down the slope, the trees move towards the Sun and thus bend at the bottom. Creep is greatest in the surface part of the soil and while the soil is moist. This process can have a very harmful effect on human buildings and infrastructure.

In addition to creeping along the educational trail, other slope processes such as landslides were also observed.

ŽUMBERAK SAMOBORSKO GORJE

PARKOVI HRVATSKE

POUČNA STAZA
EDUCATIONAL TRAIL

Sl. 44. Poučna ploča puženje.

7.2.Primjeri interpretacije s 3D modelima

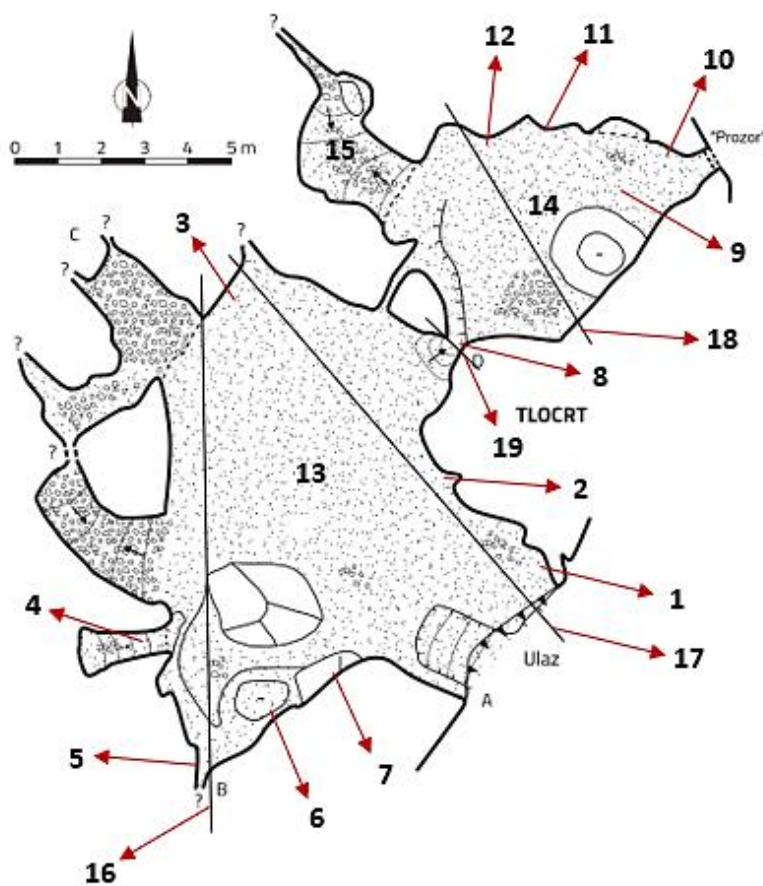
3D modeli omogućuju virtualni pregled objekta te tako pružaju informacije i interpretiraju objekt bez potrebe za dolaskom posjetitelja na samu lokaciju objekta. Ovakav način interpretacije povećao bi broj korisnika i omogućio bi vrlo brzo širenje informacija i edukaciju. Ovakav sadržaj može se interpretirati kroz samostalan pregled i okretanje 3D modela ili kroz izrađen video 3D objekta. Informacije o objektu mogu se prenijeti tekstualno, kroz audio sadržaje ili u obliku pitanja, kvizova i igra.

Primjer audio-vizualne interpretacije uz pomoć 3D modela dostupan je na poveznici:

<https://puh.srce.hr/s/CaGfJamaL8aSG94>

Unutar špilje Vilinske jame snimljeno je nekoliko lokacija. Dobiveni 3D modeli korišteni su kao primjer novog oblika interpretacije. Snimljeno je ukupno 19 lokacija, od čega 12 speleoloških oblika unutar špilje. Za potrebe izrade tlocrta snimljen je pod sve tri dvorane te četiri pravocrtne snimke poda, stropa i zidova koji će poslužiti za prikaz presjeka i profila dvorana (Sl. 45). Modelima su dodijeljeni prikladni nazivi i brojevi koji odgovaraju njihovoj lokaciji na prikazu.

Snimljeni 3D modeli dostupni su preko poveznice: <https://puh.srce.hr/s/qZztcwbGf9gBiif>



Sl. 45. Lokacije snimljenih 3D modela na tlocrtu Vilinskih jama.
Izvor tlocrta: Arhiva Speleološkog kluba Samobor, n.d.

Kako bi se pokazala mogućnost interpretacije i znanstvenog istraživanja uz pomoć 3D modela izvršiti će se dvije analize iz pojedinih modela snimljenih unutar Vilinskih jama. Prvim primjerom pokazati će se mogućnost izrade profila, odnosno presjeka prostorija te računanje njihovih dimenzija. Drugim primjerom pokazati će se računanje i usporedba dimenzija speleoloških oblika, u ovome slučaju saljeva.

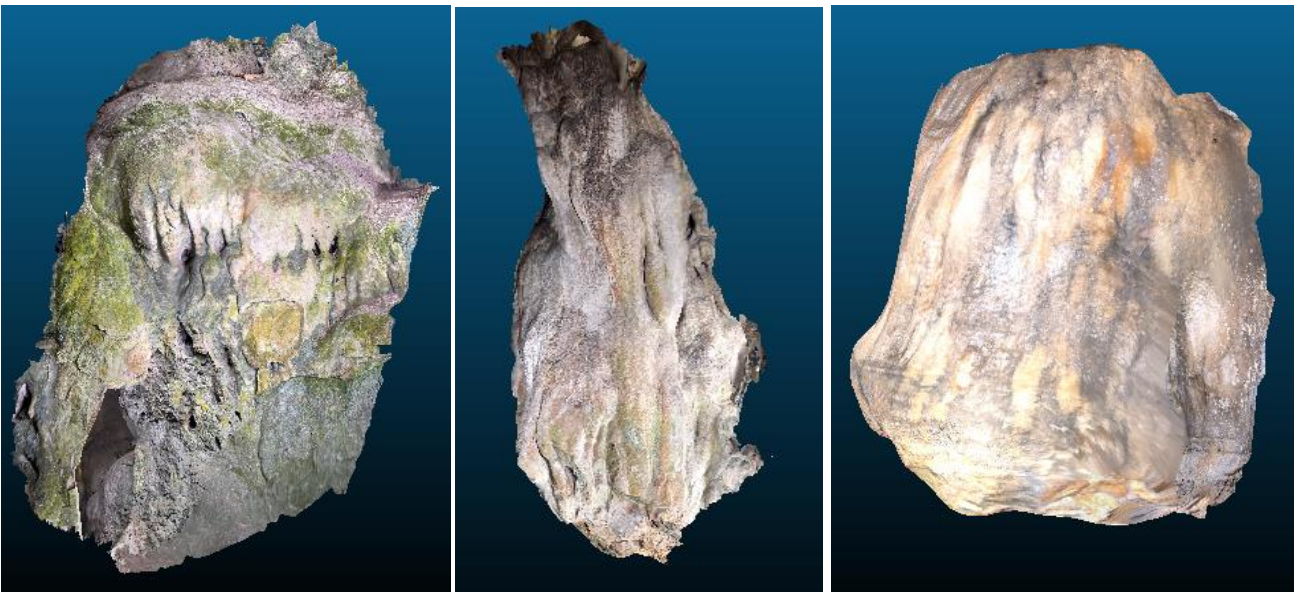
Prva analiza napravljena je na 3D modelu snimljenom u prolazu između prve u drugu dvoranu. Iz snimke je izrađen profil (Sl. 46). Presjeci i profili špilje mogu ukazivati na način njezina postanka i smjerove širenja dvorane. Iz profila i presjeka 3D modela mogu se računati visine i širine što može poslužiti kod procjene veličine objekta koji može proći određenim prostorom. Iz presjeka ulaza u drugu dvoranu unutar Vilinskih jama, izračunata je visina prolaza od jednog metra, a najmanja širina od 0,5 metara. Izračun pokazuje vrlo male dimenzije prolaza iz prve u

drugu dvoranu, stoga se posjetiteljima ne preporučuje odlazak u drugu dvoranu zbog mogućih ozljeda, udaraca i zapinjanja.



Sl. 46. Presjek ulaza iz prve u drugu dvoranu unutar Vilinskih jama.

Druga analiza obuhvaća obradu podataka 3D modela tri saljeva unutar špilje (Sl. 47). Izračunate su njihove površine te visinska razlika između najviše i najniže točke kako bi se saljevi mogli analizirati i usporediti (Tab. 3). Saljevi su vrsta siga koja nastaje kristalizacijom kalcita kod sporog slijevanja vode (Bočić, 2016.).



Sl. 47. Tri analizirana saljeva: saljev nisko – 1. dvorana (lijevo), saljev visoko – 1. dvorana (sredina) i saljev 2. dvorana (desno).

Tab. 3. Podaci o površini i visini skeniranih saljeva unutar Vilinskih jama

	Površina (m²)	Visina (m)
Saljev nisko - 1. dvorana	0,5	0,6
Saljev visoko - 1. dvorana	0,8	0,9
Saljev 2. dvorana	1,1	0,8

Iz podataka u tablici može se zaključiti kako je saljev u prvoj dvorani, koji se nalazi nisko pri tlu, najmanjih dimenzija. Saljev u drugoj dvorani najveći je površinom, ali nema najveću dužinu. Saljev u prvoj dvorani, koji se nalazi visoko na stropu, najduži je. Razlog tomu je taj što je saljev nastao u pukotini gdje mogućnosti za širenje u strane nisu postojale, zato je saljev rastao u dužinu. Položaji saljeva objašnjavaju njihove dimenzije. Saljev u drugoj dvorani naglo završava na mjestu gdje je nekada bila razina vode unutar špilje, dok se najmanji saljev formirao blizu tla zbog čega je imao ograničen prostor rasta u dužinu. Ovakva analiza dokazuje kako 3D modeli mogu biti vrlo korisni u znanstvenim istraživanjima. Isto tako, podaci i zaključci dobiveni analizom 3D modela mogu se koristiti pri interpretaciji geobaštine.

8. Zaključak

Poučne staze jedan su od najčešćih sredstva interpretacije u geoturizmu. Uspjeh poučne staze u edukaciji stanovništva ovisi o načinu interpretacije i doživljaju posjetitelja. Atraktivne lokacije, zanimljivo interpretiran sadržaj i dostupnost poučne staze bitni su kriteriji za uspjeh staze. Poučne staze doprinose očuvanju lokacija velikih vrijednosti i velike ugroženosti, dok posjetitelji uživaju u njihovim posebnostima i stvaraju ekološku svijest.

U Samoborskom gorju, nedaleko zaseoka Tušini nalazi se jedinstven speleološki objekt Vilinske jame. Iznimne edukativne i znanstvene vrijednosti ove špilje i okolnog prostora predstavljaju potencijal za geoturističku valorizaciju ovog područja. U ovom radu istražena su krajobrazna, geološka, geomorfološka, pedološka i hidrološka obilježja područja istraživanja s naglaskom na lokalitete u blizini Vilinskih jama. Određena je trasa poučne staze Vilinske jame na temelju morfometrijske analize, gustoće reljefnih oblika, terenskog rada i uvjeta uključenosti špilje Vilinske jame u poučnu stazu. Poučna staza je geomorfološke i geološke tematike s naglaskom na interpretaciji sedre. Za interpretaciju su odabrani lokaliteti unutar poučne staze koji odgovaraju tematici staze, to su: lokalitet procesa puženja, izvori, jaruge, kuća i mlin napravljeni od sedre, sedreni slap i špilja Vilinske jame. Za svaku lokaciju napravljena je poučna ploča. Predložen je i predstavljen noviji oblik interpretacije unutar poučne staze uz pomoć 3D modela. 3D modeli snimljeni su na 19 lokacija unutar špilje te je napravljen primjer audio-vizualne interpretacije na jednom snimljenom 3D modelu. Također, provedbom dvije analize koje su uključivale računanje dimenzija snimljenih objekta pokazana je moguća primjena 3D modela.

Izradom prijedloga idejnog projekta poučne staze „Vilinske jame“ u svrhu edukacije i popularizacije lokaliteta, ispunjen je glavni cilj ovoga rada. Realizacijom projekta u stvarnom svijetu ispunit će se i cilj očuvanja izvornih vrijednosti prostora. Modeliranjem pojedinih lokacija unutar špilje Vilinske jame te izradom primjera obrade i interpretacije podataka 3D modela izvršen je cilj promocije novih oblika interpretacije na Samoborskom gorju.

Literatura i izvori

Literatura

Arhiva Speleološkog kluba Samobor, n.d.: Interna baza – tlocrt i profil špilje Vilinske jame.

Baričević, S., Žižić, I., 2011: 3D modeliranje i generiranje oblaka točaka pomoću Autodesk ImageModeler-a i Photo Scene editor-a, *Ekscentar*, (14), 50-55.

Bassier, M., Vergauwen, M., Poux, F., 2020: Point cloud vs. mesh features for building interior classification, *Remote Sensing*, 12 (14), 2224.

Benac, Č., 2016: *Rječnik pojmova u općoj i primijenjenoj geologiji*, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka.

Bilušić Dumbović, B., Kušan, V., Birov, T., Rapić, S., Mesić, Z., Stresec, D., 2013: Krajobrazna studija Zagrebačke županije za razinu obrade općih krajobraznih tipova/područja, Arhikon d.o.o. i Oikon d.o.o., Zagreb.

Błaszczak-Bąk, W., Suchocki, C., Kozakiewicz, T., i Janicka, J., 2023: Measurement methodology for surface defects inventory of building wall using smartphone with light detection and ranging sensor, *Measurement*, 219.

Bočić, N., 2016: Osnove speleologije, Nastavni materijal za predmet „Osnove speleologije“, SuZ, PMF, Geografski odsjek, Zavod za fizičku geografiju, 118 str., Zagreb.

Bognar, A., 1992: Inženjerskogeomorfološko kartiranje, *Acta Geographica Croatica*, 27 (1.), 173-184.

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34 (1), 7-29.

Bunić, I., 2006: *Priručnik za interpretaciju zaštićenih područja*, projekt „Institucionalno jačanje Državnog zavoda za zaštitu prirode“.

Brilha, J., 2016: Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review, *Geoheritage*, 8(2), 119-134.

Brkić, Ž., Čakarun, A., 1998: Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, Tumač za List Zagreb, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 48 str.

Buzjak, N., 2002: Speleološke pojave u Parku prirode "Žumberak – Samoborsko gorje", *Geoadria*, 7 (1), 31-49.

Buzjak, N., Dujmović, I., Feletar, D., Feletar, P., Holjevac, Ž., Ibrišević, R., Petrić, H., Raguž, J., Razum, S., Sijerković, M., Somek, P., Vojak, D., Žegarec Peharnik, M., Želle, M., 2011: *Samobor- zemljopisno-povijesna monografija*, Bibliotheca Geographia Croatica, Maridijani, Samobor.

Buzjak, N., 2021: *Poučne staze i interpretacija prirodne baštine*, predavanje, PMF Zagreb

Capezzuoli, E., Gandin, A., Pedley, H. M., Pascucci, V., Andreucci, S., 2009: Travertine and calcareous tufa in Tuscany (Central Italy), in: *27th IAS Meeting of Sedimentology*, Fieldtrip Guidebook, Alghero, 129-158.

Crofts, R., Gordon, J.E., Brilha, J., Gray, M., Gunn, J., Larwood, J., Santucci, V.L., Tormey, D., Worboys, G.L., 2020: Guidelines for geoconservation in protected and conserved areas. Best Practice Protected Area Guidelines: IUCN, 31.

Čanjevac, I., 2021: Novije promjene protočnih režima u hrvatskom dijelu poriječja Dunava, *Hrvatski geografski glasnik*, 74 (1), 61-74.

Čanjevac, I., 2013: Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik*, 75 (1.), 23-42.

Demek, J., 1972: Manual of Detailed Geomorphological Mapping, in: *IGU- Commission on Geomorphological survey and mapping*, Czechoslovak Academy of Science, Prague, 344.

Dowling, R. K., 2013: Global geotourism—an emerging form of sustainable tourism, *Czech journal of tourism*, 2(2), 59-79.

Dowling, R. K., Newsome, D., 2006: *Geotourism*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.

Dowling, R.K., Newsome, D., 2010: *Geotourism: The Tourism of Geology and Landscape*, Goodfellow Publishers: Woodeaton, Oxford.

Flašar, W., 1938: Markiranim planinarskim putevima i stazama kroz Samoborsko gorje, *Hrvatski planinar*, 2, 42-43.

Ford, T. D., Pedley, H. M., 1996: A review of tufa and travertine deposits of the world, *Earth-Science Reviews*, 41(3-4), 117-175.

Gallay, M., Kanuk, J., Hochmuth, Z., Meneely, J.D., Hofierka, J., Sedlak, V., 2015: Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia, *International Journal of Speleology*, 44 (3), 277-291.

Golubić, S., Violante, C., Plenković-Moraj, A., Grgasović, T., 2008: Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis, *Geologia Croatica*, 61(2–3), 363–378.

Gordon, J. E., 2012: Rediscovering a sense of wonder: Geoheritage, geotourism and cultural land-scape experiences, *Geoheritage*, 4 (1-2), 65-77.

Gray, M., 2013: *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*, 2nd edition, Wiley Blackwell, Chichester.

Hill, C., Forti, P., 1997: *Cave minerals of the world*, National Speleological Society, Huntsville.

Hirc, D., 1902: Raznice. Zanimljive špilje, *Hrvatski planinar*, 9-10, 80.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

Lang, M., 1915: *Samobor – narodni život i običaji*, Tisak Dioničke tiskare, Zagreb, 916-919.

Łabędź, P., Skabek, K., Ozimek, P., Rola, D., Ozimek, A., Ostrowska, K., 2022: Accuracy Verification of Surface Models of Architectural Objects from the iPad LiDAR in the Context of Photogrammetry Methods, *Sensors*, 22(21), 8504.

Lohani, B., Ghosh, S., 2017: Airborne LiDAR technology: A review of data collection and processing systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, 87, 567-579.

Luetzenburg, G., Kroon, A., Bjørk, A.A., 2021: Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences, *Scientific Report*, 11.

Marion, J. L., Reid, S. E., 2007: Minimising visitor impacts to protected areas: The efficacy of low impact education programmes. *Journal of sustainable tourism*, 15(1), 5-27.

Martinić, I., 2022: Pregled klasifikacija i suvremenih istraživanja izvora u svijetu i Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik*, 84 (1), 31-68.

Marjanac, S., 1971: Speleološki objekti u plitkom kršu Žumberačkog i Samoborskog gorja, *Naše jame*, 13, 79-83.

Pravilnik o jedinstvenom vizualnom identitetu zaštite prirode u Republici Hrvatskoj, 2020: Narodne novine br. 81/20.

- Pavletić, Z., 1960: Sedreni slapovi rijeke Krke i njihov postanak, *Krš Jugoslavije*, 2, 71-98.
- Pavlović, G., Zupanić, J., Prohić, E. and Tribljaš, D., 2002: Impressions of the Biota Associated With Waterfalls and Cascades from a Holocene Tufa in the Zrmanja River Canyon, Croatia, *Geologia Croatica*, 55 (1), 25-37.
- Pedley, H. M., 1990: Classification and environmental models of cool freshwater tufas, *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.
- Pentecost, A., Viles, H., 1994: A review and reassessment of travertine classification, *Géographie physique et Quaternaire*, 48 (3).
- Poljak, J., 1933: Nekoje pećine Zagrebačke i Samoborske gore: 2. Pećine Samoborske gore, *Hrvatski planinar*, 10, 305-313.
- Popis stanovništva, kućanstava i stanova, 2021: Prvi rezultati po naseljima*, Statistička izvješća, ISSN 1333 – 1876, Državni zavod za statistiku, Zagreb, 2022.
- Reizer, N., 1911: Pojava krša u samoborskoj okolici, *Glasnik Hrvatskog prirodoslovnog društva*, 23 (4), 14-33.
- Roje-Bonacci, T. i Bonacci O., 2006: Sedra, *Hrvatska vodoprivreda*, 15, 12-17.
- Sharma, H. S., 1982: *Perspectives in geomorphology*, Concept Publishing Company, New Delhi.
- Strahler, A. N., 1952a: Dynamic basis of geomorphology, *Geological society of america bulletin*, 63 (9), 923-938.
- Strahler, A. N., 1952b: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.
- Strahler, A., N., 1957: Quantitative analysis of watershed geomorphology, *Transactions, American Geophysical Union*, 38 (6), 913-920.
- Stolz, J., Megerle, H. E., 2022: Geotrails as a medium for education and geotourism: Recommendations for quality improvement based on the results of a research project in the Swabian Alb UNESCO Global Geopark. *Land*, 11(9), 1422.
- Summerfield, M. A., 2014: *Tectonics and drainage development*, Global geomorphology, Routledge, London – New York, 537.

Šikić, K., Basch, O. i Šimunić, A., 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Zagreb L33–80, Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd (1977).

Tilden, F., 1957: *Interpreting our heritage: Principles and practices for visitor services in parks, museums, and historic places*, The University of North Carolina Press, Chapel Hill.

Tomašić, I., Peh, Z., 1992: Utjecaj strukturno-geoloških, petrografskih i klimatskih čimbenika na stabilnost kosina u kamenolomu Gradna, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 4 (1), 67-74.

Župančić, M., 1996: Seljačka gospodarstva i žumberačka poljoprivreda, *Sociologija i prostor*, (131-132), 3-17.

Izvori

Bioportal, preglednik, n.d., <https://www.bioportal.hr/> (11.10.2023.)

Council of Europe, The European Landscape Convention (Florence, 2000), 2023, <https://www.coe.int/> (21.11.2023.)

DHMZ (Državni hidrometeorološki zavod), Sektor za hidrologiju: Hidrološke postaje i podaci, 2014, <https://hidro.dhz.hr/> (29.9.2023.)

Parkovi Hrvatske, Karta, 2023, <https://www.parkovihrvatske.hr/karta> (12.9.2023.)

Speleološki odsjek Velebit, Hrvatski speleološki poslužitelj, Sige – Damir Lacković, Špiljske splavi i obalne ploče, 2008, <https://speleologija.eu/> (25.11.2023.)

Zemljišni resursi, Pedologija i zemljišni resursi, n.d., http://pedologija.com.hr/Zem_resursi.html (7.9.2023.)

Prilozi

Poučne ploče (tekst)

Vilinske jame

Špilja, danas suha i napuštena, priča priču o svojoj prošlosti. Stijena od koje je sastavljena nastala je u vodi, a prema predaji nekada su ovdje živjele vile.

Vilinske jame posebne su zbog stijene koja ih gradi, a to je sedra. Sedra je stijena koja se taložila iz potoka bogatog otopljenim kalcijevim karbonatom. Prelaskom potoka preko strme stijene došlo je do većeg raspršivanja i oslobađanja ugljikovog dioksida što dovodi do kemijske reakcije odvajanja i taloženja kalcita. Kalcit se primao za postojeću floru, najčešće mahovine te je stijena često zadržala oblik biljaka na kojima se taložila.

Potok u kojem su nastale Vilinske jame promijenio je smjer i taloženje sedre je prestalo. Naknadnim taloženjem, najčešće vodom prokapnicom, nastali su brojni oblici siga. Stalaktiti, stalagmiti, saljevi i kaskade najčešće su sige unutar Vilinskih jama.

Vilinske jame dobile su ime po pričama kako su ovdje nekada živjele vile. Vile su opisane kao mlade, lijepe djevojke koje su noću dolazile i pomagale dobrim mještanima. Vile su iz Vilinskih jama nestale nakon što je ubijen njihov gospodar - „vilovnak”.

Fairy Caves

The cave, today dry and abandoned, tells the story of its past. The rock it is made of was formed in the water, and according to legend, fairies once lived here.

Fairy Caves are special because of the rock that builds them, which is tufa. Tufa is a rock that was deposited from a stream rich in dissolved calcium carbonate. When stream was crossing over the steep rock, there was a greater dispersion and release of carbon dioxide, which leads to a chemical reaction of separation and precipitation of calcite. Calcite was accepted for the existing flora, most often mosses, and the rock often retained the shape of the plants on which it was deposited.

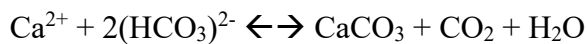
The stream in which the Fairy Caves were created changed its direction and the deposition of tufa stopped. Numerous forms of calcite flowstones were created by subsequent deposition, most often by dripping. Stalactites, stalagmites and cascades are the most common sights inside the Fairy Caves.

*The Fairy Caves got their name from the stories that **fairies** once lived here. The fairies were described as young, beautiful girls who came at night and helped the good locals. The fairies disappeared from the Fairy Caves after their master - the „fairyman" - was killed.*

Sedreni slap

Zeleni pokrov i obilje vode skrivaju sedru na kojoj teče slap.

Iz samog naziva slapa može se naslutiti kako je on nastao u sedri. Potok iz kojeg se nekada sedra taložila u Vilinskim jamama, promijenio je smjer i danas prelazi preko Sedreog slapa. Sedra se taloži prilikom oslobađanja ugljikovog dioksida iz otopine bogate otopljenim kalcijevim bikarbonatom, odnosno kemijskom formulom kristalizacije:

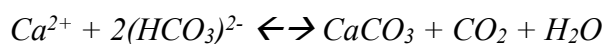


Kako bi se kalcit istaložio potrebna je neravnoteža u otopini koja se dobiva oslobađanjem CO₂. Parcijalni tlak ugljikovog dioksida u vodi uglavnom je veći od atmosferskog što omogućuje oslobađanje CO₂ iz otopine. Otplinjavanje ugljikovog dioksida veće je mjestima raspršivanja vode jer je onda većom površinom u kontaktu s atmosferom, na primjer kod vodopada i slapova. Nakon otplinjavanja CO₂ dolazi do formiranja minerala kalcita. Daljnje taloženje kalcita može biti organsko i anorgansko. Na sedrenom slapu taloženje je organsko jer vegetacija, posebno mahovine, ima bitnu ulogu u zadržavanju izlučenih minerala kalcita.

Tufa waterfall

The green cover and abundance of water hide the tufa on which the waterfall flows.

From the very name of the waterfall, it can be guessed that it was created in tufa. The stream from which tufa was once deposited in the Fairy Caves changed its direction and today crosses the Tufa waterfall. Tufa is deposited during the release of carbon dioxide from a solution rich in dissolved calcium bicarbonate, i.e. the chemical formula of crystallization:



In order for calcite to precipitate, an imbalance in the solution is needed, which is obtained by the release of CO₂. The partial pressure of carbon dioxide in water is generally higher than the atmospheric pressure, which enables the release of CO₂ from the solution. The degassing of carbon dioxide is greater in places where the water is dispersed because then there is a larger surface area in contact with the atmosphere, for example at waterfalls and cascades. After the degassing of CO₂, the mineral calcite is formed. Further deposition of calcite can be organic and inorganic. At the tufa waterfall, deposition is organic because vegetation, especially mosses, plays an important role in retaining the excreted calcite minerals.

Sedreni mlin

Građevina koja prikazuje skromnu povijest nekadašnjih djelatnosti i korištenja dostupnih materijala.

Na Samoborskom gorju žitarice se nisu sadile koliko u ostalim krajevima, stoga ni mlinovi nisu bili toliko česti. Sedreni mlin savršeni je primjer iskorištavanja lokalnih materijala. Većina građevina na Samoborskom gorju građene su od drveta, međutim ondje gdje je bilo sedre ona se koristila kao materijal za gradnju.

Sedra je, u odnosu na ostale stijene, lagan materijal, lako dostupan i lak za obradu. Sedra je stijena koja se sporo taloži pa ne može više ispuniti današnje građevinske potrebe. U okolici mlina još uvijek postoji taložena sedra koja se više ne iskorištava za građevinski materijal, ali sada može poslužiti za edukaciju.

Tufa mill

A building that shows a modest history of former activities and the use of available materials. Cereals were not planted in the Samobor Mountains as much as in other regions therefore mills were not so common. The tufa mill is a perfect example of using local materials. Most of the buildings on the Samobor Mountains were built of wood, however, where there was tufa, it was used as a building material.

Compared to other rocks, tufa is a light material, easily available and easy to process. Tufa is a rock that deposits slowly, so it can no longer fulfill today's construction needs. In the vicinity of the mill, there is still deposited travertine, which is no longer used as a building material, but can now be used for education.

Kuća od sedre

Od velikih Rimljana pa sve do manjih ljudi sa sela, znala se kvaliteta koju ima sedra.

Kuća građena od sedre još i danas stoji, netaknuta i napuštena. Ova kuća dokaz je koliko su mještani iskorištavali dostupne materijale. Sedra je iznimno poželjan materijal za gradnju. Vrlo lako se obrađuje, pogotovo vlažna stijena, a kada se osuši iznimne je čvrstoće. Sedra se obrađivala u blokove te se takva koristila za gradnju. Sedra je zbog svoje šupljikavosti vrlo dobar izolator topline i buke.

Sedra se kao građevinski materijal koristi već nekoliko tisuća godina, a koristili su je Egipćani i Rimljani. Sedra se danas rijetko koristi kao građevinski materijal, najviše zbog njezine male dostupnosti. Sedra je prirodan materijal boljih građevinskih svojstva od većine suvremenih industrijski proizvedenih materijala.

Tufa house

From the great Romans to the smaller people from the countryside, the quality of tufa was known.

The house built of tufa still stands today, untouched and abandoned. This house is proof of how well the locals used the available materials. Tufa is an extremely desirable building material. It is very easy to process, especially wet rock, and when it dries it is extremely strong. Tufa was processed into blocks and used as such for construction. Because of its porosity, travertine is a very good insulator of heat and noise.

Tufa has been used as a building material for several thousand years, and was used by the Egyptians and Romans. Today, travertine is rarely used as a building material, mostly due to its low availability. Travertine is a natural material with better construction properties than most modern industrially produced materials.

Jaruga

Mala jaruga, velike snage. Djeluje destruktivno na padinu, a u isto vrijeme stvara proluvijalnu plavinu na njezinom dnu.

Jaruga nastaje snažnom erozijom bujičnih tokova. Erozijski predstavlja egzogeni proces prijenosa, transporta i odvajanja čestica različitim agensima, u ovom slučaju vodom. Prevladava linijska denudacija koja stvara korito oblika slova V. Materijal koji padinskim procesima završi u jaruzi transportiran je i taloži se na dnu jaruge u proluvijalnu plavinu.

Jaruge se najbolje formiraju na podlozi izgrađenoj od nepropusnih stijena. Međutim, postoje i na područjima propusnih stijena gdje je moguće površinsko otjecanje, odnosno gdje je koeficijent otjecanja veći od poniranja. U ovom slučaju jaruge su se formirale na dolomitima.

Ravine

A small ravine, great strength. It has a destructive effect on the slope, and at the same time creates a proluvial fan at its bottom.

The ravine is formed by strong erosion of torrential flows. Erosion is an exogenous process of transfer, transport and separation of particles by different agents, in this case water. Deep linear denudation prevails, which creates a V-shaped bed. The material that ends up in the ravine due to slope processes is transported and deposited at the bottom of the ravine in the proluvial fan.

Ravines are best formed on a base built of impermeable rocks. Ravines also exist in areas of permeable rocks where surface runoff is possible, i.e. where the coefficient of runoff is greater than sinking. In this case, ravines were formed on dolomites.

Izvor

Mjesto gdje sve počinje. Iz izvora voda teče, a ta voda ključna je za nastanak sedre.

Izvor je mjesto na kojem voda iz podzemlja izbija na površinu. Voda koja izbija najčešće formira vodotok manjeg intenziteta. Spajanjem više vodotoka formira se veća tekućica. Izvori na ovom području izbijaju na kontaktima propusnih i nepropusnih ili slabije propusnih stijena. Voda koja je tekla podzemno u propusnim vapnencima, konglomeratima i brečama kada dođe u kontakt s manje propusnim dolomitima počinje teći površinski.

Na izvorima izbija voda puna otopljenih minerala koje je otopila prilikom svog podzemnog otjecanja. U podzemlju su otopljene i velike količine kalcijeva karbonata koji je ključan za stvaranje sedre na površini.

Spring

The place where it all begins. Water flows from the spring, and this water is essential for the formation of tufa.

A spring is a place where water from underground comes to the surface. The water that springs most often forms a stream of lesser intensity. By connecting more water streams, a river is formed. Springs in this area emerge at the contacts of permeable and impermeable or less permeable rocks. Water that flowed underground in permeable limestones, conglomerates and breccias, when it comes into contact with less permeable dolomites, begins to flow on the surface.

At the springs, water bursts out full of dissolved minerals that it dissolved during its underground runoff. Large amounts of calcium carbonate, which is crucial for the formation of tufa on the surface, are also dissolved in the underground.

Puženje

Neprimjetno i sporo zemlja se miče, dok stabla pokušavaju ostati na mjestu.

Puženje je padinski proces kretanja zemlje niz padinu. Zemljište se kod puženja pomiče vrlo sporo, samo nekoliko centimetara godišnje. Puženje je manje intenzivan proces u odnosu na druge padinske procese ali može zahvaćati velike površine.

Proces puženja teško je uočiti zbog njegove sporosti, ali može se prepoznati prema jednom pokazatelju. Koljenasto povijena stabla najbolji su pokazatelj puženja. Dok se zemlja pomiče niz padinu, stabla se pomiču prema Suncu te se tako povijaju pri dnu. Puženje je najveće u površinskom dijelu zemlje i dok je zemlja vlažna. Ovaj proces može jako štetno djelovati na ljudske građevine, prometnice i slično.

Osim puženja uz poučnu stazu uočena su i drugi padinski procesi kao što su klizišta.

Creeping

Unnoticed and slowly, the earth moves, while the trees try to stay in place.

Creeping is a slope process of soil movement down the slope. When creeping, the soil moves very slowly, only a few centimeters per year. Creeping is a less intensive process compared to other slope processes, but it can affect large areas.

The process of creeping is difficult to notice because of its slowness, but it can be recognized by one indicator. Bent trees are the best indicator of creep. As the earth moves down the slope, the trees move towards the Sun and thus bend at the bottom. Creep is greatest in the surface part of the soil and while the soil is moist. This process can have a very harmful effect on human buildings, roads etc.

In addition to creeping along the educational trail, other slope processes such as landslides were also observed.

Popis slika

- Sl. 1. Scaniverse: Početni zaslon s funkcijama (lijevo); Odabir veličine dometa/objekta (sredina); Početak skeniranja (desno). – str. 4
- Sl. 2. Prostorni obuhvat Vilinskih jama i istraživanog područja unutar Republike Hrvatske. – str. 5
- Sl. 3. Prostorni obuhvat Vilinskih jama i istraživanog područja unutar PP Žumberak-Samoborsko gorje. – str. 6
- Sl. 4. Tematika poučnih staza u Hrvatskoj. – str. 10
- Sl. 5. 3D model metra s izračunatom udaljenosti u CloudCompare-u. – str. 12
- Sl. 6. Fotografije 3D modela sedre (lijevo) i kaskade (desno). – str. 13
- Sl. 7. Vizura krajobraza u blizini naselja Višnjevec Podvrški (lijevo) i Tušini (desno). – str. 15
- Sl. 8. Geološka karta istraživanog područja. – str. 16
- Sl. 9. Hipsometrijska karta istraživanog područja. – str. 18
- Sl. 10. Udio hipsometrijskih razreda od ukupne površine istraživanog područja. – str. 18
- Sl. 11. Hipsometrijska krivulja istraživanog područja. – str. 19
- Sl. 12. Karta nagiba padina istraživanog područja. – str. 21
- Sl. 13. Udio kategorija nagiba padina u ukupnoj površini istraživanog područja. – str. 21
- Sl. 14. Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog područja. – str. 23
- Sl. 15. Ekspozicija padina istraživanog područja. – str. 24
- Sl. 16. Udio smjera orijentacije padina. – str. 24
- Sl. 17. Sedra taložena na mahovini. – str. 26
- Sl. 18. Geomorfološki oblici u sedri. – str. 27
- Sl. 19. Pedološka karta istraživanog područja. – str. 28
- Sl. 20. Karta zemljišnog pokrova istraživanog područja. – str. 29
- Sl. 21. Drenažni bazeni potoka Breganica i Škrobotnik te klasifikacija tekućica prema Strahleru (1957). – str. 31
- Sl. 22. Gustoća drenažne mreže istraživanog područja. – str. 32
- Sl. 23. Protok hidrološke postaje Svinjarići od 1985. do 2014. godine. – str. 33
- Sl. 24. Gustoća reljefnih oblika istraživanog područja. – str. 35
- Sl. 25. Gustoća reljefnih oblika (izuzev ponikava) istraživanog područja. – str. 36
- Sl. 26. Karta poučne staze „Vilinske jame“. – str. 37
- Sl. 27. Profil predložene poučne staze. – str. 38
- Sl. 28. Profili s podacima o nagibu ($^{\circ}$) za dionicu do Vilinskih jama, strelica prikazuje položaj Vilinskih jama. – str. 38

- Sl. 29. Profili s podacima o nagibu ($^{\circ}$) za dionicu do višeg vidikovca, strelica prikazuje položaj vidikovca. – str. 39
- Sl. 30. Poučna ploča kose konstrukcije i vodoravnog formata. – str. 39
- Sl. 31. Orijehtacijska poučna ploča s prikazom rute. – str. 40
- Sl. 32. Poučna ploča Vilinske jame. – str. 41
- Sl. 33. Tlocrt i profil špilje Vilinske jame. – str. 42
- Sl. 34. Živi svijet u Vilinskim jamama (šišmiš, špiljski konjic i mahovina). – str. 44
- Sl. 35. Pukotina u Vilinskim jamama. – str. 45
- Sl. 36. Kaskade na prolazu iz prve u drugu dvoranu (lijevo) i saljev u drugoj dvorani (desno). – str. 46
- Sl. 37. Koraljaste sige (lijevo) i veći stalaktit (desno) u trećoj dvorani špilje Vilinske jame. – str. 46
- Sl. 38. Antropogeni utjecaj u špilji- „prozor“ (lijevo), otrgnut stalaktit (desno gore), potpisi u špilji (desno dolje). – str. 47
- Sl. 39. Poučna ploča Sedreni slap. – str. 48
- Sl. 40. Poučna ploča sedreni mlin. – str. 49
- Sl. 41. Poučna ploča kuća od sedre. – str. 50
- Sl. 42. Poučna ploča jaruga. – str. 51
- Sl. 43. Poučna ploča izvor. – str. 52
- Sl. 44. Poučna ploča puženje. – str. 53
- Sl. 45. Lokacije snimljenih 3D modela. – str. 55
- Sl. 46. Presjek ulaza iz prve u drugu dvoranu unutar Vilinskih jama. – str. 56
- Sl. 47. Tri analizirana saljeva: saljev nisko – 1. dvorana (lijevo), saljev visoko – 1. dvorana (sredina) i saljev 2. dvorana (desno). – str. 56

Popis tablica

- Tab. 1. Tipovi poučnih staza s dominantnim načinima interpretacije – str. 9
- Tab. 2. Geomorfološka klasifikacija nagiba padina – str. 20
- Tab. 3. Podaci o površini i visini skeniranih saljeva unutar Vilinskih jama – str. 57