

Primljeno / Received
17-02-2025 / 2025-02-17Prihvaćeno / Accepted
23-04-2025 / 2025-04-23**Jura Sabolek
Nenad Buzjak
Valerija Rossi**

Geomorfološka obilježja kao element georaznolikosti Ivančice

Geomorphological features as an element of geodiversity of Ivančica Mountain

Rad se temelji na analizi geomorfoloških obilježja Ivančice kao elementu georaznolikosti. Terenskim radom i GIS analizom utvrđen je fluviokrš kao dominantan morfogenetski tip reljefa na >70 % istraživanoga područja. Ključne reljefne značajke uključuju izraženu vertikalnu raščlanjenost, razvoj mreža ponikava i značajne hidrogeološke elemente, poput izvora te ponora Šebastjanovec. Istraživanje naglašava međudjelovanje litološke građe, tektonske aktivnosti i površinskih procesa u oblikovanju reljefa. Ivančica predstavlja ključnu hidrološku razvodnicu između porječja Drave i Save, s raznolikim tipovima dolinskih mreža koji odražavaju endogene i egzogene utjecaje. Unatoč svojoj geomorfološkoj i krajobraznoj vrijednosti Ivančica još uvijek nije zaštićena. Ovo istraživanje pruža znanstvenu osnovu za njezinu zaštitu u skladu s principima georaznolikosti i geobaštine. Dobiveni rezultati s geomorfološkom kartom temelj su za buduća interdisciplinarna istraživanja te ističu važnost Ivančice u regionalnoj georaznolikosti i održivom upravljanju krajobrazom.

Ključne riječi: geomorfološka analiza, orografija, fluviokrš, georaznolikost, zaštita krajobraza, Ivančica (Hrvatsko zagorje)

This paper is based on an analysis of the geomorphological features of Ivančica Mountain as an element of geodiversity. Fieldwork and GIS analysis identified fluvio karst as the dominant morphogenetic relief type, covering more than 70% of the study area. Key features include pronounced vertical dissection, the development of doline networks, and significant hydrogeological elements such as springs and the Šebastjanovec Ponor. The research highlights the interplay of lithological composition, tectonic activity, and surface processes in shaping the relief. Ivančica is a crucial hydrological divide between the Drava and Sava river basins, with diverse valley network types reflecting both endogenous and exogenous influences. Despite its geomorphological and landscape value, Ivančica remains unprotected. This study provides a scientific basis for its conservation in line with geodiversity and geoheritage principles. The results, including a geomorphological map, form the foundation for future interdisciplinary research and underscore the importance of Ivančica in regional geodiversity and sustainable landscape management.

Key words: geomorphological analysis, orography, fluvio karst, geodiversity, landscape protection, Ivančica (Hrvatsko Zagorje)

Uvod

Ivančica (Ivanščica, Ivonjčica, Ivonjščica), sa svojih 1060 m nadmorske visine, najviša je planina Hrvatskoga zagorja. Tijekom geološke i geomorfološke evolucije na Ivančici su oblikovane geološke i geomorfološke forme te pedološke tvorbe koje čine osnovu njezine georazolikosti u smislu kako je definira Gray (2013). Unatoč svojim vrijednostima Ivančica nije zaštićeno područje (u smislu Zakona o zaštiti prirode). No, ideja zaštite već dugo je prisutna u stručnim krugovima (Kušen, 2011), a kao pitanje se (zajedno s ostalim zagorskim gorama) postavlja i u Hrvatskom saboru (Hrvatski sabor, 2022). Nakon što je 2013. izrađena studija „Regionalni park Hrvatsko zagorje – stručna podloga za zaštitu” (MINGOR ZZOP, 2024), pitanje zaštite ovoga prostora ponovno se aktualizira 2022. godine kada Varaždinska i Krapinsko-zagorska županija Zavodu za zaštitu okoliša i prirode tadašnjega MINGOR-a upućuju zahtjev za reviziju navedene studije i promjenu kategorije zaštite, tj. pokretanja procedure za proglašenje sada ne regionalnoga parka, nego parka prirode. U prvoj polovici 2024. izrađena je nova stručna podloga za proglašenje parka prirode koji, uz Macelj, Ravnu goru i Strahinjčicu uključuje i Ivančicu (MINGOR ZZOP, 2024). Do trenutna dovršavanja ovoga članka (veljača 2025.) zaštita još uvijek nije proglašena.

Određena forma zaštite na ovom prostoru već postoji. Središnji prostor Ivančice jest područje ekološke mreže Natura 2000 HR2000371 *Vršni dio Ivančice* (POVS – područje očuvanja važno za vrste i stanišne tipove), što je nespretni naziv s obzirom na to da granica POVS-a obuhvaća i veliki dio izvan „vršnoga dijela” (za koji nije baš jasno na što se odnosi budući da se npr. u dolini Željeznice granica spušta ispod 300 m n. v. i u geomorfološkom smislu obuhvaća prostor koji ni u kojem slučaju nije dio vršne zone (Biportal, n. d.). Iako je zakonski i pravni status georazolikosti u Hrvatskoj jednak statusu biorazolikosti i krajobrazne raznolikosti, još uvijek ne postoji sustavna zaštita i upravljanje georazlikošću (Butorac i Talaja, 2021). Ovaj problem nije svojstven samo Hrvatskoj, već postoje brojni primje-

Introduction

Ivančica (Ivanščica, Ivonjčica, or Ivonjščica), at 1,060 meters above sea level, is the highest mountain in the Hrvatsko Zagorje region. During geological and geomorphological evolution, geological and geomorphological forms and pedological formations were formed on Ivančica, which represent the basis of its geodiversity as defined by Gray (2013). Despite its significant value, Ivančica is not a protected area under the Croatian Nature Protection Act. However, the idea of protecting it has long been present in professional circles (Kušen, 2011) and has even been raised as an issue in the Croatian Parliament, alongside other mountains of Hrvatsko Zagorje (Croatian Parliament, 2022). In 2013, a study titled “Regional Park Hrvatsko Zagorje – Expert Basis for Protection” (MESD IEN, 2024) was developed, bringing the issue of Ivančica’s protection to the forefront. In 2022, Varaždin and Krapina-Zagorje counties submitted a request to the Environmental Protection and Nature Conservation Institute of the then Ministry of Economy and Sustainable Development (MESD) to revise the aforementioned study and change the protection category. This initiated the procedure for declaring the area, not as a regional park but as a nature park. In the first half of 2024, a new expert basis was developed for declaring a nature park that, in addition to Ivančica, includes Macelj, Ravna Gora, and Strahinjčica mountains (MESD IEN, 2024). As of the completion of this article (February 2025), the protection has yet to be officially declared. But, a form of protection for this area already exists.

A certain form of protection already exists in this area. The central part of Ivančica is part of the Natura 2000 ecological network, designated as HR2000371 *Vršni dio Ivančice* (SAC – Special Area of Conservation). However, this designation is somewhat misleading, as the boundaries of the SAC extend well beyond the so-called “summit area,” which is itself an ambiguous term. For instance, in the Željeznica Valley, the boundary descends below 300 m a.s.l. and geomorphologically includes areas that cannot be considered to be a part of the summit zone (Biportal, n.d.). Although geodiversity in Croatia has the same legal and regulatory status as biodiversity and landscape diversity, there is still no systematic protection or management of geodiversity in the country (Butorac and Talaja, 2021). This issue is not unique to Croatia; numerous exam-

ri iz svijeta gdje se prioriteti konzervacije, zaštite i upravljanja dominantno usmjeravaju prema biološkoj komponenti krajobraza, dok to istovremeno reflektira slabu zastupljenost i upravljanje geobaštinom (Pontes i dr., 2018). Upravo zato temeljni ciljevi ovoga rada vežu se uz korištenje metoda detaljne digitalne geomorfološke analize i sinteze s ciljem spoznaje temeljenih odnosa morfografskih, morfometrijskih i morfogenetskih pokazatelja te strukturnih i egzogeomorfoloških značajki istraživanoga prostora kao temeljnih odrednica georazolikosti Ivančice i njezine funkcionalne vrijednosti, odnosno uloge u krajobrazu i za živi svijet i za lokalno stanovništvo. Rezultatima rada nastoji se pružiti znanstvena podloga i dodatna argumentacija za proglašenje zaštićenoga područja uz aktivno poticanje daljnjih znanstvenih istraživanja i inicijativa usmjerenih prema jednaku očuvanju svih prirodnih vrijednosti Ivančice

Toponimija

Korištenje oronima *Ivančica* u ovom radu utemeljeno je u zavičajnom govoru prvoga autora, ali i s obzirom na starije radove hrvatskih geografa koji su odavde bili porijeklom i bavili se ovim prostorom. Autori su svjesni i uvažavaju činjenicu da u novije vrijeme u literaturi i kartografiji prevladava oblik *Ivanščica* (iako se kod nekih geografa koristio i ranije, npr. Bošnjak (1939) ili Roglič (1974a)). Tema ovoga rada nije toponimija, no vrijedi spomenuti neke činjenice jer i ona može biti zanimljiva u kontekstu georazolikosti i geobaštine. U svom diplomskom radu Z. Pepeonik (1958), hrvatski geograf rodom iz Varaždina i poznavatelj toga prostora, zapisao je: „Zagorci danas tu planinu nazivaju Ivančica, no ponekad, vrlo rijetko, može se čuti da je zovu Ivanščica ili čak Ivanjščica. Na južnom prigorju vrlo rijetko ćemo čuti koji drugi izraz osim Ivančica, no na sjevernoj strani planine, a naročito u prigorju Ravne Gore, može se češće čuti izraz Ivanščica, osobito od starijih ljudi.” Oronim *Ivančica* upotrebljavao je i geograf I. Crkvenčić (1951; 1957; 1958) te geolog akademik M. Malez (1952; 1984), rodom iz Ivanca. Općenito je povijest korištenja toga oronima u

ples worldwide show that conservation, protection, and management priorities are predominantly focused on the biological component of the landscape, often reflecting a lack of representation and management of geoheritage (Pontes et al., 2018). For this reason, the primary goals of this paper are tied to the application of detailed digital geomorphological analysis and synthesis methods. The aim of this paper is to understand the fundamental relationships between morphographic, morphometric, and morphogenetic indicators, as well as the structural and exogeomorphological features of the studied area, as key determinants of Ivančica’s geodiversity and its functional value. This includes its role in the landscape and its significance for both living organisms and the local population. The results of this research aim to provide a scientific basis and additional arguments for declaring Ivančica a protected area, while actively encouraging further scientific research and initiatives focused on the equal preservation of all natural values of Ivančica.

Toponymy

The use of the oronym “Ivančica” in this paper is rooted in the native language of the primary author, as well as in earlier works by Croatian geographers originally from this area who studied it extensively. The authors acknowledge and respect the fact that the term “Ivanščica” has become more prevalent in contemporary literature and cartography, although some geographers have used it in the past, such as Bošnjak (1939) and Roglič (1974). Although toponymy is not the primary focus of this study, it is worth mentioning certain facts, as they can also be interesting in the context of geodiversity and geoheritage. In his thesis, Z. Pepeonik (1958), a Croatian geographer from Varaždin familiar with this area, noted: “Today, the locals in Zagorje call the mountain Ivančica, although, very rarely, one may hear it referred to as Ivanščica or even Ivanjščica. In the southern foothills, we will rarely hear any term other than Ivančica, but on the northern side of the mountain, particularly in the Ravna Gora foothills, the term Ivanščica is more commonly used, especially among older individuals.” The oronym ‘Ivančica’ was also used by geographer I. Crkvenčić (1951; 1957; 1958) and geologist and academic M. Malez (1952; 1984), who was born in Ivanec.

kartografiji i literaturi jako zanimljiva i predstavlja zasebni istraživački izazov kojemu bi se trebalo posebno posvetiti te provesti opsežnu analizu kartografskih izvora, povijesnih spisa i literature. U ranom srednjem vijeku Ivančica se nazivala Očura (Đurić, 1984). Danas je toponim Očura u uporabi samo za naselje, potok te predio na brdima Hum (475 m) i Brdo (498 m) u zapadnom ogranku Ivančice. Na Glavačevoj karti Hrvatske iz 1673., zapisano je *Ivanstsitza M.* (Melem Hajdarović, 2023) pa nije posve točna tvrdnja da je I. Belostenec prvi u svom *Gazophylaciumu* iz 1740. zabilježio oblik *Ivanščica*, odnosno *Ivantchicza* (Kraš, 2003). U istom obliku na svojoj karti Hrvatske (1689.) ima ga i J. W. Valvasor te kasniji kartografi, koji su ga vjerojatno preuzeli od Glavača (Kraš, 2003; Viličić, 2023). Oronim *Ivančicza* zapisan je na austrougarskoj topografskoj karti Provincz Kroatien (1783. – 1784.) Prve vojne izmjere, dok se na topografskim kartama Druge i Treće vojne izmjere pojavljuje oblik *Ivansčica*, odnosno *Ivanščica* (MAPIRE, n.d.). Zanimljivo je da se u prvim člancima i vijestima o Ivančici objavljenim u časopisu *Hrvatski planinar* 1898. i 1899. koristi lik *Ivanščica*. B. Kukuljević (1901) izvješćuje o osnutku podružnice HPD-a u Ivanecu koju su osnivači nazvali „Ivančica”. Pojam *Ivančica* u nizu članaka toga utjecajnog planinarskog časopisa prevladava u sljedećih 7–8 desetljeća (HPS, n.d.). U svojim su ga geografskim radovima i monografijama koristili geograf P. Matković (1875), zatim V. Klaić (1878) i prirodoslovac D. Hirc (1905), kao i planinari, istraživači i pisci (Kraš, 2003). Kasnije u literaturi i kartografiji počinje prevladavati *Ivanščica* (Babić, 2001; ur. Borovac, 2002; Buzjak, 2017; DGU RGI, n.d.).

Prostorni obuhvat istraživanoga područja

Ivančica se, kao planina SZ Hrvatske, nalazi između Strahinjčice na zapadu te doline Lonje na istoku. Prema I. Crkvenčiću (1958) Desinička gora, Kunagora, Strahinjčica i Ivančica čine *planinski niz Ivančice*. Sa sjevera prirodnu granicu tvori dolina rijeke Bednje, dok s južne strane prirodna granica nije čvrsto određena, već je karakterizira široka predgorska stepenica i dolinski prostori potoka Loborske

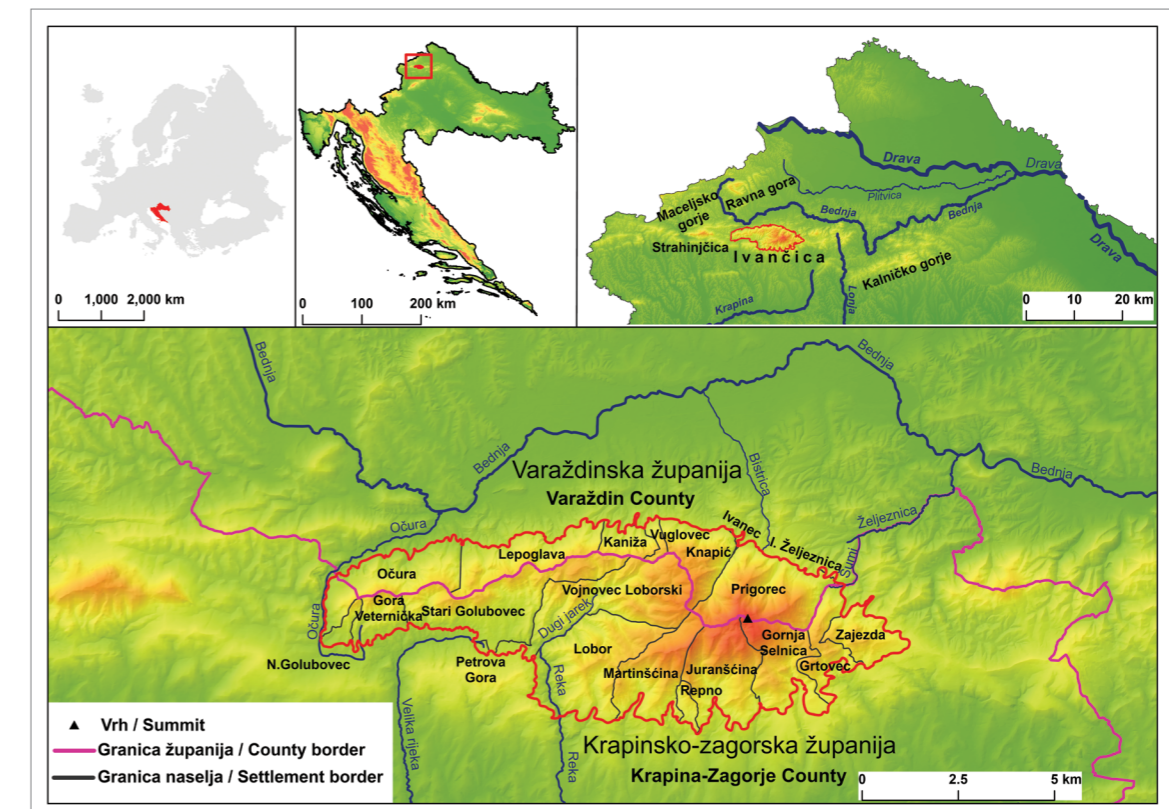
The history of this oronym's usage in cartography and literature is generally fascinating and represents a separate research challenge requiring a comprehensive analysis of cartographic sources, historical records, and literature. In the early Middle Ages, Ivančica was called Očura (Đurić, 1984). Today, the name 'Očura' is used only for a settlement, a stream, and an area on the hills of Hum (475 m) and Brdo (498 m) in the western branch of Ivančica. On Glavač's map of Croatia from 1673, the name appears as 'Ivanstsitza' (Melem Hajdarović, 2023). Hence, the claim that I. Belostenec was the first to record the name "Ivanščica" (or "Ivantchicza") in his *Gazophylacium* (1740) is not entirely accurate (Kraš, 2003). The same form appears on J. W. Valvasor's map of Croatia (1689) and in subsequent cartographers' works, likely adopted from Glavač (Kraš, 2003; Viličić, 2023). The oronym 'Ivančicza' was recorded on the Austro-Hungarian topographic map *Provincz Kroatien* (1783–1784) from the First Military Survey, while the forms 'Ivansčica' or 'Ivanščica' appear on topographic maps from the Second and Third Military Surveys (MAPIRE, n.d.). Interestingly, early articles and news about Ivančica published in *Hrvatski planinar* in 1898 and 1899 used the form 'Ivanščica.' B. Kukuljević (1901) reported the establishment of a CMA branch in Ivanec, named 'Ivančica' by its founders. This form prevailed in articles from this influential mountaineering journal for the next seven to eight decades (CMA, n.d.). The term 'Ivančica' was also used in geographical works and monographs by geographer P. Matković (1875), V. Klaić (1878), and naturalist D. Hirc (1905), as well as by mountaineers, researchers, and writers (Kraš, 2003). Later, the term 'Ivanščica' began to dominate literature and cartography (Babić, 2001; ed. Borovac, 2002; Buzjak, 2017; CGA RGN, n.d.).

Spatial Scope of the Study Area

Ivančica Mountain in northwest Croatia lies between Strahinjčica Mountain to the west and the Lonja Valley to the east. According to I. Crkvenčić (1958), Desinička Gora, Kunagora, Strahinjčica, and Ivančica form the Ivančica Mountain Range. The northern boundary is defined by the Bednja River Valley, while the southern boundary is less distinct, characterized by a broad foothill (glacis) and the valley

reke i Velike rijeke, pritoka rijeke Krapine (sl. 1). Ivančica kao takva čini prirodnu razvodnicu između Bednje i Krapine, a time Drave i Save. Budući da na Ivančici trenutno ne postoje zakonski definirane granice zaštićenoga područja, osim granica ekološke mreže Natura 2000 koje obuhvaćaju površinu veću od 60 km², granice područja istraživanja definirane su korištenjem nekoliko kvantitativnih i kvalitativnih pokazatelja. Osnovni je cilj bio izdvajanje najrašćanjenijega prostora s minimalnim antropogenim utjecajima, pod pretpostavkom najveće georaznolikosti. Na DMR-u 10 x 10 m kao prvi pokazatelj korišten je topografski pozicijski indeks (TPI) kojim se iskazuje vrijednost razlike nadmorske visine neke ćelije DMR-a i prosječne nadmorske visine definiranoga susjedstva koje okružuje tu ćeliju (Weiss, 2001). S obzirom na to da ne postoji jedinstvena i literaturno definirana vrijednost radijusa susjedstva, proces odabira radijusa često je iterativni proces koji uključuje metodu pokušaja i pogreške (Zwoliński

areas of the Loborska Reka and Velika Rijeka streams, tributaries of the Krapina River (Fig. 1). Ivančica thus serves as a natural watershed divide between the Bednja and Krapina rivers and, consequently, between the Drava and Sava basins. Since Ivančica currently lacks legally defined boundaries as a protected area, apart from Natura 2000, which covers an area exceeding 60 km², the study area boundaries were determined using several quantitative and qualitative indicators. The primary goal was to delineate the most dissected terrain with minimal anthropogenic impact, assuming it would have the greatest geodiversity. The first indicator used was the Topographic Position Index (TPI) applied to a 10x10 m DEM. The TPI measures the difference in elevation between a DEM cell and the average elevation of its surrounding neighborhood (Weiss, 2001). As there is no universally-defined or literature-established value for the neighborhood radius, the selection process is often iterative and involves the trial-and-error method (Zwoliński

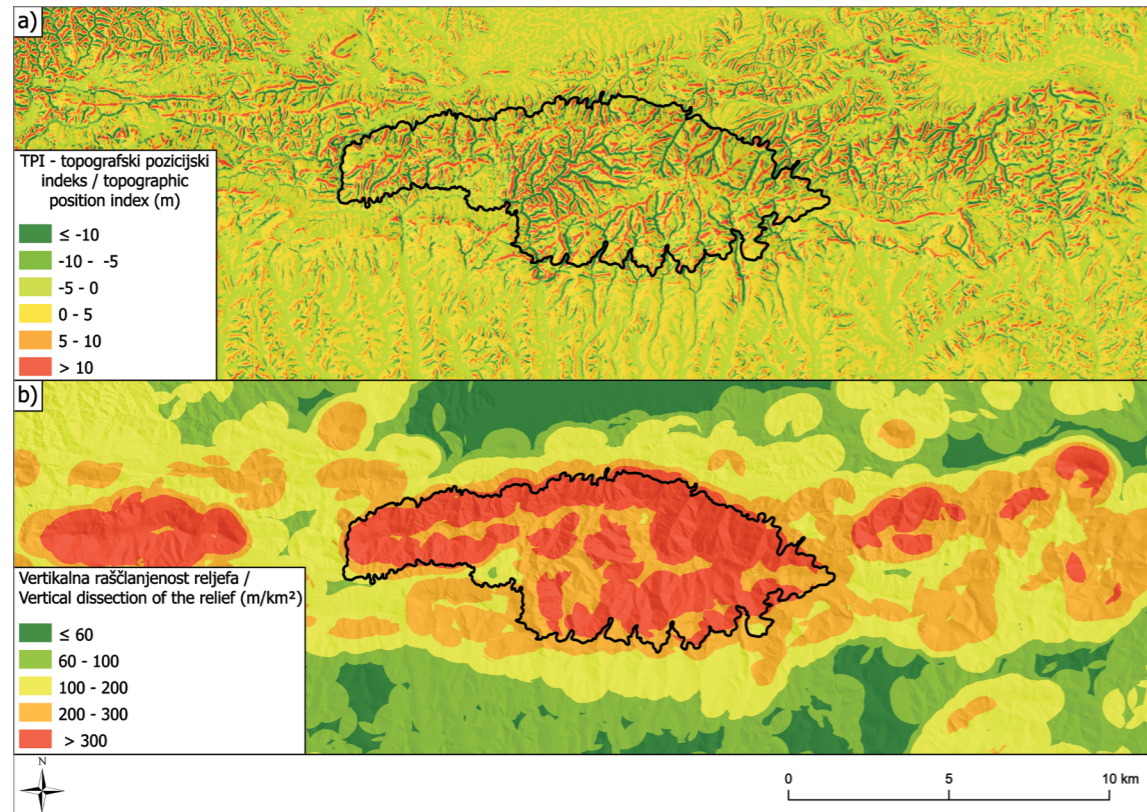


Sl. 1. Prostorni obuhvat i geografski položaj istraživanoga područja

Fig. 1 Spatial extent and geographical location of the study area

Izvor: izradili autori na temelju podataka DMR-a 10 x 10 m Geografskog odsjeka (n.d.a); DGU (2013)

Source: created by authors based on: DEM 10 x 10 m from the Department of Geography (n.d.a); CGA (2013)



Sl. 2. Metodološki okvir određivanja granica istraživanoga područja. a) Topografski pozicijski indeks (TPI), b) vertikalna raščlanjenost reljefa
Fig. 2 Methodological framework for defining the boundaries of the study area. a) Topographic Position Index (TPI), b) Vertical dissection of the relief
Izvor: izradili autori na temelju podataka DMR-a 10 x 10 m Geografskog odsjeka (n.d.a)
Source: created by authors based on: DEM 10 x 10 m from the Department of Geography (n.d.a)

i Stefańska, 2015). Stoga je za radijus susjedstva odabrana vrijednost 100 m, što je dalo zadovoljavajuće rezultate u smislu diferencijacije orografskih i morfostrukturnih karakteristika te raščlambe geomorfoloških cjelina (sl. 2a). Kao sekundarni pokazatelj korištena je vertikalna raščlanjenost reljefa (sl. 2b). U konačnici, granica područja definirana je vektorizacijom izohipsi s TK25 (Geoportal DGU, n.d.). Vektorizacija je obavljena dominantno u zoni vertikalne raščlanjenosti reljefa > 300 m/km², pod osnovnom pretpostavkom da raščlanjeniji prostor ujedno ima i veću georaznolikost. Budući da oko zone > 300 m/km² ne postoji jedinstvena zatvorena izohipsa, napravljeni su postupni prijelazi izohipsa u rasponu 300 – 500 metara n. v. Pritom je cilj bio izdvajanje što manjih površina pod naseljima i antropogenim reljefom uz istovremeno što dulje zadržavanje linije vektorizacije na određenoj glavnoj izohipsi da bi se maksimalno reducirali prijelazi

& Stefańska, 2015). A neighborhood radius of 100 m was selected, yielding satisfactory results in terms of differentiating orographic and morphostructural characteristics and distinguishing geomorphological units (Fig. 2a). The secondary indicator was vertical dissection of the relief (Fig. 2b). Ultimately, the study area boundary was defined through the vectorization of contour lines from the TK25 topographic map (Geoportal CGA, n.d.). Vectorization was predominantly performed in zones where vertical dissection exceeded 300 m/km², under the assumption that more dissected terrain also exhibits greater geodiversity. Since no single closed contour line exists around the >300 m/km² zone, transitional contour lines ranging from 300 to 500 m a.s.l. were used. The goal was to minimize the inclusion of settlements and anthropogenic landscapes while maintaining the vectorization line along a major contour line for as long as possible, thereby reducing transitions between contour lines.

između izohipsa. Tako je dobiveno područje koje obuhvaća središnji i zapadni dio hrpta Ivančice površine 50,4 km². Od izgrađenih površina uključeno je samo seosko naselje Stari Golubovec u JZ dijelu istraživanoga područja.

S obzirom na geomorfološki položaj istraživani prostor dio je subgeomorfološke regije koju čini zajedno sa Strahinjčicom i Varaždinsko-topličkim gorjem unutar regije *Gorsko-zavalskog područja sjeverozapadne Hrvatske* (Bognar, 2001). U administrativnom smislu nalazi se u Varaždinskoj i Krapinsko-zagorskoj županiji.

Pregled dosadašnjih istraživanja

Ivančica je dugo vremena bila istraživana zbog svojih geoloških, hidrogeoloških i geomorfoloških karakteristika (Šimunić i Hećimović, 2006). Najdetaljnija geološka istraživanja Hrvatskoga zagorja i Ivančice provode Šimunić i dr. (1981) te Aničić i Juriša (1985) za potrebe OGK listova Varaždin i Rogatec. Speleološka istraživanja započinju gotovo jednako rano kao i geološka. Pregled njihova tijeka i rezultata do 2011. godine objedinili su R. Ozimec i D. Šincek (2011) koji su dali značajan doprinos, uz Z. Cukovića (1995), i novijim istraživanjima. U razdoblju 2003. – 2009. godine članovi Hrvatskoga biospeleološkog društva obavljaju speleološka istraživanja te je 2008. godine izrađen biospeleološki katastar Ivančice (Ozimec i Šincek 2011; Matišić, 2012a). Od 2008. godine Speleološka udruga Kraševski zviru iz Ivanca provodi sustavna speleološka istraživanja Ivančice pa je pronađena i istražena nekolicina novih speleoloških objekata (Matišić, 2012a).

Od geografskih istraživanja Ivančice s geomorfološkim doprinosom valja spomenuti doprinos geografa I. Crkvenčića (1951) koji za potrebe analize agrarnoga krajobraza Bednje piše o geološko-geomorfološkim obilježjima te izdvaja uski pojas podgorja Ivančice. Isti autor analizirajući agrarni krajobraz južnoga dijela Ivančice (1957; 1958) s puno više detalja obrađuje za njegov razvoj bitna geološka, geomorfološka i klimatska obilježja.

The resulting study area encompasses the central and western ridge of Ivančica, covering 50.4 km². Among the built-up areas, only the rural settlement of Stari Golubovec, located in the SW part of the study area, is included.

Given its geomorphological position, the study area is part of a sub-geomorphological region that includes *Strahinjčica* and the *Varaždinsko-topličko Hills*, within the *Gorsko-Zavalska region of north-western Croatia* (Bognar, 2001). Administratively, it is located within Varaždin and Krapina-Zagorje counties.

Review of Previous Research

Ivančica Mountain has long been studied for its geological, hydrogeological, and geomorphological characteristics (Šimunić and Hećimović, 2006). The most detailed geological investigations of Hrvatsko Zagorje and Ivančica were conducted by Šimunić et al. (1981) and Aničić and Juriša (1985) for the preparation of geological map sheets (BGM) Varaždin and Rogatec. Speleological research began almost as early as geological studies. A comprehensive overview up to 2011 was provided by R. Ozimec and D. Šincek (2011), who, along with Z. Cuković (1995), significantly contributed to more recent research. Between 2003 and 2009, members of the Croatian Biospeleological Society conducted speleological investigations, leading to the creation of a biospeleological cadastre of Ivančica in 2008 (Ozimec and Šincek, 2011; Matišić, 2012a). Since 2008, the caving club *Kraševski zviru* (Ivanec) has carried out systematic speleological research on Ivančica, discovering and exploring several new caves (Matišić, 2012a).

Among geographical studies of Ivančica with geomorphological contributions, the work of geographer I. Crkvenčić (1951) stands out. For his analysis of the agrarian landscape of the Bednja region, he discussed the geological and geomorphological characteristics of Ivančica, highlighting its narrow foothill (glacis) belt. In subsequent studies analyzing the agrarian landscape of Ivančica's southern slopes (1957; 1958), Crkvenčić provided much more detailed insights into the geological, geomorphological, and climatic features critical to the area's development.

Po svojem značenju izdvajaju se i istraživanja orijentirana na hidrogeološki i hidrološki aspekt Ivančice s ciljem optimalnoga korištenja podzemnih i površinskih voda, a koja mogu služiti u razumijevanju historijske i recentne evolucije reljefa (Parlov i dr., 2016; Hrvatske vode, 2016, Meaški i dr., 2019).

Metode rada

Podatci korišteni u geomorfološkoj analizi prikupljeni su terenskim radom, analizom literature i kartografskih izvora: TK25 HTRS/96TM (Geoportal DGU, n.d.), TK25; VGI, 5. zona: L 270-4-1, 271-3-1 i 271-3-2, listovi Osnovnih geoloških karata (OGK) 1 : 100 000: Varaždin, L33-69 (Šimunić i dr., 1983) i Rogatec, L33-68 (Aničić i Juriša, 1984). Analiza i obrada kartografskih materijala napravljena je softverom ArcGIS Pro. Sve morfometrijske analize napravljene su u tom softveru iz DMR-a 5 x 5 m (arhiva Geografskoga odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu). Analizirana su: hipsometrijska obilježja, nagib padina, ekspozicija padina, vertikalna raščlanjenost reljefa te profilna i planarna zakrivljenost, zatim gustoće rasjeda, ponikava i hidrogeoloških pojava (izvori-ponori). Analize gustoća napravljene su metodom *Kernel density* s radijusom kruga 564 m (površina = 1 km²). Odabir ovoga radijusa temeljen je na subjektivnom i iterativnom pristupu jer je dao najbolje rezultate u smislu kompromisa između prevelike ugađenosti i grubosti izlaznoga rezultata te je omogućio unificiranost mjerila (1 km²), što je prema Wandu i Jonesu (1994) u velikom broju slučajeva opravdano. Morfogenetski podatci prikupljeni su kabinetskim i terenskim metodama. Alatom *Slope* izdvojene su zone nagiba padina < 10° te iz OGK područja karbonatnih stijena i izraženih rasjeda. Izdvojene zone terenski su prijedene radi prikupljanja podataka o lokacijama ponikava. Pritom su sakupljane koordinate i ostalih geomorfoloških oblika. Geomorfološka analiza sintetizirana je u obliku detaljne geomorfološke karte 1 : 40 000. Radi vizualizacije, kao podloga geomorfološke karte, uz nagibe padina korištene su i izohipse izdvojene s navedenih listova TK25 (VGI, 5. zona).

Analiza klimatskih elemenata napravljena je

Research focused on the hydrogeological and hydrological aspects of Ivančica, aimed at the optimal use of groundwater and surface water, also stands out due to its relevance for understanding the historical and recent evolution of the relief (Parlov et al., 2016; Croatian Waters, 2016; Meaški et al., 2019).

Methods

The data for geomorphological analysis were collected via fieldwork, literature review, and analysis of cartographic sources, including the TK25 HTRS/96TM map (Geoportal CGA, n.d.), TK25; MGI, Zone 5: L 270-4-1, 271-3-1, and 271-3-2, and sheets of the Basic Geological Maps (BGM) at a 1:100,000 scale: Varaždin, L33-69 (Šimunić et al., 1983) and Rogatec, L33-68 (Aničić and Juriša, 1984). Cartographic material analysis and processing were performed using ArcGIS Pro software. All morphometric analyses were conducted using the same software from the 5x5 m DEM (archive of the Department of Geography, Faculty of Science, University of Zagreb). The analyses included hypsometric features, slope inclination, slope aspect, vertical dissection of the relief, and profile and planar curvature. Additionally, the density of faults, dolines and hydrogeological features (springs and ponors/sinks) were analyzed. Density analyses were performed using the Kernel Density method with a circle radius of 564 m (Area = 1 km²). The selection of this radius was based on a subjective and iterative approach, as it provided the best results in terms of balancing excessive smoothness and roughness of the output while ensuring a unified scale (1 km²), which, according to Wand and Jones (1994), is justified in many cases. Morphogenetic data were collected via both desk-based and field methods. Using the *Slope* tool, zones with slope inclinations <10° were identified, along with areas of carbonate rocks and prominent faults derived from the geological maps. These identified zones were surveyed in the field to collect data on doline locations. During the process, coordinates of other geomorphological features were also recorded. The geomorphological analysis was synthesized into a detailed geomorphological map at a scale of 1:40,000. For visualization purposes, in addition to slope inclination, contour lines extracted from the topo TK25 maps (MGI, Zone 5) were used as the base for the geomorphological map.

The analysis of climatic elements was conducted

korištenjem rasterskih klimatoloških karata Hrvatske s podatcima o temperaturama zraka i padalina DHMZ-a za klimatološki period 1961. – 1990. (Zaninović i dr., 2008). S obzirom na prostornu rezoluciju 1 x 1 km, podatci su interpolirani metodom inverzne udaljenosti (*Inverse Distance Weighting*, IDW). Postojeće vrijednosti rasterskih ćelija pretvorene su u skupinu točaka alatom *Raster to point*. Tako su kreirana dva vektorska sloja: za temperaturu zraka i količinu padalina. Svakoj je točki kao atribut dodijeljena vrijednost temperature zraka, odnosno količine padalina. Nakon toga je primijenjena metoda IDW pri kojoj je odabran fiksni radijus od 1 km s minimalno 4 točke potrebne za procjenu vrijednosti lokacije. Tako su dobiveni interpolirani podatci blažih prijelaza vrijednosti koji bolje prostorno odražavaju odnose temperature zraka i padalina.

Geološki okvir istraživanoga područja

Poznavanje geološkoga sastava i strukture nije bitno samo zbog rekonstrukcije geneze stijena i paleoekoloških uvjeta, već su ti faktori jedan od uvjeta geneze i geomorfološke evolucije reljefa i s njime povezanih reljefnih oblika. Ivančica je građena od naslaga u rasponu od gornjega paleozoika preko mezozoika do neogena i kvartara (Šimunić i dr., 1981; Šimunić i Hećimović, 2006; Bognar i dr., 1994). Najstarije stijene vežu se uz gornji paleozoik i pretežito ih čine metamorfozirani pješčenjaci (Šimunić i dr., 1981; Šimunić, 1986) uz krajnji sjeverni dio koji se pruža iznad Lepoglave (sl. 3). Donjotrijaske naslage prekrivaju zapadni i središnji dio istraživanoga područja u obliku isprekidanoga pojasa između Prigorca na sjeveroistoku do doline Očure na zapadu. U donjem dijelu prevladava klastična komponenta sajskih naslaga, a u gornjem karbonatna komponenta kampilskih naslaga (Šimunić i dr., 1979; Šimunić i dr., 1981). U sajskim naslagama bilo je ekonomski značajnih naslaga željezne rude koje im daju crvenkastu boju (hematit i limonit). Ona je prije 200–300 godina eksploatirana i prerađivana između Ivanca i Lepoglave (Šimunić i Hećimović, 2006) pa se tamo javljaju elementi antropogenoga reljefa povezani s rudarstvom. Poznati su lokaliteti dolina potoka Željeznice, Temni

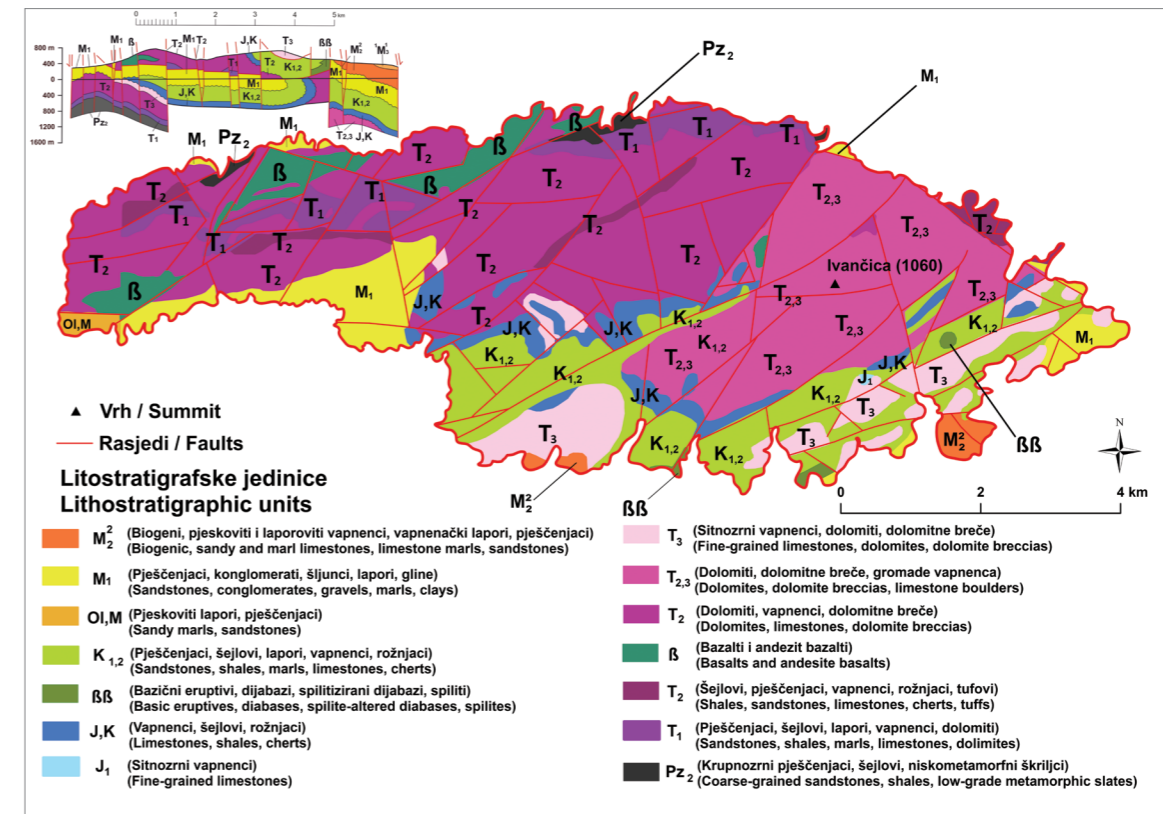
using raster climatological maps of Croatia, which included data on air temperature and precipitation provided by Croatian Meteorological and Hydrological Service (CMHS) for the climatological period 1961–1990 (Zaninović et al., 2008). Given the spatial resolution of 1x1 km, the data were interpolated using the Inverse Distance Weighting (IDW) method. Raster cell values were converted into a set of points using the *Raster to Point* tool, creating two vector layers: one for air temperature and one for precipitation. Each point was assigned the respective air temperature or precipitation value as an attribute. The IDW method was then applied, with a fixed radius of 1 km and a minimum of four points required to estimate the value of a location. The resulting interpolated data provided smoother transitions that more accurately reflect the spatial relationships between air temperature and precipitation.

Geological Framework of the Study Area

Understanding the geological composition and structure is not only essential for reconstructing the paleoenvironments but also serves as a key factor in the genesis and geomorphological evolution of relief and associated landforms. Ivančica is composed of deposits ranging from the Upper Paleozoic through the Mesozoic to the Neogene and Quaternary periods (Šimunić et al., 1981; Šimunić and Hećimović, 2006; Bognar et al., 1994). The oldest rocks are associated with the Upper Paleozoic and predominantly consist of metamorphosed sandstones (Šimunić et al., 1981; Šimunić, 1986), located in the far northern part above Lepoglava (Fig. 3). Lower Triassic deposits cover the western and central parts of the study area in a fragmented belt stretching from Prigorec in the northeast to the Očura Valley in the west. The lower section predominantly comprises clastic Saian components, while the upper section consists of carbonate Campil components (Šimunić et al., 1979; Šimunić et al., 1981). The clastic deposits contain economically significant iron ore deposits, giving them a reddish hue (hematite and limonite). These deposits were exploited and processed between Ivanec and Lepoglava approximately 200–300 years ago (Šimunić and Hećimović 2006), resulting in anthropogenic relief related to mining activities. Notable sites in-

dol kod Prigorca i rudnik Kraševski zvir (Matišić, 2012b). Srednjotrijaske sedimentne stijene (tamnosivi vapnenci i dolomiti sa znatnim udjelom nekarbonatnih sastojaka) najzastupljenije su na istraživanom području. S druge pak strane, naslage gornjega trijasa isključivo su karbonatne. Dolomiti s vapnencima zastupljeni su u središnjem i istočnom dijelu, dok je drugi karbonatni kompleks u manjem udjelu zastupljen na jugu gdje izgrađuje male izolirane glavice kao ostatke erodirane navlake (Babić, 1975; Šimunić i dr., 1979; Šimunić i dr., 1981, Dedić i dr. 2014). S obzirom na veliku prostornu zastupljenost trijaskog karbonatne naslage važne su u smislu pojave krškoga, odnosno fluvioškškoga reljefa. Naime, hidrogeološkim istraživanjima otkriveno je značajno dreniranje površinske vode kroz tektonski razlomljene i okršene trijaskog dolomite i breče u podzemlje, gdje je formiran plitki krški vodonosnik (Mraz i Novosel, 1995). Prijelaz iz trijasa u juru (lijas) karakterizira dominacija vapnenca sa sitnozrnim osnovom malene debljine. Ove naslage zastupljene su u obliku maloga „uloška” na jugoistoku područja. Jednako tako jursko-kredni sedimenti dominantno su vapnenački sa sitnozrnim osnovom (Babić, 1975; Šimunić i Hećimović, 2006). Oni se pružaju kao uski i isprekidani pojas od Male Ivančice do kolektorske stanice Zagorskoga vodovoda (sl. 3). U donjokrednim naslagama prevladavaju pješčenjaci preko kojih su navučeni gornjotrijaski vapnenci i dolomiti. Oligocenske i miocenske naslage karakterizira sporadična zastupljenost koja je uvelike koncentrirana na jugozapadnom dijelu uz dolinu Očure i područja Starog Golubovca. Te naslage s velikim udjelom lapora i gline okružuju Ivančicu, Strahinjčicu i Ravnu goru, a na istraživanom području markiraju početak sjeverne i južne predgorske stepenice (Šimunić i dr., 1979; Šimunić i dr., 1981). U naslagama srednjega i gornjega miocena prevladavaju konglomerati, breče, litotamnjski vapnenci, pješčenjaci i lapori. One su zastupljene jedino u južnom i jugoistočnom dijelu, odnosno početku južne predgorske stepenice Ivančice (Šimunić i dr., 1979; Šimunić i dr., 1981). Kvartarne naslage prekrivaju male površine, a predstavljene su proluvijalnim i fluvijalnim naslagama u dolinama tokova, sedimentima koji su produkt padinskih procesa te spiljskim sedimentima u speleološkim objektima.

clude the Željeznica stream valley, Temni Dol near Prigorec, and the Kraševski Zvir mine (Matišić, 2012b). Middle Triassic sedimentary rocks, comprising dark gray limestones and dolomites with significant non-carbonate components, are the most widespread in the study area. On the other hand, Upper Triassic deposits are exclusively carbonate, with dolomites and limestones present in the central and eastern parts. Another carbonate complex, though less represented, occurs in the south, forming small isolated hills as remnants of eroded thrust (Babić, 1975; Šimunić et al., 1979; Šimunić et al., 1981; Dedić et al., 2014). Given their extensive spatial distribution, Triassic carbonate deposits are significant for the occurrence of fluviokarst relief. Hydrogeological studies have revealed substantial drainage of surface water through tectonically fractured and karstified Triassic dolomites and breccias into the subsurface, forming a shallow karst aquifer (Mraz and Novosel, 1995). The transition from the Triassic to the Jurassic (Lias) is characterized by the dominance of fine-grained limestone of small thickness. These deposits are represented as a small ‘insert’ in the southeastern part of the area. Similarly, Jurassic-Cretaceous sediments are predominantly fine-grained limestones (Babić, 1975; Šimunić and Hećimović, 2006). These extend as a narrow and discontinuous belt from Mala Ivančica to the collector station of the Zagorje Waterworks (Fig. 3). Lower Cretaceous deposits primarily consist of sandstones, over which Upper Triassic limestones and dolomites have been overthrust. Oligocene and Miocene deposits are sporadically distributed, mostly concentrated in the SW part near the Očura Valley and the Stari Golubovec area. These deposits, with a high content of marl and clay, surround Ivančica, Strahinjčica, and Ravna Gora, marking the northern and southern foothills (glacis) of the area (Šimunić et al., 1979; Šimunić et al., 1981). Middle and Upper Miocene deposits are dominated by conglomerates, breccias, lithothamnian limestones, sandstones, and marls. These are limited to the south and southeastern parts of the area, forming the beginning of Ivančica’s southern foothill (glacis) (Šimunić et al., 1979; Šimunić et al., 1981). Quaternary deposits cover small areas and are represented by proluvial and fluvial deposits in stream valleys, sediments resulting from slope processes, and cave sediments.



Sl. 3. Pregledna geološka karta i geološki profil istraživanoga područja
Fig. 3 Overview geological map and geological profile of the study area
Izvor: izradili autori na temelju Šimunić i dr. (1983); Aničić i Juriša (1984)
Source: created by authors based on: Šimunić et al. (1983); Aničić and Juriša, (1984)

Šimunić i Hećimović (2006) na temelju geoloških značajki sve zagorske gore grupirali su u sedam gorskih nizova. Ivančica, zajedno s Koštrunom, Kunagorom i Strahinjčicom, čini 3. gorski niz. U odnosu na preostalih šest nizova on je najjače istaknut te predstavlja jedinstvenu geomorfološku cjelinu. Pružanje orografske osi toga niza uglavnom je istok-zapad. On utječe i na temeljne orografske značajke vidljive u prostornom rasporedu fizičko-geografskih odrednica prostora – od npr. jasno izraženih prisojnih i osojnih strana Ivančice s klimatsko-geomorfološkim posljedicama (raspodjele temperaturnih i padalinskih pojaseva) do rasporeda morfostrukture i morfometrijskih obilježja vidljivih u rasporedu hipsometrijskih pojaseva te glavnih osi i iznosa vertikalne raščlanjenosti reljefa bitnih za reljefne značajke.

Based on geological features, Šimunić and Hećimović (2006) grouped all the mountains of Hrvatsko Zagorje into seven mountain ranges. Ivančica, together with Koštrun, Kunagora, and Strahinjčica, forms the third mountain range. Compared to the other six ranges, it is the most prominent and represents a unique geomorphological unit. The orographic axis of this range predominantly extends east-west, influencing fundamental orographic characteristics visible in the spatial distribution of the region’s physical-geographical features. This includes clearly defined sunny and shady slopes of Ivančica, with climatic-geomorphological consequences (e.g. the distribution of temperature and precipitation zones), morphostructural arrangements, morphometric features reflected in hypsometric zones, and the main axes and degrees of vertical relief dissection, which are critical for defining relief characteristics.

Područje Hrvatskoga zagorja, u kojem je smještena Ivančica, tijekom geološke prošlosti više je puta bilo zahvaćeno tektonskim pokretima koji su dio završnih faza hercinske orogeneze i cijeloga alpskog orogenetskog ciklusa, no danas se na terenu uočavaju samo rezultati alpske orogenetske faze. Vrlo snažna tektonska faza odvijala se početkom eocena kada je na području Ivančice došlo do navlčenja paleozojskih i trijaskih naslaga na kredne naslage. Najmlađim tektonskim pokretima krajem pliocena i početkom kvartara sve su orografske cjeline Hrvatskoga zagorja izdignute na današnje visine. Njihov izraz su brojni lomovi duž rasjeda vidljivi iz morfoloških pokazatelja grebena, kosa i dolina te utjecaj pukotinskih zona duž kojih je oblikovana razgranata hidrografska mreža te koje su utjecale na pravce i intenzitet denudacijskih procesa i nestabilnosti padina.

Klimatska obilježja

Klima istraživanoga prostora prema Köppen-Geigerovoj klasifikaciji može se uvrstiti u umjereno-toplu vlažnu klimu s toplim ljetom (Cfb) (Kottek et al., 2006). Prosječna temperatura zraka najhladnijega mjeseca (siječanj) za razdoblje 1961. – 1990. iznosila je $-2,94\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok su najniže vrijednosti vršne zone iznosile $-5,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sl. 4a). Dakle, u razdobljima s velikim dnevnim rasponom temperatura postoje uvjeti za kriofrakcijsko trošenje. Prosječna temperatura najtoplijega mjeseca (srpanj) iznosila je $17,17\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok su minimalne srpanjske temperature ponovno vezane uz vršni prostor iznosile $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sl. 4b). Prosječna godišnja temperatura iznosila je $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sl. 4c).

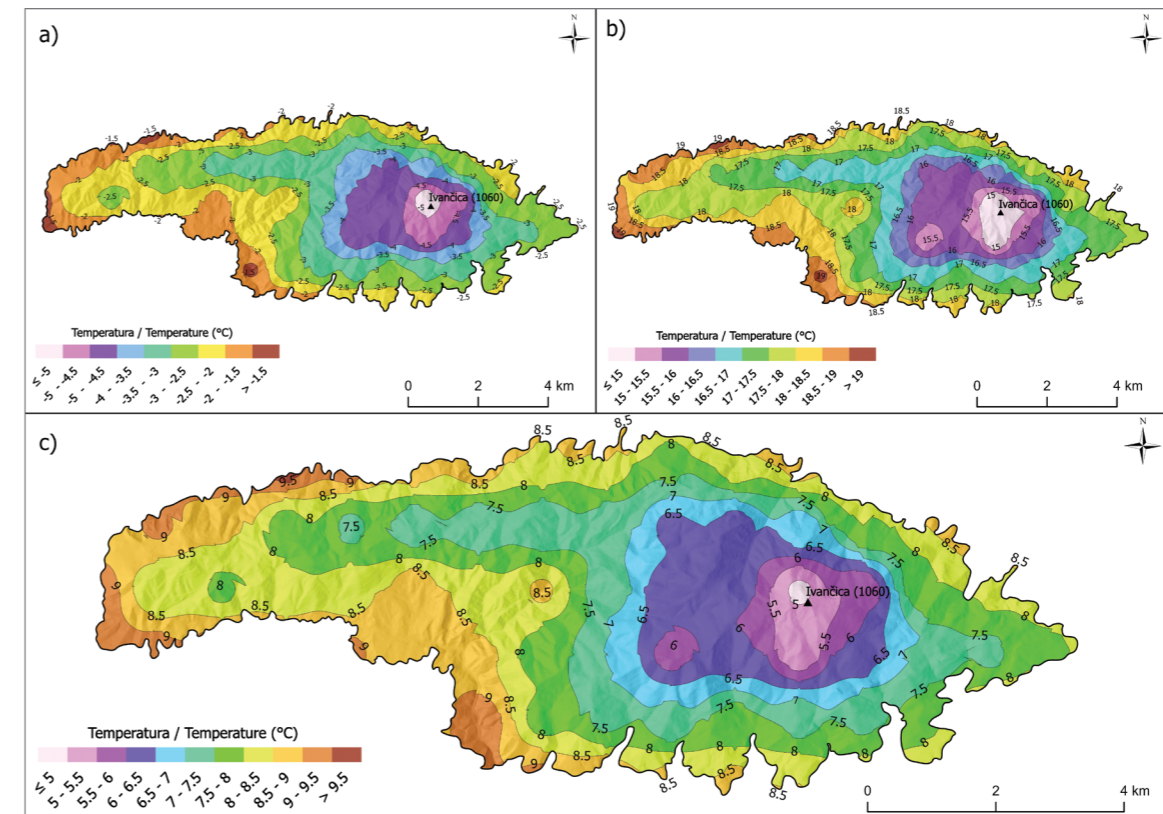
Prosječna godišnja količina padalina u navedenom razdoblju iznosila je $1114,9\text{ mm}$ (sl. 5e). Minimum padalina javlja se u meteorološkoj zimi (prosječno 201 mm ; sl. 5d). Maksimalna količina padalina vezana je uz meteorološko ljeto (prosječno $346,63\text{ mm}$; sl. 5b). Količina padalina meteorološkoga proljeća prosječno je iznosila $279,4\text{ mm}$ (sl. 4a), dok je meteorološki jesenski period popraćen sekundarnim maksimumom s prosječno $288,5\text{ mm}$ (sl. 5c). Prosječni broj dana sa snijegom iznosio je $79,2$, dok je maksimum ve-

During its geological history Hrvatsko Zagorje area, where Ivančica is located, experienced several tectonic movements as part of the final phases of the Hercynian orogeny and the entire Alpine orogenic cycle. However, today, only the results of the Alpine orogenic phase are observable in the field. A particularly intense tectonic phase occurred at the beginning of the Eocene, during which Paleozoic and Triassic deposits were thrust over Cretaceous deposits in the Ivančica area. The youngest tectonic movements at the end of the Pliocene and the beginning of the Quaternary uplifted all orographic units of Hrvatsko Zagorje to their present elevations. Their effects include numerous faults along fracture zones visible through morphometric indicators of ridges, slopes, and valleys, as well as the influence of fracture zones that shaped the branching hydrographic network and directed denudational processes and slope instabilities.

Climatic Characteristics

The climate of the study area is classified as a temperate warm humid climate with warm summers (Cfb) according to the Köppen-Geiger classification (Kottek et al., 2006). The average air temperature of the coldest month (January) during the 1961–1990 period was $-2.94\text{ }^{\circ}\text{C}$, with the lowest values recorded in the summit zone ($-5.29\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Fig. 4a). These conditions suggest that during periods of significant diurnal temperature fluctuations, frost weathering processes are possible. The average temperature of the warmest month (July) was $17.17\text{ }^{\circ}\text{C}$, with the lowest July temperatures, again associated with the summit zone ($14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Fig. 4b). The average annual temperature was $7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 4c).

The average annual precipitation during the specified period was $1,114.9\text{ mm}$ (Fig. 5e). The minimum precipitation occurred during the meteorological winter, averaging 201 mm (Fig. 5d). The maximum precipitation was recorded in the meteorological summer, averaging 346.63 mm (Fig. 5b). Precipitation during the meteorological spring averaged 279.4 mm (Fig. 5a), while the autumn period was associated with a secondary maximum, averaging 288.5 mm (Fig. 5c). The average number of snow-covered days was 79.2 , with a maximum of 117.4 days recorded



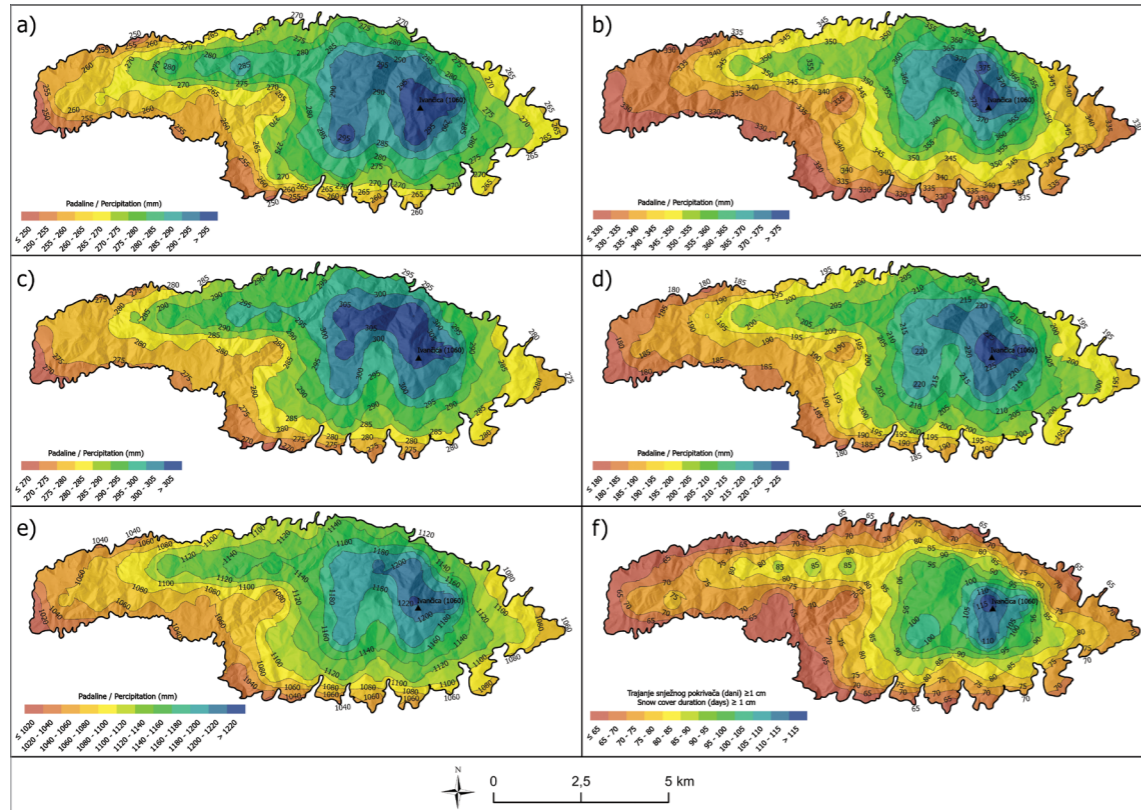
Sl. 4. Prosječne vrijednosti temperature zraka za razdoblje 1961. – 1990. a) siječanj, b) srpanj, c) srednja godišnja temperatura zraka
Fig. 4 Average air temperature values for the 1961–1990 period: a) January, b) July, c) Mean annual air temperature

Izvor: izradili autori na temelju Zaninović i dr. (2008)

Source: created by authors based on: Zaninović et al. (2008)

zan uz najviši dio iznosio $117,4$ dana (sl. 5f). Na temelju analize prostorne sezonske distribucije padalina i temperature najtoplijega i najhladnijega mjeseca može se tvrditi da postoji izražena zavisnost između reljefa i klimatskih elemenata. Pritom je izražen utjecaj nadmorske visine na smanjenje temperature zraka i porast količine padalina vidljiv u svim godišnjim dobima (sl. 4 i 5). Ovakve klimatske prilike uvjetovale su dobar razvoj šumske vegetacije koja je u određenoj mjeri bitan čimbenik oblikovanja reljefa kroz intercepciju i infiltraciju vode u tlu, modifikaciju padinskih procesa te proizvodnju velikih količina organske tvari bitne za biokemijske procese u tlu.

in the highest parts of the area (Fig. 5f). An analysis of the spatial and seasonal distribution of precipitation and the temperatures of the warmest and coldest months indicates a pronounced relationship between relief and climatic elements. Specifically, elevation strongly influences the decrease in air temperature and the increase in precipitation across all seasons (Figs. 4 and 5). These climatic conditions have supported the robust development of forest vegetation, which significantly influences relief formation through processes such as water interception and soil infiltration, modification of slope processes, and the production of large quantities of organic matter essential for biochemical soil processes.



Sl. 5. Prosječne vrijednosti količine padalina za razdoblje 1961. – 1990. a) proljeće, b) ljeto, c) jesen, d) zima, e) srednja godišnja količina padalina, f) broj dana sa snježnim pokrivačem > 1 cm
Fig. 5 Average precipitation values for the 1961–1990 period: a) Spring, b) Summer, c) Autumn, d) Winter, e) Average annual precipitation, f) Number of days with snow cover > 1

Izvor: izradili autori na temelju Zaninović i dr. (2008)
Source: created by authors based on: Zaninović et al. (2008)

Geomorfološke značajke

Orografske značajke reljefa

Istraživani prostor se prema morfološkim značajkama može podijeliti u **pet orografskih cjelina** koje su dodatno predstavljene morfološkim profilima (sl. 6).

Sjeverna predgorska stepenica Ivančice obilježena je nadmorskim visinama u rasponu 400 – 500 metara, no mjestimično su izraženi i razredi niži od 400 metara. Na istraživanom prostoru širine je svega 100 – 200 metara te nije morfološki jasno izražena. Razlog tomu najvjerojatnije je okomit pravac toka rijeke Bednje u odnosu na smjer pružanja sjevernih padina Ivančice. Time je višak rastrošnoga padinskog materijala tije-

Geomorphological Features

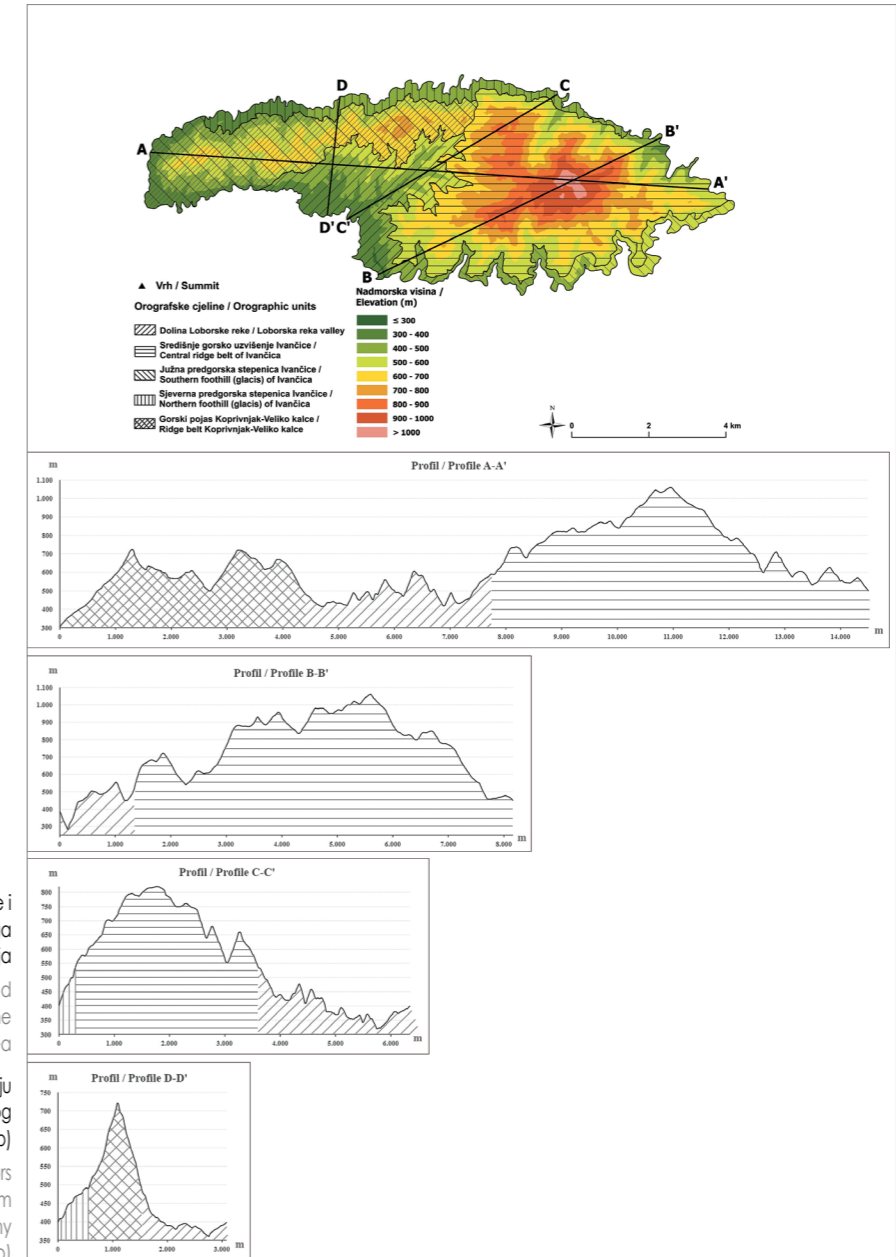
Orographic Characteristics of the Relief

The study area can be divided into **five orographic units**, further illustrated by morphological profiles (Fig. 6).

Northern Foothill (glacis) of Ivančica features elevations ranging from 400 to 500 meters, with some areas dipping below 400 m. In the studied area, this step is only 100–200 m wide and is not morphologically well-defined. This is likely due to the perpendicular flow of the Bednja River relative to the direction of Ivančica's northern slopes. This has caused the rapid redeposition of slope debris during and after the Pleistocene, shaping the

Geomorfološka obilježja kao element georaznolikosti Ivančice

Geomorphological features as an element of geodiversity of Ivančica Mountain



Sl. 6. Orografske cjeline i morfološki profili istraživanoga područja

Fig. 6 Orographic units and morphological profiles of the study area

Izvor: izradili autori na temelju DMR-a 5 x 5 m Geografskog odsjeka (n.d.b)
Source: created by authors based on: DEM 5 x 5 m from the Department of Geography (n.d.b)

kom i nakon pleistocena brzo pretaložen, čime je uvjetovan morfološki odnos strmijih sjevernih padina Ivančice u odnosu na južne. Na uskoj sjevernoj predgorskoj stepenici formirani su manji vodeni tokovi izraženoga paralelizma i time je uvjetovan rebrasti reljef.

Koprivnjak-Veliko kalce obuhvaća morfološki izražen zapadni gorski pojas s najvišim vrhovima Koprivnjak (702 m), Vilinska špica (726 m), Košenina (727 m), i Veliko kalce (727 m).

steeper northern slopes of Ivančica compared to the southern ones. Small watercourses with pronounced parallelism have formed on this narrow foothill (glacis), resulting in a ribbed relief pattern.

Koprivnjak-Veliko Kalce unit encompasses the morphologically distinct western mountain range with the highest peaks, including Koprivnjak (702 m), Vilinska špica (726 m), Košenina (727 m), and Veliko Kalce (727 m). The natural boundary with Ivančica's central mountain ridge belt is

Prirodnu granicu prema središnjem uzvišenju Ivančice čini potok Koprivnjak. Ova grebenska cjelina obilježena je relativnom homogenošću reljefa s raščlanjenim grebenima i vrhovima koji su međusobno razdvojeni širokim sedlima. Široka je uglavnom 500 – 1000 m.

Dolina Loborske reke obuhvaća izraženu dolinu potoka Loborske reke i pritoke. Ona je prirodna granica između dviju cjelina gorskih pojaseva te je uglavnom vezana uz najniže dolinske dijelove. Morfološki gledano, ovo nije posve homogen prostor. Njezin zapadni dio čine potoci cjeline Koprivnjak-Veliko kalce i Rački potok koji je uklješten između glacis terase Košenine na sjeveru i glacis terase Gornjeg Pokojca na jugu. Istočni krak ove cjeline čini potok Loborska reka koji u gornjim dijelovima toka čine potoci Dugi Jarek i Koprivnjak. Ovaj dio pritoke dobiva sa središnjega gorskog uzvišenja Ivančice, a pritoci su međusobno razdvojeni nizom strmih gorskih kosa.

Središnje gorsko uzvišenje Ivančice obuhvaća izraženi istočni gorski pojas s najvišim nadmorskim visinama > 1000 m. Ovo je kompaktna i relativno homogena cjelina cirkularnoga ocrta sastavljena od širokih raščlanjenih grebena i velikih zaobljenih vrhova unutar kojih dominira najviši vrh Ivančica (1060 m). Ova je cjelina površinom najveća te je mjestimično širine > 5 km.

Južna predgorska stepenica Ivančice cjelina je nadmorskih visina 300–400 m. Na području istraživanja širine je svega 100–200 m, no puno se izraženije nastavlja dalje južno izvan područja istraživanja. Kao ključan čimbenik jače morfološke izraženosti izdvaja se položaj regionalne erozijske baze vezane uz dolinu rijeke Krapine. Time je u kvartaru omogućen njezin izraženiji razvitak i dreniranje gustom mrežom paralelnih vodotoka razdvojenih grebenima i gorskim kosama.

marked by the Koprivnjak Stream. This ridge unit is characterized by a relatively homogeneous relief with dissected ridges and peaks separated by broad saddles. It is generally 500–1,000 m wide.

Loborska Reka Valley unit includes the prominent valley of the Loborska Reka stream and its tributaries. It serves as a natural boundary between two mountain ranges and is mainly associated with the lowest valley sections. Morphologically, this is not a fully homogeneous area. Its western part consists of streams originating from the Koprivnjak–Veliko Kalce unit and the Rački Potok Stream, which is confined between the Košenina glacis terrace in the north and the Gornji Pokojec glacis terrace in the south. The eastern arm of this unit comprises the Loborska Reka Stream, fed in its upper sections by tributaries Dugi Jarek and Koprivnjak. These tributaries originate from Ivančica's central ridge belt and are separated by a series of steep mountain slopes.

Central Ridge Belt of Ivančica unit represents the prominent eastern mountain range, characterized by elevations exceeding 1,000 meters. It is a compact and relatively homogeneous unit with a circular outline, comprising broad dissected ridges and large rounded peaks, dominated by Ivančica's highest peak (1,060 m). This is the largest unit by area, with a width exceeding 5 km in some places.

Southern Foothill (glacis) of Ivančica. The southern foothill (glacis) features elevations ranging from 300 to 400 m. Within the study area, it is only 100–200 m wide, but it continues further south beyond the study area with much greater prominence. Its stronger morphological expression is primarily influenced by the position of the regional erosion base associated with the Krapina River Valley. This allowed for its more pronounced development during the Quaternary, with dense networks of parallel streams separated by main and secondary ridges.

Morfometrijska obilježja

Hipsometrija

Nadmorske visine raspona su 280–1060 m, prosječno 588 m (sl. 7a). Ukupna površina područja ispod srednje vrijednosti iznosi 27,2 km², a iznad 23,3 km². Histogramska distribucija nadmorskih visina raspoređenih u razrede od 100 m pokazuje blago izraženu lijevu orijentaciju s maksimumom unutar razreda 500–600 m n. v. (sl. 8a).

Gotovo pravilan stepenasti pad udjela površina razreda nadmorskih visina u odnosu na srednji i najzastupljeniji razred upućuje na strukturu Ivančice kao hrpta. Blaga dominacija nižih hipsometrijskih razreda u odnosu na srednje vrijednosti podudara se s glavnim dolinskim formama. Stoga se prema distribuciji nižih hipsometrijskih razreda dokazuje postojanje relativno guste i duboko usječene površinske dolinske mreže. Hipsometrijski katovi viši od prosječne vrijednosti markiraju dva morfološki izražena gorska pojasa (Koprivnjak–Veliko kalce i središnje gorsko uzvišenje Ivančice). Koprivnjak–Veliko kalce u morfološkom smislu ima jasno izražena hrptovska obilježja. S druge pak strane, središnje gorsko uzvišenje čini homogena kompaktna cjelina obilježena najvišim hipsometrijskim razredima radijalnoga ocrta koji dodatno naglašavaju izdvojene zone najveće vertikalne raščlanjenosti i povećanih nagiba padina (sl. 7b; d). To potvrđuje neotektonski utjecaj na oblikovanje središnjega dijela Ivančice. S obzirom na radijalni morfološki oblik i relativno nepravilnu distribuciju hipsometrijskih katova od najvišega vrha Ivančica (1060 m) središnje gorsko uzvišenje Ivančice na mikrorazini ima izraženija obilježja masiva.

Nagib padina

Vrijednosti nagiba padina dostižu maksimalnih 73°. Najzastupljenija kategorija nagiba jest 12 – 32° (sl. 7b i 8b) pa prevladavaju erozijski i derazijski procesi (Lozić, 1996). Prostorna distribucija nagiba padina rezultat je kombinacije endogenih i egzogenih čimbenika. Najniže kategorije (do 5°) uglavnom su koncentrirane na zapadnom dijelu

Morphometric Features

Hypsometry

The elevation range of the study area spans from 280 to 1,060 m, with an average elevation of 588 m (Fig. 7a). The total area below the average elevation is 27.2 km², while the area above it is 23.3 km². A histogram of elevation distribution in 100 m classes shows a slightly left-skewed orientation, with a maximum within the 500–600 m range (Fig. 8a).

The nearly regular stepwise decrease in the share of area across elevation classes, relative to the middle and most represented class, reflects Ivančica's ridge-like structure. The slight dominance of lower hypsometric classes compared to the average elevation corresponds to the main valley forms. The distribution of lower hypsometric classes thus indicates the presence of a relatively dense and deeply incised surface valley network. Hypsometric classes above the average value mark two morphologically distinct mountain zones (Koprivnjak–Veliko Kalce and the Central ridge belt of Ivančica). The Koprivnjak–Veliko Kalce zone is predominantly characterized by pronounced ridge features in a morphological sense. The central ridge belt forms a homogeneous and compact unit marked by the highest hypsometric classes and a radial outline, further emphasized by areas of the greatest vertical dissection and increased slope angles (Fig. 7b, d). This suggests a notable neotectonic influence on the formation of Ivančica's central part. Given the radial morphological shape and the relatively irregular distribution of hypsometric classes from Ivančica's highest peak (1,060 m), the central mountain elevation exhibits massif-like features on a microscale.

Slope Inclination

Slope inclination values range up to a maximum of 73°. The most represented category is 12–32° (Figs. 7b and 8b), where erosional and denudational processes dominate (Lozić, 1996). The spatial distribution of slope inclinations is the result of a combination of endogenous and exogenous factors. The lowest slope category (up to 5°) is primarily

orografske cjeline doline Loborske reke, odnosno na prostoru građenom od miocenskih klastičnih naslaga Starog Golubovca, što upućuje na pojačanu akumulaciju padinskoga materijala. Druge izdvojene zone toga razreda nagiba markiraju glavne dolinske i grebenske forme. Najzastupljenija kategorija ($12 - 32^\circ$) uvelike je vezana uz sjevernu i južnu predgorsku stepenicu te uz nešto blaže padine većih gorskih uzvišenja – prostore koji su bili višestruko zahvaćeni (neo)tektonikom te oblikovani egzogenim, prvenstveno derazijskim procesima. Kategorija $32 - 55^\circ$ okružuje cjeline gorskih pojaseva Koprivnjak-Veliko kalce te centralno gorsko uzvišenje Ivančice (sl. 7b). Pritom je najveća koncentracija ovoga razreda u središnjoj zoni dolinskoga dijela Loborske reke, čime su markirane duboko usječene doline odvojene strmim gorskim kosama. Kategorija nagiba $> 55^\circ$ zastupljena je u iznimno malenom udjelu (0,008 %; sl. 7b i 8b). Usko je vezana uz tektonske strmce Pragerskih krči te uz kanjonske dijelove (Loborska reka, Očurica, Bučva) predisponirane neotektonskim strukturnim elementima (navlakama) i epigenijom tekućica južnih padina kroz otpornije navlačke trijaskih dolomita.

Ekspozicija padina

Prostorna distribucija vrijednosti ekspozicije padina pokazuje dva izražena maksimuma. Prvi čini SZ orijentacija, dok je sekundarni vezan uz JI orijentaciju (sl. 7c i 8c). Kontakti nasuprotnih orijentacija jasno ocrtavaju linijske morfološke elemente sjevernih i južnih tekućica, grebenske, te neke od glavnih strukturnih elemenata (glavni rasjed Prigorec-Lobor). Uz oba je maksimuma gotovo jednaka zastupljenost sjevernih padina uz primarnu SZ orijentaciju te južnih uz sekundarnu JI orijentaciju. Iako je Ivančica dominantno izdignuta neotektonskim zbivanjima pliocena i kvartara, primarna orografska os s izraženom orijentacijom Z-I vjerojatno je oblikovana ranijim tektonskim pokretima. S obzirom na najveću zastupljenost prisojnih i osojnih padina intenzivan je utjecaj egzogeomorfoloških čimbenika, a posebno temperature i padalina.

concentrated in the western part of the Loborska Reka Valley or in areas composed of Miocene clastic deposits near Stari Golubovec, indicating enhanced accumulation of slope material. Other zones within this category mark the main valley and ridge forms. The most prevalent slope category ($12-32^\circ$) is largely associated with the northern and southern foothills (glacis) and the gentler slopes of larger mountain elevations—areas that have been significantly affected by (neo)tectonics and shaped by exogenous processes, primarily denudation. The $32-55^\circ$ category surrounds the Koprivnjak-Veliko Kalce ridge and the central ridge belt of Ivančica (Fig. 7b). The highest concentration of this category is in the central valley zone of Loborska Reka, marking deeply incised valleys separated by steep mountain slopes. Slopes greater than 55° represent an extremely small portion of the area (0.008%; Figs. 7b and 8b). They are closely tied to tectonic scarps such as Pragerske Krči and canyon sections (Loborska Reka, Očurica, Bučva). These steep slopes are influenced by neotectonic structural elements (thrust sheets) and epigeny of rivers through the resistant thrust sheets of Triassic dolomites on the southern slopes.

Slope Aspect

The spatial distribution of slope aspect values reveals two prominent maxima. The first is associated with a north-west orientation, while the secondary maximum corresponds to a south-east orientation (Figs. 7c and 8c). The contacts between opposing orientations clearly outline linear morphological features, including the northern and southern streams, ridges, and some of the main structural elements (e.g. the Prigorec-Lobor main fault). Both maxima show nearly equal representation of north-facing slopes with a primary north-west orientation and south-facing slopes with a secondary south-east orientation. While Ivančica was predominantly uplifted by neotectonic events, the primary orographic axis with a pronounced west-east orientation was likely shaped by earlier tectonic movements. Given the predominance of sunny (south) and shaded (north) slopes, the influence of exogeomorphological factors, particularly temperature and precipitation, is significant. These factors contribute to variations in slope processes and landscape evolution across the area.

Vertikalna raščlanjenost reljefa

Raspon vrijednosti vertikalne raščlanjenosti reljefa jest $53 - 530 \text{ m/km}^2$, a srednja vrijednost iznosi 313 m/km^2 (sl. 7d i 8d) pa prevladava *izrazito raščlanjen reljef* (Bognar, 1992). Najniže kategorije uglavnom su vezane uz zapadni dio doline Loborske reke te dolinu Očure. Kategorija $200 - 300 \text{ m/km}^2$ proteže se kroz čitavo područje u obliku neprekinutoga pojasa. Najzastupljenija kategorija $300 - 400 \text{ m/km}^2$ naglašava orografske cjeline gorskih pojaseva (Koprivnjak-Veliko kalce i centralno gorsko uzvišenje Ivančice). Razred $> 400 \text{ m/km}^2$ usko je vezan uz područje Velikog kalca te središnje gorsko uzvišenje Ivančice. Dakle, pretpostavlja se da je neotektonika na ovaj prostor djelovala dominantno s pozitivnim predznakom, no pritom se ne zamjećuje velika promjena orijentacije glavnih struktura u odnosu na prevladavajući smjer Z-I, osim u slučaju SI dijela koji ima naglašenu orijentaciju SZ-JI. To može upućivati na mlađu tektonsku aktivnost i promjenu orijentacije regionalnoga stresa.

Profilna zakrivljenost padina

U gotovo jednaku udjelu zastupljene su konkavne (39,85 %) i konveksne (39,02 %) padine. Iako postoji izražena prostorna heterogenost, konveksne (primarne i relativno mlađe) padine ističu se na prostorima veće nadmorske visine te predstavljaju strme dijelove grebenaških struktura s prevladavajućom destrukcijom materijala (sl. 7e). Konkavne (sekundarne i relativno starije) padine prevladavaju na najnižim dijelovima gorskih uzvišenja te markiraju glavne dolinske forme s prevladavajućom akumulacijom materijala. Uravnotežene (pravocrtne) padine čine 21,13 % površine područja te se pružaju kao uski pojas označen žutom bojom između konveksnoga i konkavnoga dijela (sl. 7e i 8e).

Vertical dissection of relief

The range of vertical dissection values spans from 53 to 530 m/km^2 , with an average value of 313 m/km^2 (Figs. 7d and 8d), indicating *predominantly highly dissected relief* (Bognar, 1992). The lowest categories are primarily associated with the western part of the Loborska Reka Valley and the Očura Valley. The $200-300 \text{ m/km}^2$ category extends across the area as an uninterrupted belt. The most represented category, $300-400 \text{ m/km}^2$, highlights the orographic units of the mountain ranges (Koprivnjak-Veliko Kalce and the central ridge belt of Ivančica), similar as the $>400 \text{ m/km}^2$ category. This pattern suggests that neotectonics had a predominantly positive influence on the relief development of this area. However, no significant changes in the orientation of the main structures relative to the prevailing west-east direction are observed, except in the north-east part, where a pronounced north-west-southeast orientation is evident. This may indicate more recent tectonic activity and a shift in the orientation of regional stress.

Profile Curvature of Slopes

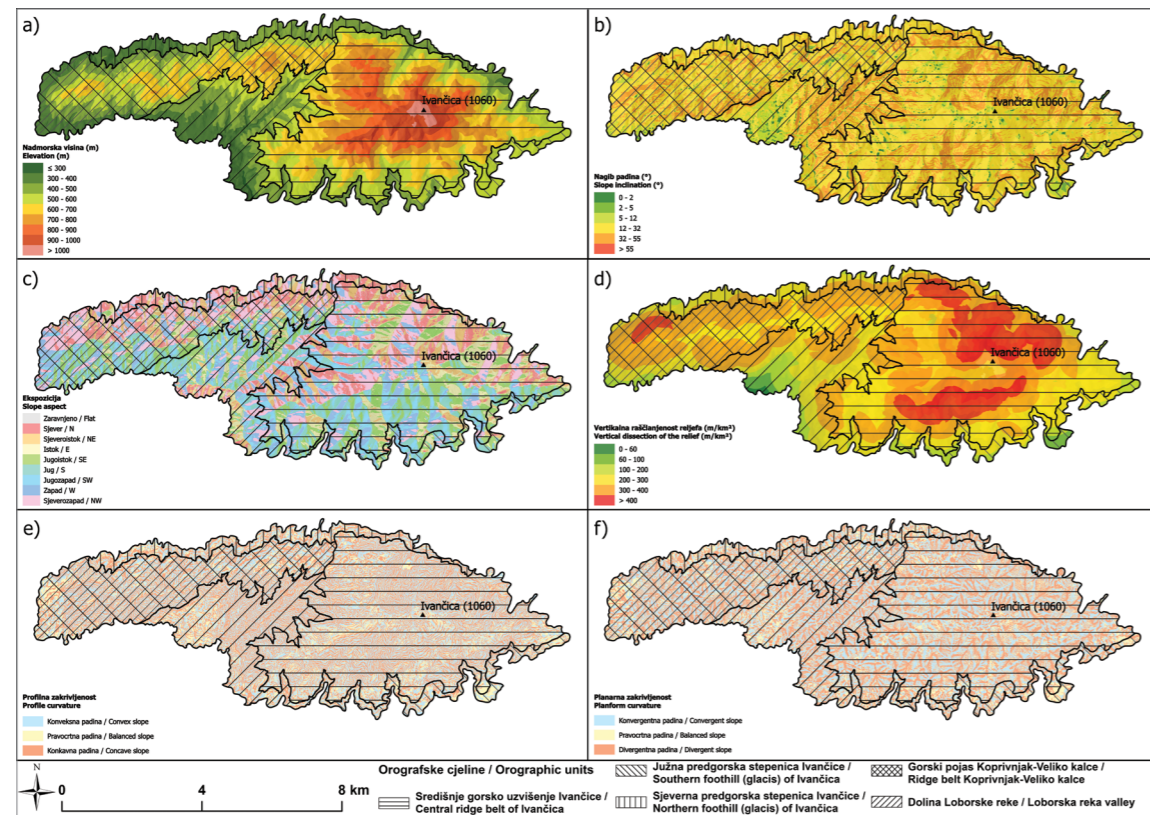
Concave (39.85%) and convex (39.02%) slopes are almost equally represented. Despite notable spatial heterogeneity, convex slopes (primary and relatively younger) stand out in areas of higher elevations. These slopes represent steep sections of ridge structures where material destruction prevails (Fig. 7e). Concave slopes (secondary and relatively older) are predominant in the lowest parts of the mountainous terrain, marking the main valley forms where material accumulation dominates. Straight (balanced) slopes account for 21.13% of the area and form narrow transitional zones, highlighted in yellow, between convex and concave sections (Figs. 7e and 8e).

Planarna zakrivljenost padina

Divergentne padine (42 %) vezane su uz grebene na kojima prevladavaju intenzivniji derazijski, odnosno padinski procesi. Konvergentne padine (38,04 %) podudarne su s dolinskim formama, a time je u njima intenzivnija akumulacija vode i materijala (Radoš i dr., 2012). Uravnotežene pravocrtne padine (19,92 %) predstavljaju infleksijske dijelove padina i zaravnjena područja pretežno vezana uz najviše vrhove te akumulacijske (naplavine) elemente krajobraza (sl. 7f i 8f). S obzirom na veći udio divergentnih padina na istraživanom prostoru Ivančice prevladavaju denudacijski procesi, što je s obzirom na morfostrukturni tip očekivano, a ovom analizom i potvrđeno.

Planar Curvature of Slopes

Divergent slopes (42%) are associated with ridges, where more intense denudational and slope processes prevail. Convergent slopes (38.04%) correspond to valley forms, where water and material accumulation is more pronounced (Radoš et al., 2012). Straight, balanced slopes (19.92%), represent inflection points on slopes and flattened areas, predominantly linked to the highest peaks and depositional (alluvial) elements of the landscape (Figs. 7f and 8f). Given the greater proportion of divergent slopes, denudational processes dominate the Ivančica study area. This is expected given the morphostructural type of the region, and this analysis confirms it.

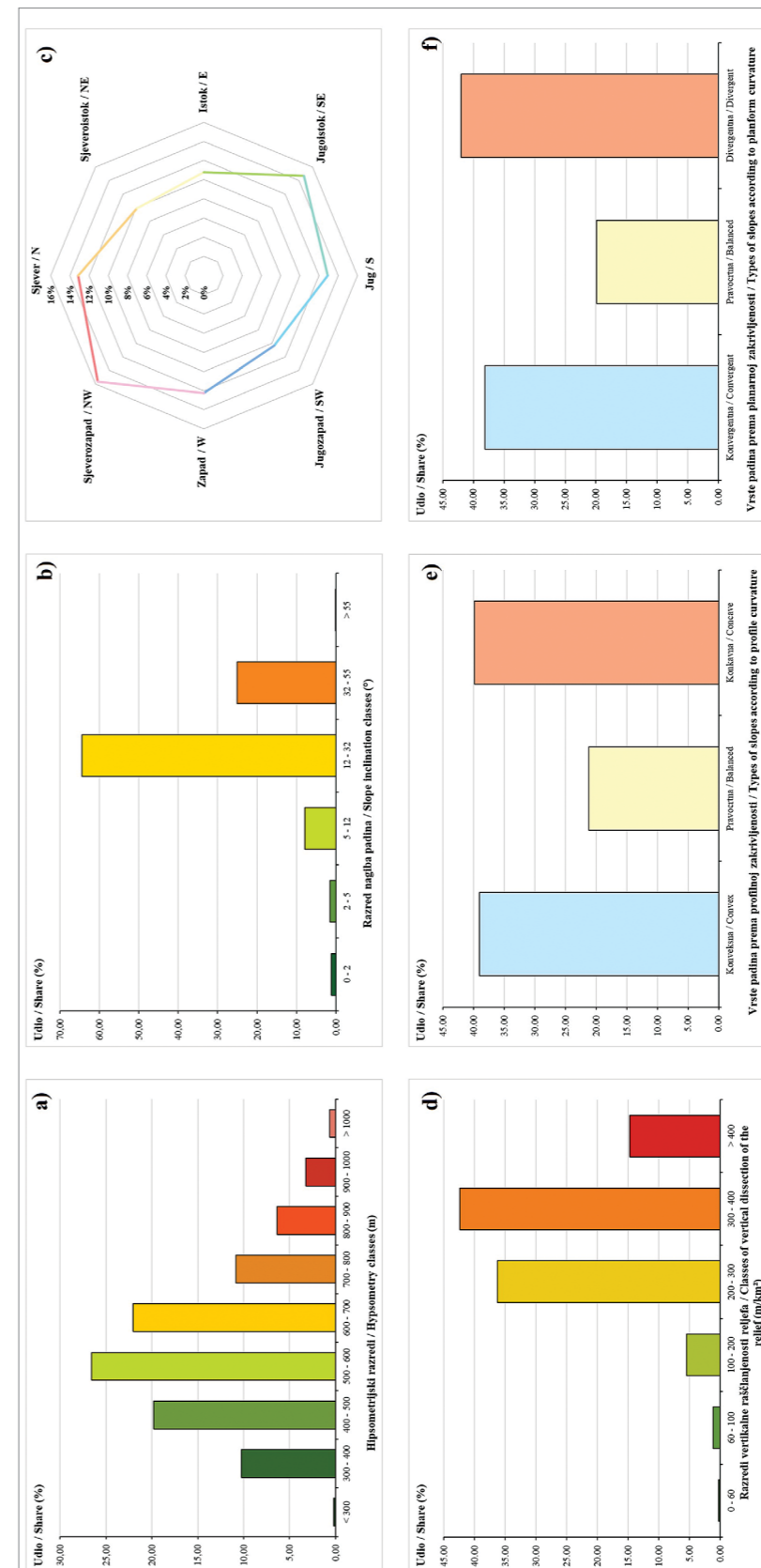


Sl. 7. Morfometrijska obilježja: a) hipsometrijska karta, b) karta nagiba padina, c) karta ekspozicije padina, d) karta vertikalne raščlanjenosti reljefa, e) karta profilne zakrivljenosti padina, f) karta planarne zakrivljenosti padina

Fig. 7 Morphometric features: a) Hypsometric map, b) Slope inclination map, c) Slope aspect map, d) Vertical dissection of the relief map, e) Profile curvature map, f) Planar curvature map

Izvor: izradili autori na temelju DMR-a 5 x 5 m Geografskog odsjeka (n.d.b)

Source: created by authors based on: DEM 5 x 5 m from the Department of Geography (n.d.b)



Sl. 8. Ujeli morfometrijskih kategorija u ukupnoj površini istraživanog prostora: a) hipsometrija, b) nagib padina, c) ekspozicija padina, d) vertikalna raščlanjenost reljefa, e) profilna zakrivljenost padina, f) planarna zakrivljenost padina

Fig. 8 Proportions of morphometric categories in the total area of the study region: a) Hypsometry, b) Slope inclination, c) Slope aspect, d) Vertical dissection of the relief, e) Profile curvature, f) Planar curvature

Izvor: izradili autori na temelju DMR-a 5 x 5 m geografskog odsjeka (n.d.b)

Source: created by authors based on: DEM 5 x 5 m from the Department of Geography (n.d.b)

Prostorna gustoća rasjeda

U kontekstu razvitka krškoga i fluviokrškoga tipa reljefa veliku važnost imaju strukturni geološki elementi poput rasjeda i s njima povezanih pukotinskih sustava. Oni uvjetuju nagle pregibe vidljive u širini i pružanju hipsometrijskih pojasa, strmijim padinama, većoj koncentraciji površinskih i podzemnih reljefnih oblika, zatim izvora te usmjeravaju hidrološku aktivnost markiranu pružanjem dolina. To u konačnici rezultira većom georaznolikošću (Butorac i Cvitković, 2019). Vidljivo je (sl. 9a) da su najveće vrijednosti gustoće rasjeda vezane uz orografsku cjelinu Koprivnjak-Veliko kalce (A), rasjedno predisponiranu dolinu potoka Loborska reka (B), središnje gorsko uzvišenje Ivančice (C) te navlačke trijaskih dolomita (D).

Prostorna gustoća ponikva

Na istraživanom prostoru kartirano je 75 depresija koje svojom morfologijom odgovaraju ponikvama; prosječna je gustoća neznatna (Pahernik, 2012) – svega 1,52 pon./km² (sl. 9b). Najveća je u prostoru Košenine (I) i Koprivnjak-Veliko kalce (II). Sljedeće područje povećane gustoće jest dolina Račkog potoka (III). Ono je vezano uz zonu jursko-krednih vapnenaca na kontaktu s klastičnim naslagama miocena. Na istoj litološkoj podlozi uočen je i razvitak ponikava uz sami ponor Šebastjanovec (IV). Posljednja je zona središnje gorsko uzvišenje Ivančice (Črne mlake i Jelenska peč) (V). Istraživani prostor obilježava relativna podudarnost prostorne gustoće ponikava s litološkim obilježjima i prostornom gustoćom rasjednih zona, što je posebno izraženo na području Črnih mlaka i Jelenske peći. Ostale izdvojene zone isto su vezane uz rasjedne elemente, ali ne toliko izražene gustoće. Takav je primjer prostor Košenine, gdje je endogeni utjecaj bio izraženiji duž nekoliko glavnih rasjeda, što je posljedično pogodilo razvoj sekundarne pukotinske poroznosti u dolomitima i samim time razvoju ponikava kao geomorfoloških indikatora okršavanja.

Spatial density of faults

Structural geological elements, such as faults and associated fracture systems, play a significant role in the development of karst and fluviokarst relief. These elements influence abrupt changes in the width and orientation of hypsometric zones, steeper slopes, higher concentrations of surface and sub-surface relief forms, springs, and the orientation of hydrological activity marked by valley alignments. This ultimately results in increased geodiversity (Butorac and Cvitković, 2019). As shown in (Fig. 9a), the highest fault density values are associated with the orographic unit Koprivnjak–Veliko Kalce (A), the fault-controlled valley of the Loborska Reka Stream (B), the central ridge belt (C), and the thrust sheets of Triassic dolomites (D).

Spatial density of dolines

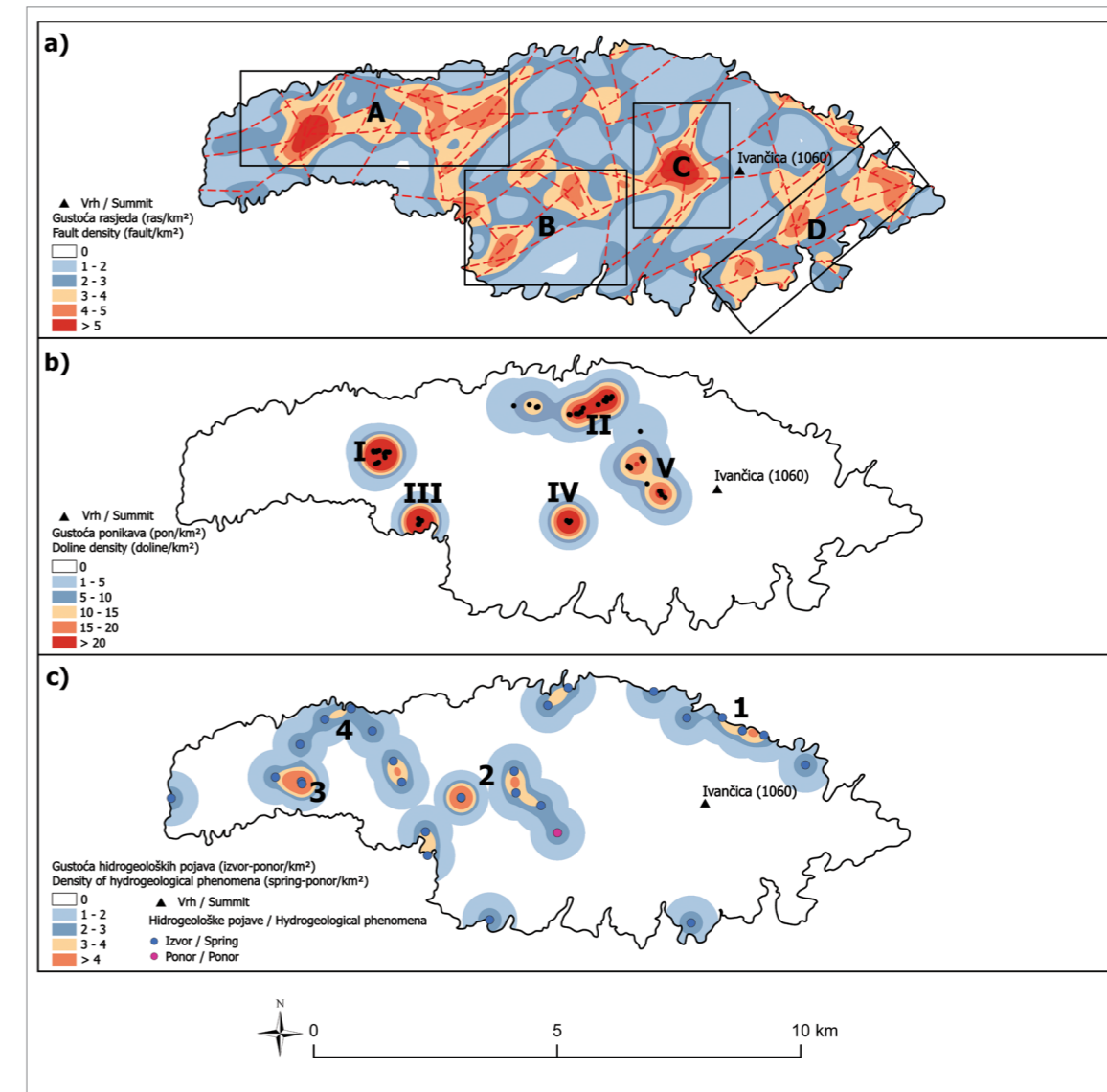
A total of 75 depressions were mapped in the study area. These depressions exhibit morphological characteristics of dolines, with an average density of only 1.52 dolines/km², which is negligibly low (Pahernik, 2012) (Fig. 9b). The highest doline densities are found in the following zones: I and II, the Košenina and Koprivnjak–Veliko Kalce areas; III: the Rački Potok Valley, associated with Jurassic-Cretaceous limestones at the contact with Miocene clastic deposits; IV: the area near the Šebastjanovec Ponor, which was also developed on the same lithological substrate; and V: the central ridge belt, specifically in the Črne Mlake and Jelenska Peć areas. The study area is characterized by a relative correlation between the spatial density of dolines, lithological features, and fault zone density. This is particularly evident in the Črne Mlake and Jelenska Peć areas. Other identified zones are also associated with fault elements, though with less pronounced density. For example, in the Košenina area, the endogenous influence was more pronounced along several major faults, which consequently favored the development of secondary fracture porosity in dolomites, leading to the formation of dolines as geomorphological indicators of karstification.

Prostorna gustoća izvora i ponora

Karbonatna građa Ivančice uvjetovala je razvoj krških vodonosnika te pojavu brojnih krških izvora (Meaški i dr., 2019). Izdvajaju se četiri ključne zone povećane gustoće hidrogeoloških pojava (sl. 9c): sjeveroistočna zona preljevnih izvora vezana za zonu rasjeda Prigorec-Gotalovec (1) (Oikon,

Spatial density of springs and ponors

The carbonate composition of Ivančica has facilitated the development of karst aquifers and the occurrence of numerous karst springs (Meaški et al., 2019). Four key zones of increased density of hydrogeological features are identified (Fig. 9c): the northeast zone of overflow springs associated with



Sl. 9. Specifična morfometrijska obilježja: a) prostorna gustoća rasjeda, b) prostorna gustoća ponikava, c) prostorna gustoća hidrogeoloških pojava (izvori-ponori)

Fig. 9 Specific morphometric features: a) Spatial density of faults, b) Spatial density of dolines, c) Spatial density of hydrogeological features (springs and ponors)

Izvor: izradili autori na temelju podataka terenskog istraživanja; DGU (2023); Šimunić i dr. (1983); Aničić i Juriša (1984)
Source: created by authors based on: field survey; CGA (2023); Šimunić et al. (1983); Aničić and Juriša (1984)

2019; Meaški i dr., 2019) te izvorišno područje koje formira potok Reku i Rački potok (2). U zapadnom dijelu zona izvora pojavljuje se na kontaktu trijaskih dolomita i miocenskih klastičnih naslaga Starog Golubovca (3). Na kontaktima dolomita, bazaltnih i andezitnih naslaga te miocenskih klastita sjeverne predgorske stepenice pojavljuje se nekoliko slabijih preljevnih izvora (4). Jedini poznati ponor ovoga dijela Ivančice jest Šebastjanovec za koji se pretpostavlja da čini hidrogeološki povezani kompleks s Loborskom rekam. Prema pretpostavljenom hidrogeološkom modelu Ivančice smatra se da izvorišta sjeverne, središnje i južne strane čine jedinstveni hidraulički povezani karbonatni vodonosnik (Hrvatske vode, 2016).

Obilježja dolinske mreže

Na istraživanom prostoru analizom je evidentirano 280 km površinskih tokova. Najveća tekućica jest potok Loborska reka koji tvore potoci Dugi jarek i Koprivnjak nakon ušća Račkog potoka. Prema Strahlerovoj klasifikaciji Dugi jarek i Loborska reka jedini su vodotoci u 5. kategoriji (sl. 10). Morfološki izraženi gorski pojasevi Koprivnjak-Veliko kalce i središnje gorsko uzvišenje Ivančice razdvajaju sjeverno porječje Bednje i Drave, dok južna strana pripada porječju Krapine i Save.

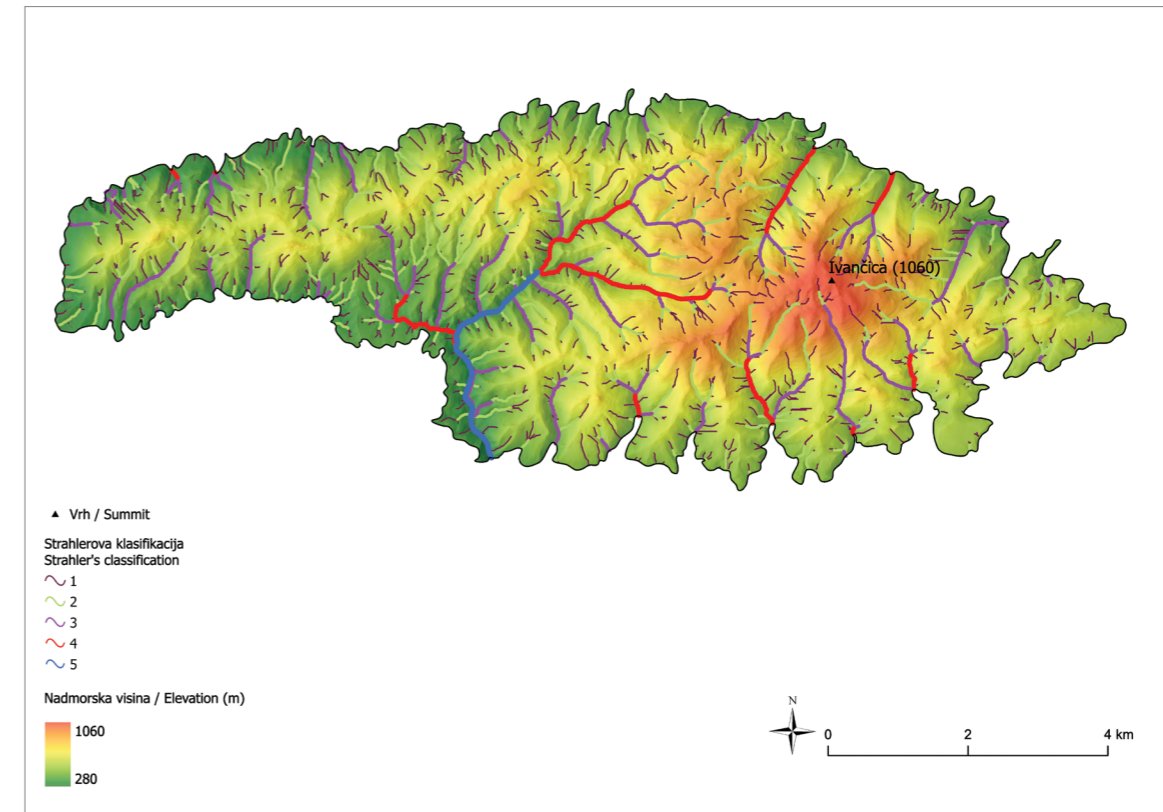
Analizom prostornog tipa dolinske mreže cijele Ivančice utvrđen je dendritičan tip gotovo nasumičnih karakteristika. On je tipičan za panonsko-peripanonske dijelove Hrvatske u kojima dominiraju derazijski procesi. No, tipove dolinskih mreža istraživanog područja moguće je povezati s orografskom strukturom. Prvu cjelinu s rasjedno uvjetovanom dendritičnom dolinskom mrežom čini glavna dolina potoka Loborska reka, odnosno Dugi jarek i Koprivnjak. U središnjem gorskom uzvišenju Ivančice prevladava radialna dolinska mreža kao rezultat neotektonskoga izdizanja. Time je uvjetovana gotovo simetrična erozija strmih padina u svim smjerovima, odnosno centrifugalni tip dolinske mreže (Charlton, 2008). Sjevernu i južnu predgorsku stepenicu karakterizira paralelni tip dolinske mreže koji je uvjetovan izraženim nagibom padina sjeverno i južno od glavnoga grebena.

the Prigorec–Gotalovec fault zone (1) (Oikon, 2019; Meaški et al., 2019); the spring area forming the Reku and Rački Potok streams (2) in the western part; the springs occurs at the contact zone between Triassic dolomites and Miocene clastic deposits near Stari Golubovec (3); and Northern foothill (glacis) zone (4) with weaker overflow springs located at the contact of dolomites, basaltic and andesitic deposits, and Miocene clastics. The only known ponor in this part of Ivančica is Šebastjanovec, which is presumed to form a hydrogeologically connected system with the Loborska Reka Stream. According to the proposed hydrogeological model of Ivančica, it is believed that the spring areas on the northern, central, and southern slopes form a single hydraulically connected carbonate aquifer (Croatian Waters, 2016).

Characteristics of the Valley Network

The study area contains a total of 280 km of surface streams. The largest watercourse is Loborska Reka Stream, formed by the confluence of the Dugi Jarek and Koprivnjak. According to Strahler's classification, Dugi Jarek and Loborska Reka are the only streams categorized as fifth-order watercourses (Fig. 10). The morphologically prominent mountain ranges of Koprivnjak–Veliko Kalce and the central mountain ridge of Ivančica separate the northern watershed of the Bednja and Drava rivers from the southern watershed of the Krapina and Sava rivers.

Analysis of the spatial valley network type across Ivančica reveals a dendritic pattern with nearly random characteristics. This type is typical of Pannonian and peri-Pannonian regions of Croatia, where denudational processes dominate. However, the types of valley networks can be linked to orographic structures: The first unit with a fault-controlled dendritic drainage network consists of the main valley of the Loborska Reka Stream, as well as Dugi Jarek and Koprivnjak. In the central mountain ridge belt, a radial drainage network predominates as a result of neotectonic uplift. This has led to the nearly symmetrical erosion of steep slopes in all directions, representing a centrifugal type of drainage network (Charlton, 2008). The northern and southern foothills are characterized by a parallel valley network, shaped by the pronounced slope inclination on the north and south sides of the main ridge.



Sl. 10. Dolinska mreža istraživanoga prostora prema Strahlerovoj klasifikaciji
Fig. 10 Valley network of the study area according to Strahler's classification

Izvor: izradili autori na temelju DMR-a 5 x 5 m Geografskog odsjeka (n.d.b)
Source: created by authors based on: DEM 5x5 m from the Department of Geography (n.d.b)

Tip i izgled dolinske mreže širega prostora Ivančice bitan je i za razumijevanje dviju morfološki različitih predgorskih stepenica. Sjeverno, paralelno s glavnim grebenom Ivančice, teče rijeka Bednja čijim je djelovanjem višak regolita sa sjevernih padina Ivančice u geološkoj prošlosti relativno brzo pretaložen. Proces je rezultirao morfološki slabo razvijenom sjevernom predgorskom stepenicom izraženom paralelizma manjih vodenih tokova koji gravitiraju regionalnoj erozijskoj bazi rijeke Bednje. S druge strane, nepostojanje vodotoka paralelnog s glavnim grebenom Ivančice na jugu područja uvjetovao je postojanje široke južne predgorske stepenice na kojoj su usječeni veći vodeni tokovi izraženog paralelizma koji gravitiraju regionalnoj erozijskoj bazi rijeke Krapine. Time se dolinska mreža južne predgorske stepenice Ivančice može smatrati razvijenijom, a južna predgorska stepenica ocjeditijom (Crkvenčić, 1958).

The type and appearance of the valley network in the broader Ivančica region are crucial for understanding the two morphologically distinct foothills (glacis). Parallel to the main ridge, the Bednja River flows on the northern side, rapidly transporting excess regolith from Ivančica's northern slopes during geological history. This process resulted in a morphologically underdeveloped northern foothill (glacis) with a parallel network of smaller watercourses gravitating toward the regional erosion base of the Bednja River. The absence of a watercourse parallel to Ivančica's main ridge on its southern side resulted in a wide southern foothill (glacis). Larger streams with pronounced parallelism are incised into this step, gravitating toward the regional erosion base of the Krapina River. Consequently, the valley network of Ivančica's southern foothill (glacis) is more developed, and the southern step is better drained (Crkvenčić, 1958).

Strukturno-geomorfološka obilježja

Iako je intenzivna tektonika kroz geološku prošlost dala temeljni karakter reljefu Ivančice, danas su u reljefu izraženi rezultati mlađih neotektonskih zbivanja. Pritom se tektonska jedinica *horsta Ivančice* (kako je nekada karakterizirana) u geomorfološkom smislu može podijeliti na četiri osnovne strukturne jedinice: *Antiklinala Toplice-Margečan, navlaka Čevo, navlaka Ivančice* te *navlaka Skalovke* (Šimunić i dr., 1981). Istraživani prostor zahvaćaju posljednje tri strukturne jedinice (sl. 11).

Navlaka Čevo izraženim je rasjedima s odrazom u reljefu odvojena od ostalih struktura (sl. 11). Najmanje je površine te je isključivo vezana uz krajnji sjeveroistočni rub područja istraživanja čiju granicu markira jedan od glavnih morfolineamenata – rasjed Prigorec-Gotalovec s većim brojem izvora (Meaški i dr., 2019).

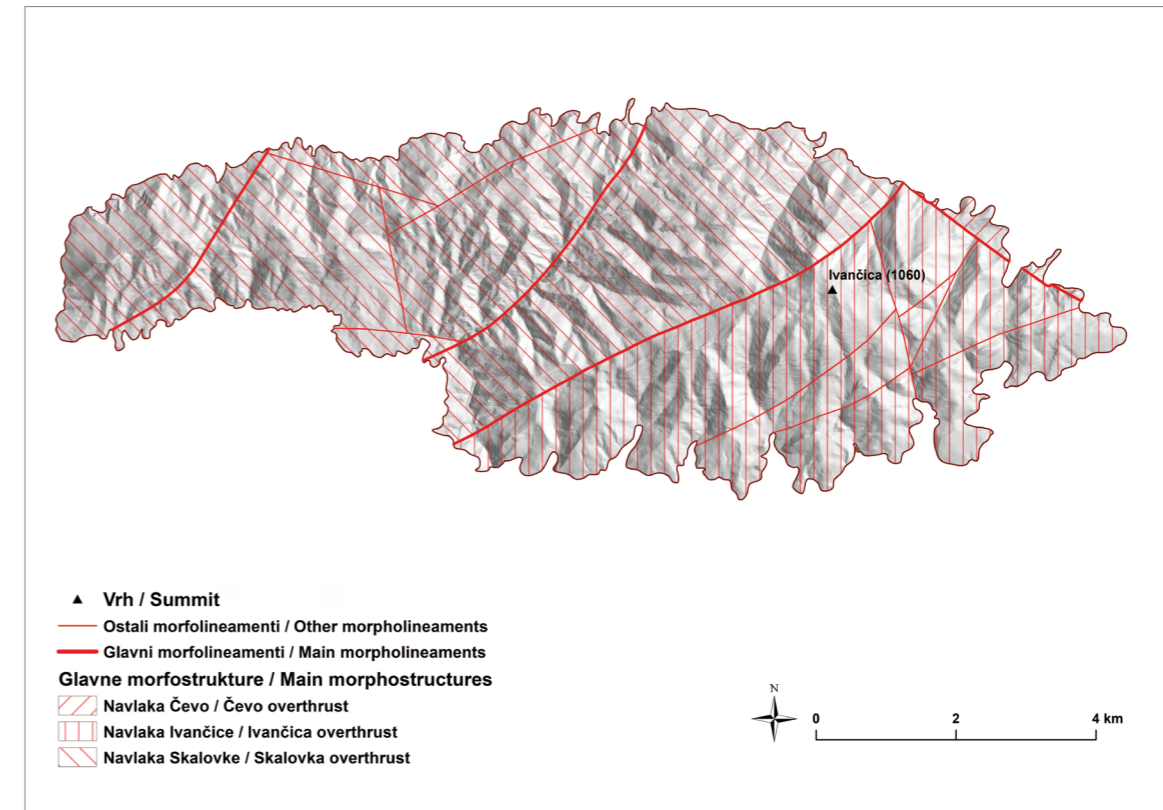
Navlaka Ivančice, poznata i kao struktura Konj-Mrzljak, obuhvaća najviše dijelove (Šimunić i dr., 1981; Meaški i dr., 2019). Omeđena je dvama izraženim rasjedima snažnoga odraza u reljefu, ponajprije po izrazitoj vertikalnoj raščlanjenosti (> 400 m/km²): Prigorec-Gotalovec i Prigorec-Lobor, koji je ujedno i glavni izraženi morfolineament područja (sl. 11). Duž tih rasjeda su se u neotektonskoj etapi odvijali snažni pokreti koji su definirali reljefne odnose u središnjim dijelovima Ivančice. Južni rub jedinice obilježava velik broj tektonskih krpa, odnosno navlačaka trijaskih dolomita na donjokredne klastite (Oštrc, Velečki grad, Mrzljak, Drenovec i Mala Ivančica). Njihova manifestacija u reljefu vidljiva je po epigenetskim dolinama, poput donjega toka Loborske reke, što je uočio i Crkvenčić (1958). Navlačci trijaskih dolomita u zoni rasjeda Prigorec-Lobor postupno sužavaju zonu donjokrednih klastita, a time tvore poremećenu i neotektonski dezintegriranu sinklinalu (Šimunić i dr., 1981). Unutar ove strukturne jedinice brojni su rasjedi s mjestimičnim odrazom u reljefu koji se poprečno i horizontalno spajaju na lineamente Prigorec-Gotalovec i Prigorec-Lobor (sl. 11). Indikatori utjecaja ovih rasjeda i za njih vezanih pukotinskih zona jesu brojna laktasta skretanja dolina, što je posebno izraženo u gornjem dijelu potoka Šumi. Odras rasjeda Prigorec-Lobor vidljiv je na

Structural-Geomorphological Features

Although intensive tectonics during geological history shaped the fundamental character of Ivančica's relief, the current landscape prominently reflects the results of neotectonic activity. The tectonic horst unit of Ivančica, as it was once characterized, can geomorphologically be divided into four primary structural units: the *Toplice-Margečan Anticline*; the *Čevo Overthrust*; the *Ivančica Overthrust*; and the *Skalovka Overthrust* (Šimunić et al., 1981). The study area includes the latter three structural units (Fig. 11).

The *Čevo Overthrust* is separated from other structures by distinct faults reflected in the relief (Fig. 11). It is the smallest unit and is confined to the northeastern edge of the study area, marked by a significant morpholineament, the Prigorec-Gotalovec fault, which also hosts numerous springs (Meaški et al., 2019).

The *Ivančica Overthrust*, also known as Konj-Mrzljak structure, encompasses the highest parts of Ivančica (Šimunić et al., 1981; Meaški et al., 2019). It is bounded by two pronounced faults with strong relief expressions, particularly in terms of Vertical dissection (>400 m/km²): the Prigorec-Gotalovec and Prigorec-Lobor faults, the latter being the primary morpholineament of the area (Fig. 11). Strong movements along these faults during the neotectonic stage defined the relief in the central parts of Ivančica. The southern edge of this unit features numerous tectonic flakes and thrusts of Triassic dolomites over Lower Cretaceous clastics (e.g. Oštrc, Velečki Grad, Mrzljak, Drenovec, and Mala Ivančica). These are expressed in the relief as epigenetic valleys, such as the lower course of Loborska Reka, observed by Crkvenčić (1958). The dolomite thrusts along the Prigorec-Lobor fault gradually narrow the zone of Lower Cretaceous clastics, forming a disturbed and neotectonically disintegrated syncline (Šimunić et al., 1981). Numerous faults within this unit intersect transversely and horizontally with the Prigorec-Gotalovec and Prigorec-Lobor lineaments (Fig. 11). Indicators of these faults and their fracture zones include numerous elbow-shaped valley bends, particularly in the upper section of the Šumi Stream. At Črne Mlake,



Sl. 11. Morfostrukturna karta istraživanog područja
Fig. 11 Morpho-Structural map of the studied area

Izvor: izradili autori na temelju Šimunić i dr. (1983); Aničić i Juriša (1984)
Source: created by authors based on: Šimunić et al. (1983); Aničić and Juriša (1984)

prostoru Črnih mlaka, gdje je razvijena pukotinska zona u srednjotrijaskim dolomitima, što je omogućilo infiltraciju površinske vode u podzemlje i okrsavanje (ponikve).

Navlaka Skalovke ili struktura Veliko Kalce-Košena razvijena je zapadno od rasjeda Prigorec-Lobor (Šimunić i dr., 1981; Hrvatske vode, 2016) (sl. 11). Duž tog rasjeda, kao granice ove jedinice s navlakom Ivančice, tijekom neotektonske etape i naknadnim procesima nastala je pukotinska zona u naslagama jursko-krednih vapnenaca u kojoj je ponor Šebastjanovec. Neposredno uz ponor terenskim kartiranjem zabilježena je nekolicina manjih (cca 1-1,5 m širine i 0,5 m dubine) i jedna veća ponikva (cca 8 m širine i 5 m dubine). Unutar ove jedinice prisutni su brojni manji rasjedi poprečne i horizontalne orijentacije. Njihova manifestacija u reljefu vidljiva je u laktastim skretanjima dolina, po-

the influence of the Prigorec-Lobor fault is evident in a fracture zone within Middle Triassic dolomites, which has facilitated surface water infiltration and karstification (e.g. dolines).

The Skalovka Overthrust (Veliko Kalce-Košena Structure) is developed west of the Prigorec-Lobor fault, which separates it from the Ivančica Overthrust (Šimunić et al., 1981; Croatian Waters, 2016). During the neotectonic stage and subsequent processes, a fracture zone developed in Jurassic-Cretaceous limestones, which includes the Šebastjanovec sink/ponor. Field mapping near Šebastjanovec revealed several smaller dolines (1–1.5 m wide and 0.5 m deep) and one larger doline (8 m wide and 5 m deep). Numerous smaller faults of transverse and horizontal orientation are present within this unit. Their impact on the relief is visible through elbow-shaped valley bends, dolines in

nikvama na prostoru Košenine i pojavi većega broja izvora duž sjeverozapadnoga ruba područja.

Na temelju izloženih rezultata analize strukturnoga sklopa i morfometrije orografske cjeline Koprivnjak-Veliko Kalce pretpostavlja se da je ovaj prostor u geološkoj prošlosti bio jedinstvena cjelina, odnosno jedinstveni grebenski pojas koji se protezao od Vilinske špice preko Košenine do Velikog Kalca. Usljed snažnih neotektonskih pokreta razlomljen je na manje blokove koji su mjestimično individualno izdignuti, u čemu su spomenuti morfolineamenti imali temeljnu ulogu. Dokaz su izdvojene zone veće vertikalne raščlanjenosti reljefa u odnosu na okolni prostor te brojna sedla.

Egzogeno-geomorfološka obilježja

Na istraživanom području utvrđena su tri morfogenetska tipa reljefa (tab. 1; sl. 12). Prevladava *fluviokrški tip* čiji je pojas isprekidan. Već su Ozimec i Šincek (2011) utvrdili na Ivančici krški reljef, no nisu radili razliku između fluviokrškoga i krškoga reljefa. Na temelju analize geoloških i geomorfoloških elemenata utvrđeno je da se radi isključivo o fluviokršu. *Fluviodenudacijski reljef* uglavnom je vezan uz južnu zonu donjokrednih i miocenskih klastičnih naslaga. U S dijelu područja manje je zastupljen te je uglavnom vezan uz bazaltne i andezitne naslage te miocenske klastične naslage dominantne u građi predgorske stepenice. *Fluvijalni reljef* je najmlađi, oblikovan tijekom kvartara. Ovaj morfogenetski tip zabilježen je samo u uskim dolinama tekućica.

Tab. 1. Udjeli morfogenetskih tipova reljefa na istraživanom području
Tab. 1 Proportions of morphogenetic relief types in the study area

MORFOGENETSKI TIP RELJEFA / MORPHOGENETIC RELIEF TYPES	POVRŠINA / AREA km ²	UDIO / SHARE (%)
akumulacijski (fluvijalni) / accumulation (fluvial)	0,3	0,6
fluviodenudacijski / fluviodenudational	13,76	27,19
fluviokrški / fluviokarstic	36,54	72,21
Ukupno / Total	50,6	100

Izvor: vlastito istraživanje autora
Source: research conducted by authors

the Košenina area, and numerous springs along the northwestern edge of the study area.

Based on the structural framework and morphometric analysis of the Koprivnjak-Veliko Kalce orographic unit, it is hypothesized that this area was once a unified ridge system extending from Vilinska Špica through Košenina to Veliko Kalce. Strong neotectonic movements fragmented it into smaller blocks, some of which were individually uplifted. The identified morpholineaments played a crucial role in this process, as evidenced by zones of increased vertical dissection and numerous saddles relative to the surrounding terrain.

Exogenous-Geomorphological Features

Three morphogenetic relief types were identified in the study area (Table 1; Fig. 12). The *fluviokarstic relief* predominates, forming a discontinuous belt. Previously, Ozimec and Šincek (2011) identified karst relief on Ivančica but did not differentiate between fluviokarst and karst relief. Based on an analysis of geological and geomorphological elements, the relief of Ivančica is exclusively fluviokarst. *Fluvi-denudational relief* is primarily associated with the southern zone of Lower Cretaceous and Miocene clastic deposits. In the southern part of the study area, it is less prevalent and is mainly linked to basaltic and andesitic deposits and Miocene clastic deposits that dominate the foothill (glacis). *Fluvial relief* is the youngest morphogenetic type, formed during the Quaternary. It is observed only in narrow stream valleys.

Fluviokrški reljef

Fluviokrš je razvijen pretežno na trijaskim dolomitima s relativno slabom zastupljenosti površinskih oblika, a više se manifestira određenim hidrogeološkim karakteristikama. Unutar njega mogu se diferencirati manji fragmenti s većom zastupljenosti kartiranih ponikava kao indikatorima krške topografije, pa se može govoriti o prostorima manje i više uznapredovale okršenosti dolomita. To je posebno izraženo na orografskim cjelinama Koprivnjak-Veliko kalce i središnjem gorskom uzvišenju Ivančice.

Dolomiti u svom sastavu imaju zastupljenu veću količinu netopivih sastojaka, što utječe na veću podložnost mehaničkom trošenju i slabiju okršenost. Posljedica je mehaničkoga trošenja obilatiji rezidij koji limitira okršavanje smanjenjem kapaciteta pukotina za infiltraciju vode u podzemlje. Zato su se oblikovali reljefni oblici koji se intermedijalno nalaze između krškoga i fluviudenudacijskoga reljefa, tipični za fluviokrški reljef (Poljak, 1957; Roglič, 1960; Zogović, 1966). S obzirom na sastav stijena prevladava dolomitni podtip fluviokrša.

Ponikve su ključni reljefni indikator krške i fluviokrške topografije, međutim, njihova odsutnost ili manja gustoća ne znači da se podzemni krški i fluviokrški hidrogeološki sustav nije mogao razviti (Ford i Williams, 2007). To je djelomično i karakteristika istraživanoga prostora. Na istraživanom prostoru kartirano je 75 depresija koje svojom morfologijom odgovaraju ponikvama. Kartirane ponikve su relativno malenih dimenzija, osim kod ponora Šebastjanovec, gdje je pronađena jedna veća. Sama morfogeneza svih kartiranih ponikava nije u potpunosti poznata te je u nekim slučajevima s obzirom na malenu dimenziju depresija teško ustvrditi radi li se o korozijskim ponikvama, širem spektru subsidencijskih ponikava ili pak o nizu mehaničkih i antropogenih procesa. Zato bi se neke depresije među njima mogle klasificirati i kao pseudoponikve (Roglić, 1974b; Gutiérrez i dr., 2008; Gutiérrez i dr., 2014). Stoga za preciznije određivanje treba provesti dodatna istraživanja. Prevladnost malenih ponikava tumači se slabijom okršenosti područja zbog dominacije dolomitne komponente te relativno sporijom infiltracijom površinske vode u podzemlje. To je u skladu i s terenskim opažanjem, gdje je u nekim ponikvama bila prisutna voda. Po-

Fluviokarstic relief

The fluviokarst is predominantly developed on Triassic dolomites, with relatively limited surface landforms but more prominently manifested through specific hydrogeological characteristics. Within this relief type, smaller fragments with a higher density of dolines can be identified as indicators of karst topography. These fragments highlight areas of lesser and greater degrees of dolomite karstification. This is particularly evident in the orographic units of Koprivnjak-Veliko Kalce and the central ridge belt of Ivančica.

Dolomites, with their higher proportion of insoluble components, are more prone to mechanical weathering and exhibit weaker karstification. Mechanical weathering produces abundant residuum, which limits karstification by reducing the capacity of fractures to allow water infiltration into the subsurface. As a result, landforms characteristic of fluviokarst relief develops, representing an intermediate stage between karst and fluvio-denudational relief (Poljak, 1957; Roglič, 1960; Zogović, 1966). The dominant subtype of fluvio-karst in the study area is dolomitic fluviokarst.

Dolines are key indicators of fluviokarst topography. However, their absence or low density does not preclude the development of a subsurface karst and fluviokarst hydrogeological system (Ford and Williams, 2007). This is partially characteristic of the study area. A total of 75 depressions, which exhibit morphological characteristics of dolines, were mapped. The mapped dolines are relatively small, except near Šebastjanovec Ponor. The genesis of all mapped dolines is not fully understood. For some depressions, their small size makes it challenging to determine whether they are corrosional dolines, part of a broader spectrum of subsidence dolines, or the result of various mechanical and anthropogenic processes. Therefore, some depressions may be classified as pseudodolines (Roglić, 1974; Gutiérrez et al., 2008; Gutiérrez et al., 2014). Accordingly, additional research is needed for more precise determination. The predominance of small dolines is explained by weaker karstification due to the dominance of dolomitic components and relatively slow infiltration of surface water into the subsurface. Field observations confirm this, as water was present in some dolines. Dolines are closely as-

nikve su usko vezane uz rasjedne i pukotinske zone Košenine, Malih krči, Jelenske peći i Črnih mlaka, odnosno uz orografske cjeline Koprivnjak-Veliko Kalce i središnje gorsko uzvišenje Ivančice, koji su ujedno i najviši dijelovi istraživanoga prostora. Ponikve su pronađene i na jugu istraživanoga prostora u zoni jursko-krednih vapnenaca uz kontakt s miocenskim klastičnim naslagama Starog Golubovca. Taj je prostor na malenoj prostornoj skali diseciran brojnim manjim jarugama i površinskim tokovima, što uz postojanje ponikava predstavlja vrijedan doprinos georaznolikosti Ivančice. Ponikve su pronađene i na području oko ponora Šebastjanovec, koji predstavlja jedini poznati primjer alogenoga krškog sustava ovoga dijela Ivančice. Veća gustoća ponikava oko ponora Šebastjanovec upućuje na jaču okršenost područja oko rasjeda Prigorec-Lobor, koji markira granicu između orografskih cjelina doline Loborske reke i središnjega gorskog uzvišenja Ivančice. Jača tektonska izlomljenost jursko-krednih vapnenaca pospješila je infiltraciju vode u krško podzemlje te u konačnici snižavanje razine vodnoga lica, a samim time i oblikovanje većih ponikava.

Speleološki objekti vezani su uz prostore sa specifičnim fluviokrškim obilježjima koji prate rasjedne kontakte i promjene u sastavu stijena, pretežito na orografskim cjelinama Koprivnjak-Veliko Kalce i Središnjem gorskom uzvišenju Ivančice (sl. 12). Samo je nekoliko speleoloških objekata usko vezano uz područja viših nadmorskih visina s većom koncentracijom ponikava kao indikatorima jače okršenosti (Jelenska peć i Pragerske krči). To se može objasniti pretpostavkom da su kartirani gorski prostori s većom koncentracijom ponikava relativno stariji u odnosu na ostale dijelove područja te su naknadno izdignuti i dezintegrirani neotektonskim pokretima koji su potencijalno uništili postojeće speleološke objekte te su uvjetovali odsutnost vodenih tokova koji bi ih mogli stvarati.

Među općim oblicima dolomitnoga podtipa fluviokrša prevladavaju jaruge kao kategorija padinskoga reljefa te ponikve kao kategorija krškoga reljefa, dok od specifičnih oblika fluviokrša prevladavaju aktivne fluviokrške doline. Doline svoja izvorišta dominantno imaju na području trijasko karbonatne trupine te uglavnom svojim gornjim dijelom toka zasijecaju trijasko dolomite. Međutim,

sociated with fault and fracture zones of Košenina, Male Krči, Jelenska Peć, and Črne Mlake, as well as with the orographic units of Koprivnjak-Veliko Kalce and the central ridge belt of Ivančica, which are also the highest parts of the study area. Dolines were also found in the southern part of the study area, in the Jurassic-Cretaceous limestone near the contact with Miocene clastic deposits of Stari Golubovec. This area is dissected on a small spatial scale by numerous small gullies and surface streams, contributing significantly to the geodiversity of Ivančica. Dolines were also identified around the Šebastjanovec ponor, which is the only known example of an allogenic karst system on this part of Ivančica. The higher density of dolines around the Šebastjanovec suggests stronger karstification in the area near the *Prigorec-Lobor* fault, which marks the boundary between the orographic units of the Loborska Reka Valley and the central ridge belt of Ivančica. Strong tectonic fracturing of Jurassic-Cretaceous limestones has facilitated water infiltration into the karst subsurface, lowering the water table and forming larger dolines.

Speleological features are associated with areas of specific fluviokarst characteristics along fault contacts and changes in rock composition, predominantly within the orographic units of Koprivnjak-Veliko Kalce and the central ridge belt of Ivančica (Fig. 12). Only a few speleological features are closely linked to higher altitudes with a higher concentration of dolines, such as Jelenska Peć and Pragerske Krči. This can be explained by the assumption that these mountain areas with a higher concentration of dolines are relatively older than other parts of the area, later uplifted and disintegrated by neotectonic movements, which potentially destroyed existing caves and caused the absence of watercourses that could form them.

Among general fluviokarst landforms, gullies dominate as slope relief features, and dolines as karst relief features, while active fluviokarst valleys are the most prevalent specific fluviokarst landforms. These valleys predominantly originate in the Triassic carbonate sequence and mostly incise into Triassic dolomites in their upper reaches. However, in many cases, valleys of intermittent and perennial streams frequently incise into clastic sediments,

u velikom broju slučajeva doline povremenih i stalnih vodotoka često zasijecaju klastične sedimente uglavnom donjokredne starosti na J te miocenske starosti na JZ i S području. Shodno tomu, doline povremenih i stalnih vodotoka istraživanoga područja obilježava poligenetska morfologija. Jedan od najboljih primjera takve doline jest dolina potoka Loborska reka, odnosno Dugog jarka i Koprivnjaka. Loborska reka najvećim dijelom svoga toka zasijeca zonu donjokrednih klastita gdje tvori široku fluviodenudacijsku koritastu dolinu. Fluviodenudacijski aspekt ovoga dijela toka vidljiv je po prevladavajućim derazijskim procesima koji obilježavaju brojne jaruge i derazijske doline s deluvijalnim konusima i proluvijalnim plavinama. Specifičnost Loborske reke i još nekih tekućica u južnom dijelu područja jest da one donjim dijelom svoga toka zasijecaju otpornije naslage trijaskih dolomita te tvore antecedentne epigenetske doline kanjonskih karakteristika, što je utvrdio i Crkvenčić (1958) (sl. 12). Dakle, može se tvrditi kako je usijecanje ove doline bilo paralelno s tektonskim izdizanjem i navlačenjem te nije bilo promjene smjera toka.

Terenskim istraživanjem zabilježen je i kontaktni fluviokrš vezan uz ponorsku zonu Šebastjanovca, na kontaktu orografskih cjelina doline Loborske reke i središnjega gorskog uzvišenja Ivančice. Do ponora na kraju slijepe doline vode tri manje fluviokrške doline koje svoja izvorišta imaju na području uske sinklinale donjokrednih klastita. Većim dijelom toka razvijene su u području jursko-krednih vapnenaca u zoni rasjeda Prigorec-Lobor, gdje je oblikovan i ponor (sl. 12). Terenskim je istraživanjem evidentirano da je samo jedna dolina aktivna, dok su preostale dvije suhe i neaktivne. U zoni ponora nastavlja se suha (neaktivna) fluviokrška dolina više nadmorske visine u odnosu na ponor, napuštene retrogradnim otvaranjem današnjega ponora. Nizvodno od suhe fluviokrške doline, otprilike 300 m od današnjega ponora, dolazi do promjene litologije i rasjednoga kontakta gdje je tijekom terenskoga istraživanja zabilježena pojava vode i reaktivacija doline. Time ponor Šebastjanovec najvjerojatnije čini hidrogeološki povezani kompleks s Loborskom rekam, no nije sigurno je li povezan s drugim izvorištima istraživanoga područja. K tomu, na potoku Šumi zabilježeno je recentno taloženje sedre, što čini vrijedan element georaznolikosti ovoga područja.

primarily Lower Cretaceous in the south and Miocene in the southwest and north of the area. Thus, the valleys of intermittent and perennial streams in the study area exhibit polygenetic morphology. One of the best examples is the valley of the Loborska Reka Stream, including Dugi Jarek and Koprivnjak. Most of the Loborska Reka's course incises into the Lower Cretaceous clastics, forming a wide fluvio-denudational rough valley. The fluvio-denudational aspect of this section is evident in the prevailing denudational processes characterized by numerous gullies and denudational valleys with deluvial cones and proluvial fans. A specific feature of the Loborska Reka and several other streams in the southern part of the area is that their lower courses incise into more resistant Triassic dolomites, forming antecedent epigenetic valleys with canyon-like characteristics, as noted by Crkvenčić (1958) (Fig. 12). This suggests that the incision of these valleys occurred concurrently with tectonic uplift and thrusting, with no change in the direction of flow.

Field research also documented contact fluviokarst associated with the Šebastjanovec Ponor zone, at the boundary between the orographic units of the Loborska Reka Valley and the central ridge belt of Ivančica three smaller fluviokarst valleys lead to the sink/ponor at the end of a blind valley, originating in the narrow syncline of Lower Cretaceous clastics. Most of their courses are developed in Jurassic-Cretaceous limestone along the *Prigorec-Lobor* fault zone, where the ponor is located (Fig. 12). During field survey, it was recorded that only one valley is active, while the other two are dry and inactive. A dry (inactive) fluvio-karst valley continues from the ponor at a higher elevation, abandoned by retrograde formation of the current ponor. Downstream from the dry fluviokarst valley, approximately 300 meters from the current ponor, a lithological and fault contact occurs, where the presence of water and the reactivation of the valley was recorded during fieldwork. This indicates that the Šebastjanovec Ponor likely forms a hydrogeologically-connected complex with the Loborska Reka, though it is unclear whether it is connected to other springs in the study area. Additionally, recent tufa deposition was observed in the Šumi Stream, representing a valuable element of the area's geodiversity.

Padinski i fluviudenudacijski reljef

Derazijski procesi i posljedično padinski reljefni oblici najizraženiji su na područjima slabije vezanih klastičnih naslaga, prvenstveno u južnoj zoni donjokrednih klastita te miocenskih klastičnih naslaga oko Starog Golubovca. Osim ovdje, ti su oblici zastupljeni na sjevernom rubu i južnom dijelu područja u zoni obiju predgorskih stepenica te na terenima građenima od paleozojskih škriljaca i bazaltnih stijena. Od destruktivskih oblika padinskoga reljefa najrazvijenije su jaruge te derazijske doline koje su posebice izražene u zoni donjega dijela toka Loborske reke. Jaruge se javljaju i na dijelu dolomitne karbonatne trupine (sl. 12). To su uglavnom područja na kojima vjerojatno postoji veća količina naslaga manje otpornosti na mehaničko trošenje. Od ostalih oblika svakako treba istaknuti neaktivni glacis sjeverne i južne predgorske stepenice.

Od akumulacijskih oblika padinskoga reljefa prevladavaju deluvijalni konusi i proluvijalne plavine. Deluvijalni konusi najizraženiji su u dolini Očure te uz desnu dolinsku stranu Loborske reke (sl. 12). S obzirom na brojne jaruge, na istom području nalaze se i brojne proluvijalne plavine. Od akumulacijskih oblika valja istaknuti manju glacis terasu na kojoj se smjestilo naselje Stari Golubovec. Ona je vezana uz Rački potok, a nastala je spajanjem proluvijalnih plavina jaruga koja svoja izvorišta imaju na području Košenine.

Od fluviudenudacijskoga reljefa najzastupljenije su brojne poligenetske doline promjenjive dolinske morfologije. U gornjim dijelovima toka to su uglavnom uske doline V-usjeka, dok su u donjim dijelovima toka to uske koritaste doline.

Fluvijalni morfogenetski tip vezan je uz zonu glavnih tokova istraživanoga područja (Očurica, Rački potok, Dugi jarek, Loborska reka). Tipični fluvijalni reljefni oblici nisu zabilježeni terenskim opažanjem, već se ovaj morfogenetski tip veže uz uzak i tanak sloj kvartarnih nevezanih sedimenata, poglavito gline i pijeska, te kršja i blokova bujičnih tokova i derazijskih procesa na dolinskim stranama, prvenstveno vezanih uz orografsku cjelinu Loborske reke (sl. 12).

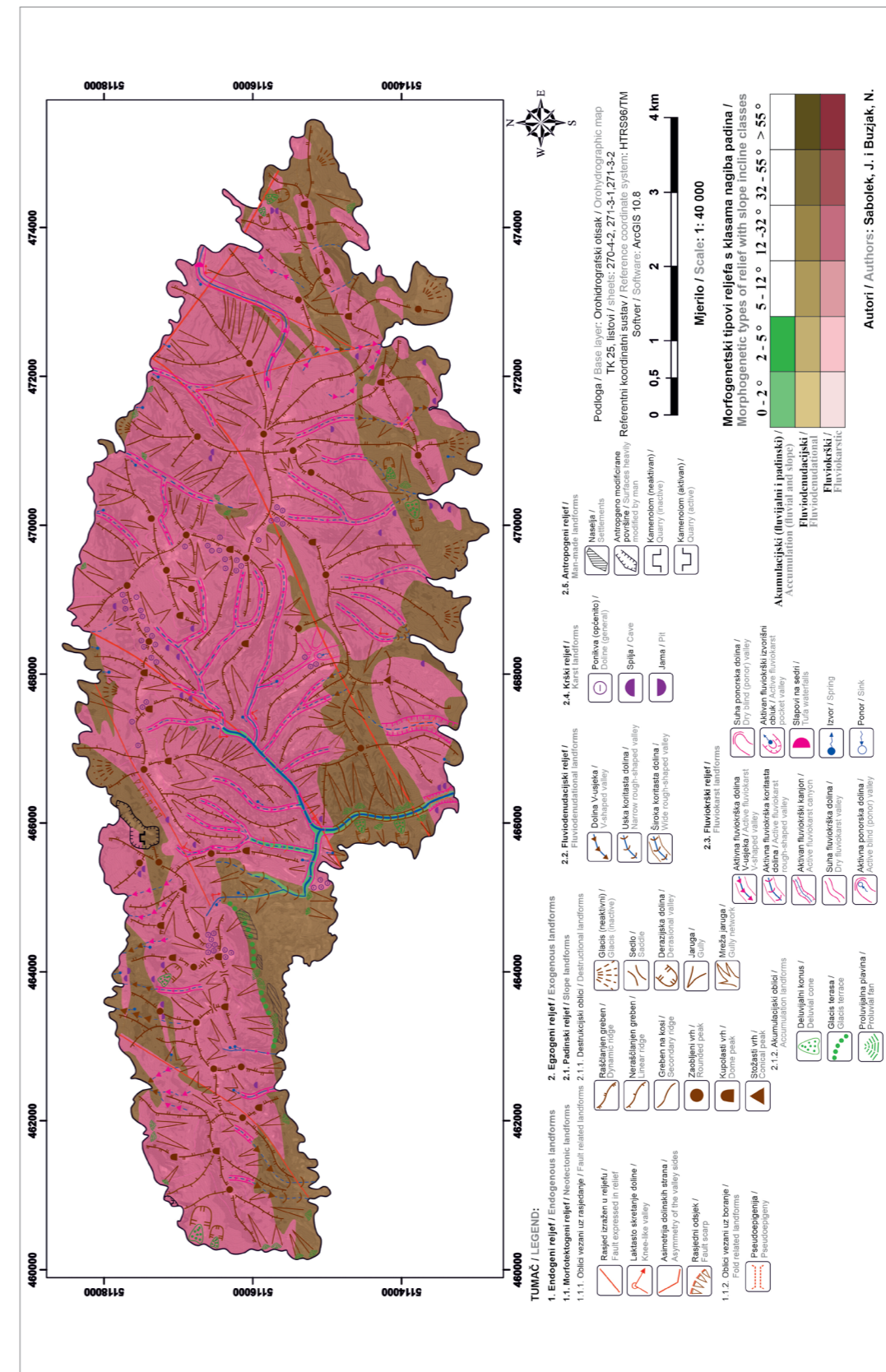
Slope and Fluviudenudational Relief

Denudational processes and their resulting slope landforms are most pronounced in areas of weakly consolidated clastic deposits, primarily in the southern zone of Lower Cretaceous clastics and Miocene clastic deposits near Stari Golubovec. Additionally, these landforms are present on the northern edge and southern part of the area in the zones of both foothills (glacis), as well as on terrains composed of Paleozoic schists and basaltic rocks. Among the destructive forms of slope relief, gullies and denudational valleys are the most developed, particularly in the lower reaches of the Loborska Reka Stream. Gullies are also found in parts of the dolomitic carbonate sequence (Fig. 12), likely in areas where there is a greater presence of deposits with lower resistance to mechanical weathering. Inactive glacis terraces on the northern and southern foothills (glacis) are also noteworthy.

Among the accumulative forms of slope relief, deluvial cones and proluvial fans dominate. Deluvial cones are most pronounced in the Očura Valley and along the right valley side of Loborska Reka (Fig. 12). Numerous proluvial fans are also present in the same area, corresponding to the extensive gullies. Notably, a small glacis terrace, where the settlement of Stari Golubovec is located, is linked to Rački Stream and formed by the merging of proluvial fans from gullies originating in the Košenina area.

The fluvi-denudational relief is characterized by numerous polygenetic valleys with variable valley morphologies. In the upper reaches, these are predominantly narrow V-shaped valleys, while in the lower reaches, they transition into narrow rough-shaped valleys.

The fluvial morphogenetic type is associated with the main watercourses of the study area (Očurica, Rački Potok, Dugi Jarek, and Loborska Reka). Typical fluvial landforms were not observed during field investigations. Instead, this morphogenetic type is linked to a thin and narrow layer of Quaternary unconsolidated sediments, primarily clay and sand, as well as rubble and blocks resulting from torrential flows and denudational processes along valley sides. Primarily associated with the orographic unit of the Loborska Reka Valley (Fig. 12).



Sl. 12. Geomorfološka karata istraživanoga područja
Sl. 12 Geomorphological map of the study area

Izvor: izradili autori na temelju terenskog istraživanja; DGU (2023); DMR-a 5 x 5 m Geografskog odsjeka (n.d.b); Šimunović dr. (1983); Aničić i Juriša (1984)
Source: created by authors based on: field survey; CGA (2023); DEM 5 x 5 m from the Department of Geography (n.d.b); Šimunović et al. (1983); Aničić and Juriša (1984)

Zaključak

Provedeno istraživanje na Ivančici rezultiralo je opsežnom analizom geomorfoloških obilježja koja ne samo da naglašavaju kompleksnost reljefa već ističu i njegovu važnost u kontekstu georaznolikosti. Kombiniranjem terenskih i kabinetskih metoda te primjenom alata za geomorfometrijsku analizu dobiveni su rezultati koji jasno upućuju na to da je Ivančica, zahvaljujući geološkoj osnovi, geomorfološkim značajkama, istaknutoj vizuri u krajobrazu te utjecaju na biološku raznolikost i život lokalnoga stanovništva, s aspekta georaznolikosti i njezine funkcionalne vrijednosti vrlo vrijedno gorsko područje jugozapadnoga ruba Panonskog bazena.

Jedan od najvažnijih rezultata jest identifikacija fluviokrškoga tipa reljefa kao dominantnoga morfogenetskog oblika, koji obuhvaća više od 70 % istraživanoga prostora. Postojanje fluviokrša rezultat je litološkoga sastava i strukturnih obilježja trijaskih dolomita, čiji je slabiji intenzitet okršenosti rezultirao specifičnim površinskim i podzemnim oblicima. Morfometrijska analiza hipsometrije, nagiba i ekspozicije padina pokazala je prostornu heterogenost reljefa, pri čemu je dokazano da središnji dio hrpta Ivančice obilježava velika georaznolikost zahvaljujući izrazitoj vertikalnoj raščlanjenosti te tipovima i distribuciji dolinskih mreža.

Prostorna gustoća geomorfoloških pojava, poput ponikava i speleoloških objekata, dodatno naglašava značaj geomorfoloških procesa u oblikovanju Ivančice. Iako je ukupna gustoća ponikava relativno niska, područja poput ponora Šebastjanovec upućuju na lokalizirano povećanu okršenost u rasjednim zonama. Ovaj je lokalitet važan hidrogeološki i geomorfološki element, koji naglašava interakciju između geološke građe, tektonskih procesa i hidro(geo)loških uvjeta. S druge strane, speleološki objekti, iako malobrojni, pružaju dodatne uvide u podzemne procese, osobito u zonama izraženih rasjeda i pukotinskih sustava.

Analiza dolinske mreže pokazala je ključnu ulogu Ivančice kao regionalne hidrološke razvodnice između porječja Drave i Save. Različiti tipovi dolinskih mreža, od radialne na središnjem uzvišenju do paralelne na predgorskim stepenicama, odražavaju utjecaj endogenih i egzogenih procesa na prostornu organizaciju reljefa i krajobrazne karakteristike

Conclusion

The results of the geomorphological analysis highlight the complexity of Ivančica Mountain relief and emphasize its significance in the context of geodiversity. By combining field and desk methods and applying geomorphometric analysis, findings demonstrate that Ivančica, due to its geological basis, geomorphological features, landscape, and its impact on biodiversity and the lives of the local population, represents a highly valuable mountainous area on the southwestern edge of the Panonian Basin in terms of geodiversity and its functional value.

One of the most important results is the identification of the fluviokarst relief as the dominant morphogenetic type (>70% of the study area). This is a result of the structural characteristics of Triassic dolomites, whose weaker karstification intensity produces specific landforms. Morphometric analysis of hypsometry, slope and aspect revealed spatial heterogeneity of the relief, with the central part of Ivančica ridge being characterized by significant geodiversity due to pronounced vertical dissection and the types and distribution of valley networks.

The spatial density of geomorphological features, such as dolines and speleological objects, further emphasizes the importance of geomorphological processes in shaping Ivančica. Although the overall density of dolines is relatively low, areas like the Šebastjanovec Ponor indicate localized increased karstification in fault zones. This locality represents an important hydrogeological and geomorphological element, highlighting the interaction between geological composition, tectonic processes, and hydro(geo)logical conditions.

Various types of valley networks, ranging from radial in the central elevation to parallel on the foothills (glacis), reflect the influence of endogenous and exogenous processes on the spatial organization of relief and landscape characteristics. The southern part of Ivančica, in particular, stands out, where the developed valley network contributes to high drainage and the preservation of natural ecosystems. These results confirm the

prostora. Posebno je istaknut južni dio Ivančice, gdje razvijena dolinska mreža pridonosi visokoj ocjeditosti i očuvanju prirodnih ekosustava. Ovi rezultati potvrđuju važnost Ivančice ne samo u geomorfološkom kontekstu već i kao ključnog elementa hidrografskoga sustava šire regije.

Rezultati geomorfološke analize dodatno su povezani s konceptom georaznolikosti, pri čemu Ivančica predstavlja jedinstven primjer prostorne integracije geoloških, geomorfoloških i bioloških vrijednosti. Visoka georaznolikost Ivančice očituje se kroz raznolikost oblika, od grebenaških struktura i dolinskih mreža do krških oblika i hidrogeoloških pojava. Takva raznolikost ima višestruku funkcionalnu vrijednost, od utjecaja na mikroklimatske uvjete i bioraznolikost do pružanja resursa lokalnom stanovništvu, ali kojima treba razumno i održivo gospodariti. Georaznolikost Ivančice također ima važnu edukativnu i konzervacijsku dimenziju, što dodatno opravdava inicijative za njezino zakonsko očuvanje te sprečavanje inicijativa poput okolišno i krajobrazno potpuno neprihvatljiva pokušaja otvaranja kamenoloma Siljevec.

Unatoč utvrđenim prirodnim vrijednostima Ivančica trenutno nije zakonski zaštićena, što je nedostatak koji treba hitno ispraviti. Rezultati ovoga rada pružaju čvrstu geoznanstvenu osnovu za donošenje odluka o zaštiti Ivančice, što će osigurati očuvanje njezinih geomorfoloških, ekoloških i krajobraznih vrijednosti. Provedena istraživanja također upućuju na potrebu za praćenjem stanja i daljnjim interdisciplinarnim studijama koje bi omogućile još preciznije razumijevanje prirodnih procesa i njihovu primjenu u održivom razvoju.

Zaključno, Ivančica je više od lokalnoga prirodnog fenomena i najveće zagorske planine – ona je živi laboratorij za proučavanje interakcija geoloških i geomorfoloških procesa, njihova utjecaja na krajobraz i bioraznolikost te potencijala za očuvanje i održivo upravljanje geobaštinom. Ovaj rad nije samo doprinos poznavanju njezinih geomorfoloških vrijednosti, već i poziv na djelovanje da bi se osiguralo očuvanje ove jedinstvene planine za buduće generacije. Njezina geomorfološka raznolikost i funkcionalna uloga svjedočanstvo su složenosti i ljepote prirode, koja služi pažnju, razumijevanje i zaštitu.

importance of Ivančica not only in a geomorphological context but also as a key component of the broader region's hydrographic system.

The results of the geomorphological analysis are further tied to the concept of geodiversity, positioning Ivančica as a unique example of spatial integration of geological, geomorphological, and biological values. The high geodiversity is evident in the variety of landforms, from ridge structures and valley networks to karst features and hydrogeological phenomena. This diversity has multiple functional values, ranging from impacts on microclimatic conditions and biodiversity to providing resources for local communities, which must be managed responsibly and sustainably. Ivančica's geodiversity also has significant educational and conservation dimensions, further justifying initiatives for its legal protection and preventing environmentally and landscape-inappropriate initiatives such as the proposed Siljevec Quarry.

Despite its natural values, Ivančica has no legal protected status, a shortcoming that must be addressed. The findings of this study provide a solid geoscientific basis for making decisions about its protection, ensuring the preservation of its geomorphological, ecological, and landscape values. The research also underscores the need for monitoring conditions and further interdisciplinary studies to gain a more precise understanding of natural processes and their application in sustainable development.

Ivančica Mountain is more than just a local natural phenomenon or the tallest mountain in Zagorje – it is a living laboratory for studying the interactions of geological and geomorphological processes, their impact on the landscape and biodiversity, and their potential for conservation and sustainable management of geodiversity. This study is not only a contribution to the knowledge of its geomorphological values but also a call to action to ensure the preservation of this unique mountain for future generations. Its geomorphological diversity and functional role are a testament to the complexity and beauty of nature, deserving attention, understanding, and protection.

Rad se temelji na istraživanju koje je provedeno u svrhu izrade diplomskog rada: *Geomorfološka obilježja i vrednovanje georaznolikosti Ivančice* (Sabolek, 2023) pod mentorstvom prof. dr. sc. Nenada Buzjaka i Valerije Rossi, mag. geogr.

This study is based on research conducted for the Master's thesis: *Geomorphological Characteristics and Geodiversity Evaluation of Ivančica* (Sabolek, 2023), supervised by Prof. Nenad Buzjak, PhD and Valerija Rossi, MSc. Geogr.

Aničić, A., Juriša, M., 1984: *Osnovna geološka karta (OGK) / Basic geological map (BGM) SFRJ 1: 100 000, list Rogatec L33-68*, Geološki zavod, Ljubljana; Geološki zavod, Zagreb (1971–1981), Savezni geološki institut Beograd.

Aničić, A., Juriša, M., 1985: *Osnovna geološka karta (OGK) / Basic geological map (BGM) SFRJ 1: 100 000, Tumač za list Rogatec L33-68*, Geološki zavod, Ljubljana; Geološki zavod, Zagreb (1983), Savezni geološki institut Beograd.

Babić, Lj., 1975: Kondenzirani Lijas Medvednice i Ivanšćice i njegovo značenje za interpretaciju peleoogeografskog razvoja unutarnje dinarske regije, *Geološki vjesnik* 28 (1), 11–18.

Babić, S., 2001: Ivanšćica – jedna planina s četiri imena, *Hrvatski planinar* 10, 293–294.

Bognar, A., 1992: Inženjerskegeomorfološko kartiranje, *Acta Geographica Croatica* 27, 173–184.

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 34, 7–29.

Bognar, A., Prelogović, E., Klein, V., Krušlin, Z., Mesić, I., Sarkotić-Šlat, M., Hromatko, B., 1994: Regionalna rasprostranjenost paleošljunčanih naslaga u dijelu SZ Hrvatske i njihovo geomorfološko značenje u tumačenju morfogeneze reljefa i kvartarnih neotektonskih pokreta, *Acta Geographica Croatica* 29, 7–16.

Borovac, I. (ur.), 2002: *Velika geografija Hrvatske*, Mozaik knjiga, Zagreb.

Bošnjak, R., 1939: Hrvatsko zagorje (antropogeografski pregled), *Glasnik Srpskog geografskog društva* 25, 66–71.

Butorac, V., Cvitković, M., 2019: Geokološka analiza u procjeni utjecaja na okoliš – Primjer buduće akumulacije Kosinj u Lici/Geoecological analysis in environmental impact assesment-An example of the future accumulation of Kosinj in Lika, *Acta Geographica Croatica* 45/46, 15–32, DOI: 10.21861/AGC.2019.45-46.02.

Butorac, V., Talaja, M., 2021: Vrednovanje georaznolikosti speleoloških objekata u svrhu razvijanja sustavne zaštite i upravljanja, *Speleolog* 69, 8–17.

Buzjak, N., 2017: *Ivanšćica*, Enciklopedija Hrvatskog zagorja, Leksikografski zavod Miroslav Krleža.

Charlton, R., 2008: *Fundamentals of Fluvial geomorphology*, Routledge, London & New York.

Crkvenčić, I., 1951: O agrarnoj strukturi gornjeg porječja Bednje, *Geografski glasnik* 13 (1), 101–114.

Crkvenčić, I., 1957: Prigorje planinskog niza Ivančice, *Geografski glasnik* 19 (1), 9–59.

Crkvenčić, I., 1958: Prigorje planinskog niza Ivančice, *Acta Geographica Croatica* 1, 7–113.

Cuković, Z., 1995: *Krš Hrvatskog zagorja*, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek.

Dedić, Ž., Kruk, B., Kruk, Lj., Kovačević-Galović, E., Miko, S., Crnogaj, S., Peh, Z., Avanić, R., 2014: Rudarsko-geološka studija Krapinsko-zagorske županije, HGL, Zagreb.

Đurić, T., 1984: Zaboravljena gotika Hrvatskog zagorja – Sv. Jakov na Očuri, *Muzejski vjesnik* 7, 107–109.

Ford, D., Williams, P., 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.

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

Gutiérrez, F., Guerrero, J., Lucha, P., 2008: A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain. *Environmental Geology* 53 (5), 993–1006, DOI: 10.1007/s00254-007-0727-5.

Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J., Jourde, H., 2014: A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst, *Earth-Science Reviews*

138 (1), 61–88, DOI: 10.1016/j.earsci-rev.2014.08.002.

Hirc, D., 1905: *Privodni zemljopis Hrvatske*, Tisak i Naklada Antuna Scholza, Zagreb.

Zapisnik 13. sjednice Hrvatskog sabora, Hrvatski sabor / Croatian Parliament, 2022, <https://www.sabor.hr/hr/sjednice-sabora/zapisnici/13-sjednica-hrvatskoga-sabora-10-saziv-hrvatskoga-sabora-2272020> (21. 9. 2024.).

Klaić, V., 1878: *Privodni zemljopis Hrvatske*, Tiskom C. Albrechta, Zagreb.

Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. R., Rubel, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3), 259–263, DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

Krapinsko-zagorska županija – hidrogeološki i hidrološki monitoring na zapadnom dijelu Ivanšćice s ciljem definiranja bilance i dinamike istjecanja podzemnih voda, Hrvatske vode / Croatian Waters, 2016, <https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20PV%20-%200002.pdf> (28. 5. 2023.).

Kraš, M. (ur.), 2003: *Ivanšćica, Ivonjšćica, Ivančica: zbornik gore ivanečke i planinarstva*, Mini-print logo, Varaždin.

Kukuljević, B., 1901: Osnutak „Ivančice”, *Hrvatski planinar* 10/11, 123–125.

Kušen, E., 2011: Park prirode Hrvatsko Zagorje – da li i kada?, u: *Zdravstveni turizam: zdravlje, voda, kultura* (ur. Ivanišević, Goran), Akademija medicinskih znanosti Hrvatske 1961–2011, Odbor za zdravstveni turizam i prirodne ljekovite činitelje, Zagreb, 13–15.

Lozić, S., 1996: Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 31, 41–51.

Malez, M., 1952: Minerali i stijene Ivančice, *Naše planine* 7/8, 178–183.

Malez, M., 1984: Neandertalci iz spilje Vindije, *Priroda* 73 (1), 4–8.

Matišić, T., 2012a: Speleološki objekti Ivančice na području Lepoglave, *Ivanečka škrinjica* 8, 16–46.

Matišić, T. 2012b: Rudnik „Kraševski zvir”, *Speleolog* 60, 120–142.

Matković, P., 1875: Razgloba i hipsometrija slavonskoga gorja, *Rad JAZU*, Knj. 32, 151–174.

Meaški, H., Biondić, R., Loborec, J., Leskovar, K., 2019: Krški izvori u Varaždinskoj županiji, 7. *hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode*, Opatija.

Melem Hajdarović, M., 2023: Glavačeva karta Hrvatske iz 1673. – njezini toponimi, geografski sadržaj i historijsko-geografski kontekst, *Studia lexicographica* 17 (32), 47–78, DOI: <https://doi.org/10.33604/sl.17.32.2>.

Mraz, V., Novosel, T., 1995: Novija hidrogeološka i geofizička istraživanja dolomitnih vodonosnika Ivanšćice, *Strahinjčice i Kunagore, 1. Hrvatski geol. kongres*, Opatija 1995.

Ozimec, R., Šincek, D., 2011: Speleološki objekti planinskih masiva SZ Hrvatske, *Radovi Zavoda za znanstveni rad Varaždin*, 22 (1), 201–232.

Pahernik, M., 2012: Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, *Hrvatski geografski glasnik* 74 (2), 5–26.

Park prirode Zagorske gore, stručna podloga za zaštitu, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR), Zavod za zaštitu okoliša i prirode (ZZOP) / Ministry of Economy and Sustainable Development (MESD), Institute for Environment and Nature (IEN) 2024, https://mzozt.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ZA%20C5%A0TITU%20PRIRODE/Park%20prirode%20Zagorske%20gore_javni%20avid/Podloga_PP_Zagorske%20gore.pdf (17. 8. 2024.).

Parlov, J., Kovač, Z., Bačani, L., Bačani, A., 2016: Hydrogeological characteristics of south hills, Ivanšćica Mountain, *Journal of maps* 12 (1), 53–57, DOI: 10.1080/17445647.2016.1157833.

Pepeonik, Z., 1958: *Ivančica – prilog poznavanju planine*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Poljak, J., 1957: Razvoj morfologije i hidrologije u dolomitima dinarskog krša, *Geološki vjesnik* XI, 1–20.

Pontes, H. S., Massuqueto, L. L., Fernandes, L. A., Foltran, A. C., de Melo, M. S., Moreira, J. C., 2018: Caves Geodiversity Evaluation as an Instrument to the Management of the Campos Gerais National Park, Southern Brazil, *Geoharitage* 11(1), 641–651, DOI: 10.1007/s12371-018-0317-9.

Radoš, D., Lozić, S., Šiljeg, A., 2012: Morfometrijske značajke šireg područja Duvanjskog polja, Bosna i Hercegovina, *Geoadria* 17 (2), 177–207, DOI: 10.15291/geoadria.352.

Roglić, J., 1960: Das Verhältnis der Flusserosion zum Karstprozess. *Zeitschrift für Geomorphologie* 4 (2), 116–238.

Roglić, J., 1974a: *Geografija SR Hrvatske*, knjiga 1, Školska knjiga, Zagreb.

Roglić, J., 1974b: Prilog hrvatskoj krškoj terminologiji, *Krš Jugoslavije* 9 (1), Prirodoslovna istraživanja, JAZU, Zagreb.

Sabolek, J., 2023: *Geomorfološka obilježja i vrednovanje georaznolikosti Ivančice*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Strateška studija o utjecaju Master plana prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije I. i II. faza na okoliš: Glavna ocjena prihvatljivosti za ekološku mrežu Knjiga II, Oikon d.o.o., 2019, https://www.ipzp.hr/wp-content/uploads/2020/02/SPUO_GO_GZ_ZZ_KZZ_za_JR.pdf (17. 4. 2023.).

Šimunić, A., 1986: Geološka građa okolice Lepoglave i osvrt na pojave mineralnih sirovina, *Radovi Zavoda za znanstveni rad Varaždin* 1 (1), 19–30.

Šimunić, A., Šimunić, Al., 1979: Petrografski sastav i geneza trijaskih naslaga Ivanšćice, Kalnika i Ravne gore (Hr-

vatsko zagorje), *Geološki vjesnik* 32 (1), 243–253.

Šimunić, A., Hećimović, I., 2006: *Geološke osobitosti Hrvatskog zagorja*, Muzeji Hrvatskog zagorja, Krapina.

Šimunić, A., Pikija, M., Hećimović, I., 1983: *Osnovna geološka karta (OGK) / Basic geological map (BGM) SFRJ 1: 100 000, list Varaždin L33-69*, Geološki zavod, Zagreb (1971–1978), Savezni geološki institut, Beograd (1982).

Šimunić, A., Pikija, M., Hećimović, I., Šimunić, Al., 1981: *Osnovna geološka karta (OGK) / Basic geological map (BGM) SFRJ 1: 100 000, Tumač za list Varaždin L33-69*, Geološki zavod, Zagreb (1982); Savezni geološki institut Beograd.

Viličić, M., 2023: Usporedba Glavačeve karte s kartama njegovih prethodnika i s kasnije izdanim kartama, u: Glavačeva karta Hrvatske (ur. Domazet, E.), Hrvatski državni arhiv, 29–52.

Wand, M. P., Jones, M. C., 1994: *Kernel Smoothing (1st ed.)*, Chapman and Hall/CRC, New York.

Weiss AD. 2001: Topographic positions and landformanalysis (Conference Poster), *ESRI User Conference*, San Diego (CA).

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990, 1971–2000, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) / Croatian Meteorological and Hydrological Service (CMHS), Zagreb.

Zogović, D. 1966: Hidrogeološka uloga dolomita u dinarskom karstu, *Vesnik inženjerske geologije i hidrogeologije* 6, 5–112.

Zwoliński, Z., Stefańska, E., 2015: Relevance of moving window size in landform classification by TPI, u: *Geomorphometry for Geosciences, 4th International Conference on Geomorphometry* (ur. Jasiewicz, J. i dr.), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 273–278.

Izvori Sources

- Bioportal, n. d.: Ekološka mreža Natura 2000 / Natura 2000 ecological network: Područja prema Direktivi o staništima / Habitat Directive sites, Bioportal, n. d., <https://bioportal.hr/gis/> (14. 5. 2023.).
- Državna geodetska uprava (DGU) / Croatian Geodetic Administration (CGA), 2013: Statistički registar prostornih jedinica Republike Hrvatske (GIS shapefileovi) / Statistical Registry of Spatial Units in the Republic of Croatia (GIS shapefiles), Zagreb.
- Državna geodetska uprava, (DGU) / Croatian Geodetic Administration (CGA) n. d. : Registar geografskih imena (RGI) / Registry of Geographical Names (RGN), Državna geodetska uprava, Registar geografskih imena / Croatian Geodetic Administration, Registry of Geographical Names, n. d., <https://rgi.dgu.hr/> (25. 4. 2024.).
- Geografski odsjek PMF-a / Department of Geography FOS, n.d.a.: Digitalni model reljefa / Digital elevation model 10x10 m, Zagreb.
- Geografski odsjek PMF-a / Department of Geography FOS, n.d.b.: Digitalni model reljefa / Digital elevation model 5x5 m, Zagreb.
- Geoportal DGU / Geoportal CGA, n. d.: Topografska karta 1:25000, WMS servis, Geoportal DGU, Geoportal CGA, n. d., <https://geoportal.dgu.hr/#/menu/podaci-i-servisi> (27. 3. 2023.).
- Hrvatski planinarski savez (HPS) / Croatian Mountaineering Association (CMA), n. d.: Bibliografija Hrvatskog planinara, <https://www.hps.hr/hrvatski-planinar/bibliografija/clanci/> (29. 4. 2024.).
- MAPIRE – the Historical Map Portal, n. d.: Europe in the XVIII. century, MAPIRE – the Historical Map Portal, n. d., <https://maps.arcanum.com/en/map/europe-18century-firstsurvey> (3. 5. 2024.).

Autori Authors

Jura Sabolek (corresponding author) jsabolek@geog.pmf.hr
mag. geogr., stručni suradnik, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Trg Marka Marulića 19,
10000 Zagreb, Hrvatska

Nenad Buzjak nbuzjak@geog.pmf.hr
prof. dr. sc., Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Trg Marka Marulića 19,
10000 Zagreb, Hrvatska

Valerija Rossi vbutorac@geog.pmf.hr
mag. geogr., asistentica, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Trg Marka Marulića 19,
10000 Zagreb, Hrvatska