

MORFOMETRIJSKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA DUVANJSKOG POLJA, BOSNA I HERCEGOVINA

MORPHOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE BROADER AREA OF DUVANJSKO POLJE, BOSNIA AND HERCEGOVINA

DENIS RADOŠ¹, SANJA LOZIĆ¹, ANTE ŠILJEG¹

¹Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru / *Department of Geography, University of Zadar*

Primljeno / *Received*: 2012-05-14

UDK: 910.3:551.4(23)(497.6Duvanjsko polje)=111=163.42

Izvorni znanstveni rad
Original scientific paper

Objekt ovoga istraživanja su padine uzvišenja širega područja Duvanjskog polja. Padine se mogu definirati kao reljefne plohe određene geografskim položajem, nagibom u odnosu na horizontalnu površinu, izloženošću (ekspozicijom) u odnosu na strane svijeta, te stupnjem zakrivljenosti (profilne i planarne). Recentni oblik padina posljedica je utjecaja niza prirodnih i društvenih faktora tijekom geneze i evolucije reljefa. Analizom morfometrijskih parametara moguće je dovesti u vezu značajke padina s geološkom građom i sastavom, ali i ostalim prirodno-geografskim čimbenicima (npr. klima, pedologija, vegetacija itd.).

Ciljevi ovoga istraživanja su: a) analiza morfometrijskih pokazatelja reljefa, b) analiza odnosa između morfometrijskih pokazatelja, strukturnih i litoloških značajki i c) sinteza svih analiziranih pokazatelja da bi se dobio detaljniji uvid u egzgeomorfološke i morfostrukturne značajke područja i omogućila procjena opsega i intenziteta dominantnih geomorfoloških procesa. Pri tome, posebna pažnja posvećena je detaljnoj geomorfometrijskoj analizi makromorfostrukture šireg područja Duvanjskog polja u okružju GIS-a na temelju digitalnog modela reljefa (DMR). Geomorfometrijska analiza reljefa primijenjena u ovom radu uključila je korištenje različitih metoda za precizno računanje numeričkih parametara reljefa istraživanog područja, što je omogućilo međusobnu usporedbu navedenih parametara, ali i usporedbu s kartom tektonskih jedinica i geološkom kartom. Cilj ovakvog pristupa je egzaktija interpretacija morfometrijskih parametara reljefa kao indikatora značajki endogenih i egzogenih procesa na istraživanom području.

ključne riječi: geomorfometrijska analiza, morfometrijski parametri, padine, šire područje Duvanjskog polja

The objects of this study are the hillslopes in the broader area of Duvanjsko polje (Bosnia and Herzegovina). Slopes can be defined as relief surfaces determined by geographical position, slope inclination (related with horizontal surface), aspect, and degree of curvature (profile and planar). Recent slope shapes can be defined as results of series of natural and anthropogenic factors during relief genesis and evolution. It is possible to correlate slope characteristics with geological structure and other natural geographic features (climate, soils, vegetation etc.) using geomorphometrical analysis.

The main aims of this study are: a) analysis of morphometric relief indicators, b) analysis of relationships between morphometric indicators, structural and lithological features, and c) synthesis of all analyzed indicators in order to better understand exogeomorphological and morphostructural features of the investigated area. The final intention is to assess the extent and intensity of the dominant geomorphologic processes. Special attention was given to the detailed geomorphometrical analysis of morphostructures in the broader area of Duvanjsko polje in GIS environment based on DMR. The applied geomorphometrical relief analysis included the use of different methods for precise calculation of the investigated area's numerical relief parameters, which enabled a mutual comparison of specified parameters and comparison with tectonic units and lithology maps. The aim of this approach is a more exact analysis and interpretation of morphometric relief parameters as indicators of the investigated area's endogenous and exogenous processes' characteristics.

Key Words: geomorphometrical analysis, morphometric parameters, hillslopes, broader area of Duvanjsko polje

Uvod

U ovom radu provedena je geomorfometrijska analiza temeljnih parametara reljefa šireg područja Duvanjskog polja (nagiba, ekspozicija, profilne i planarne zakrivljenosti) i njihova značaja kao indikatora endogenih i egzogenih geomorfoloških procesa. Analiza je u najvećoj mjeri usmjerena na padine nagiba $> 2^\circ$ na području širega planinskog okvira Duvanjskog polja. Dan je i osvrt na površine koji pripadaju kategoriji $< 2^\circ$, što se prije svega odnosi na područje samog polja, ali i na ostale manje reljefne oblike s ovom kategorijom nagiba izvan Duvanjskog polja.

Geomorfometrija je znanost o kvantitativnim obilježjima Zemljine površine (PIKE I DR., 2009.). Ona predstavlja analitičko-kartografski pristup u proučavanju topografskih obilježja Zemlje kao i interdisciplinarno područje proizašlo većinom iz matematike, prirodnih znanosti i informatike. S obzirom na objekt geomorfometrije, proučavanjem manjih reljefnih oblika bavi se specifična, dok se reljefom kao cjelinom bavi opća geomorfometrija. Opća geomorfometrija osnova je za kvantitativnu usporedbu većih reljefnih oblika, a uključuje metode koje u osnovi nisu geomorfološke (MACMILLAN, SHARY, 2009.). U ovom radu primijenjena su načela i metode opće geomorfometrije, koja se odnosi na računalnu analizu GIS-a šireg područja Duvanjskog polja u promatranim granicama.

Suvremena geomorfometrijska analiza, temeljena na metodama GIS-a, odnosi se u prvom redu na analizu digitalnog modela reljefa (FRANKLIN, 1987.; JORDAN, CSILLAG, 2001.; GANAS ET AL, 2005.; SMITH, CLARK, 2005.). Digitalni model reljefa matematički je prikaz Zemljine površine u rasterskom ili vektorskom obliku koji sadrži nizove vrijednosti visina. S obzirom na prostornu rezoluciju postoje različiti rasterski modeli reljefa, a o njoj izravno ovisi kvaliteta i preciznost izlaznih rezultata. Za potrebe ovoga rada izrađen je rasterski digitalni model reljefa Duvanjskog polja i rubnih padina uzvišenja koja ga okružuju automatskom vektorizacijom izohipsa s topografskih karata mjerila 1 : 25 000.

Geomorfometrijski parametri mogu se izvesti izravno iz DMR-a. Oni se nazivaju osnovni reljefni parametri i dijele se na lokalne i regionalne (OLAYA, 2009.). Evans (1972., 1980.), uz hipsometriju, navedene parametre smatra temeljnim pretpostavkama geomorfometrijske analize.

Introduction

This paper focuses on geomorphometrical analysis of certain basic parameters of the broader Duvanjsko polje relief (slopes, aspects, profile and planar curvature) and their importance as endogenous and exogenous geomorphologic processes indicators. The analysis is mostly aimed at hillslopes of inclination $> 2^\circ$ located in the broader area of Duvanjsko polje mountainous rim, but also provides an insight into areas which correspond to the category of slopes with inclinations $< 2^\circ$, which primarily refers to the Polje itself but also to some lesser terrain shapes outside the Polje.

Geomorphometry is the science of quantitative features of the Earth's surface (PIKE ET AL., 2009). It represents an analytical and cartographic approach in the research of topographical features of Earth as well as an interdisciplinary field that mostly emerged from mathematics, natural sciences and informatics. Considering the object of geomorphometrical research, smaller terrain shapes are the object of specific geomorphometry while the terrain as a whole is the object of general geomorphometry. General geomorphometry is the basis for quantitative comparison of larger terrain shapes and includes methods that are not necessarily geomorphologic (MACMILLAN, SHARY, 2009). This paper employs the principles and methods of general geomorphometry, which applies to computer-based GIS analysis of the broader area of Duvanjsko polje within its observed limits.

Contemporary geomorphometrical analysis, based on GIS methods, refers primarily to the analysis of a digital terrain model (FRANKLIN, 1987; JORDAN, CSILLAG, 2001; GANAS ET AL., 2005; SMITH, CLARK, 2005). A digital terrain model is a mathematical representation of the Earth's surface in either raster or vector shape, which also contains various strings of height values. Considering the spatial resolution, there are various raster terrain models, which directly influences the output results' quality and precision. For the purposes of this paper, a digital raster terrain model of Duvanjsko polje and its bordering hillslopes has been created by vectorization of contour lines from topographic maps scaled 1:25,000.

Geomorphometrical parameters can be directly drawn from DMR. They are called basic terrain parameters and are further divided into local and regional (OLAYA, 2009). Evans (1972, 1980) considers these parameters, along with hypsometry, the basic premises of geomorphometrical analysis.

Objekt ovoga istraživanja su padine uzvišenja šireg područja Duvanjskog polja. Padine se mogu definirati kao reljefne plohe određene geografskim položajem, nagibom u odnosu na horizontalnu površinu, izloženošću (ekspozicijom) u odnosu na strane svijeta, te stupnjem zakrivljenosti (profilne i planarne). Recentni oblik padina posljedica je utjecaja niza prirodnih i društvenih faktora tijekom geneze i evolucije reljefa. Analizom morfometrijskih parametara moguće je dovesti u vezu značajke padina s geološkom građom i sastavom, ali i ostalim prirodno-geografskim čimbenicima (npr. klimatskim, pedološkim, vegetacijskim itd.). Numerički iskazani podaci morfometrijskih parametara, promatrani u lokalnom okviru, upućuju na posljedice djelovanja egzogenih geomorfoloških procesa, dok u regionalnom okviru upućuju na djelovanje endogenih (u prvom redu neotektonskih) morfostrukturnih procesa (MARKOVIĆ, 1983.).

Ciljevi ovoga istraživanja su: a) analiza morfometrijskih pokazatelja reljefa, b) analiza odnosa između morfometrijskih pokazatelja, strukturnih i litoloških značajki i c) sinteza svih analiziranih pokazatelja da bi se dobio detaljniji uvid u egzogeomorfološke i morfostrukturne značajke područja i omogućila procjena opsega i intenziteta dominantnih geomorfoloških procesa. Pri tome, posebna pažnja posvećena je detaljnoj geomorfometrijskoj analizi makromorfostrukture šireg područja Duvanjskog polja u okruženju GIS-a na temelju digitalnog modela reljefa (DMR).

Istraživano područje

Duvanjsko polje jedno je od krških polja tzv. zone visokog krša Bosne i Hercegovine (ČIČIĆ, 2002.). Teritorij Bosne i Hercegovine nalazi se u središnjem dijelu Dinarida i zahvaća oko 25% ukupnog teritorija Dinarida. Do sada je, kako navode Čičić (2002.) i Lepirica (2009.), izvršeno više regionalizacija Bosne i Hercegovine prema različitim kriterijima. Prema geotektonskom kriteriju, područje Bosne i Hercegovine može se podijeliti na tri pojasa: Vanjske Dinaride, Središnje Dinaride i Unutarnje Dinaride. Takva geotektonska podjela Dinarida BiH zasnovana je prvenstveno na geografskom položaju i razlikama u litofacijalnim i tektonskim odlikama izdvojenih zona, zatim na sličnim globalnim uvjetima geološke evolucije i orogeneze, te specifičnostima u njihovom geotektonskom sklopu (ČIČIĆ, 2002.).

The objects of this research are hillslopes of the broader Duvanjsko polje area. Hillslopes can be defined as terrain levels defined by geographical location, inclination in relation to horizontal surface, aspect in relation to cardinal directions and the degree of curvature (profile or planar). Recent hillslopes' shapes are the result of various natural and anthropogenic factors that have occurred during genesis and evolution of the terrain. By means of morphometric parameters analysis it is possible to establish a relation between hillslope features and geologic characteristics, as well as other natural and geographical factors (such as climate, soil, vegetation, etc.). Numerically expressed morphometric parameters data observed in local context give insight into the effects of exogenous geomorphologic processes while, in the regional context, they give insight into the effects of endogenous (primarily tectonic) morphostructural processes (MARKOVIĆ, 1983).

The aims of this research are: a) the analysis of morphometric terrain indicators, b) the analysis of the relation between morphometric indicators, structural and lithological features, and c) the synthesis of all the analyzed indicators in order to gain better insight into the exogeomorphological and morphostructural features of the observed area, as well as enable an estimation of dominant geomorphologic processes' size and intensity. Special attention was given to a detailed geomorphometrical macro-morphostructures analysis of the broader Duvanjsko polje area in GIS environment by means of digital terrain model (DMR).

The researched area

Duvanjsko polje is a karst *polje* in the so-called "high karst zone" of Bosnia and Herzegovina (ČIČIĆ, 2002). Bosnia and Herzegovina is located in the central Dinaric Alps, and includes some 25% of the overall Dinaric Alps area. So far, as Čičić (2002) and Lepirica (2009) point out, a number of different regionalizations of Bosnia and Herzegovina have been conducted, based on different criteria. Concerning geotectonic criteria, the area of Bosnia and Herzegovina can be divided into three regions: Outer Dinaric, Middle Dinaric and Inner Dinaric Alps. Such geotectonic regionalization is based mostly on geographical location and differences in lithological and tectonic features of isolated zones, similar global conditions of geologic evolution and orogenesis, as well as on various specific features of their geotectonic context (ČIČIĆ, 2002).

Prema ovoj podjeli, Duvanjsko polje s okolnim područjem dio je Vanjskih Dinarida, a u neposrednoj okolici polja, između planina Ljubuše i Raduše prolazi granica između Vanjskih i Središnjih Dinarida. Iako se kod određivanja tektonskih jedinica primjenjuju različiti kriteriji, ono što je neosporno kod Duvanjskog polja je da se ono u cijelosti nalazi u području Vanjskih Dinarida, odnosno u "zoni visokoga krša" (Sl. 1.).

U morfološkom smislu, istraživano područje vrlo je raznoliko. Relativna visinska razlika iznosi 839 metara – najniže je područje dna Duvanjskog polja, na 855 mnv, a najviše područje se nalazi na visini od 1694 m na vršnom dijelu planine Tušnice. Reljefno se ističu dijelovi planinskih masiva i zaravni koji okružuju Duvanjsko polje (Sl. 1.). Između Duvanjskog polja i Buškog blata, na JZ dijelu istraživanog područja, nalazi se planina Midena, koja predstavlja dio prostrane Grabovičke zaravni sastavljene od brojnih konkavnih (ponikve, uvale, japage) i konveksnih oblika (međuprostori između konkavnih oblika), s istaknutim blago izduženim grebenom, koji se pruža iz smjera SZ prema JI do Mesihovine (PAPEŠ, RAIĆ, 1968.). JI od Duvanjskog polja nalazi se planina Vran, s karakterističnim smjerom pružanja zapad – istok, čije strme zapadne padine predstavljaju kontaktno područje s poljem.

Nešto južnije od navedenog područja Vrana nalazi se planina Lib. Između Liba i Vrana, tj. od Kongore prema jezeru Blidinje, pruža se vrlo duboka dolina preoblikovana tekućicama nastalim topljenjem leda i krškom korozijom.

Uz sjeverozapadni rub Duvanjskog polja nalazi se planina Tušnica (s pružanjem I – Z, slično kao i Vran). Uz izduženu sjeveroistočnu stranu polja nalazi se masiv Ljubuše, čije JI padine predstavljaju kontaktno područje s poljem. Granice polja i okolnoga planinskog okvira nisu svuda izrazite. To se osobito odnosi na brdovito područje SZ od Tomislavgrada, blago položene SZ padine oblikovane u krednim naslagama na području kontakta Ljubuše i krajnjeg zapadnog dijela Vrana te kontaktno područje JI dijela Grabovice i polja (Sl. 1.).

Što se geotektonskog položaja tiče, situacija na istraživanom području vrlo je složena. Papeš (1985.) izdvaja devet velikih tektonskih jedinica na području "jugozapadne Bosne", od kojih se pet nalazi u neposrednom okružju Duvanjskog polja. Budući da u obzir nije uzeto područje južno od Duvanjskog polja, tektonska regionalizacija upotpunjena je iz Tumača OGC (list Imotski,

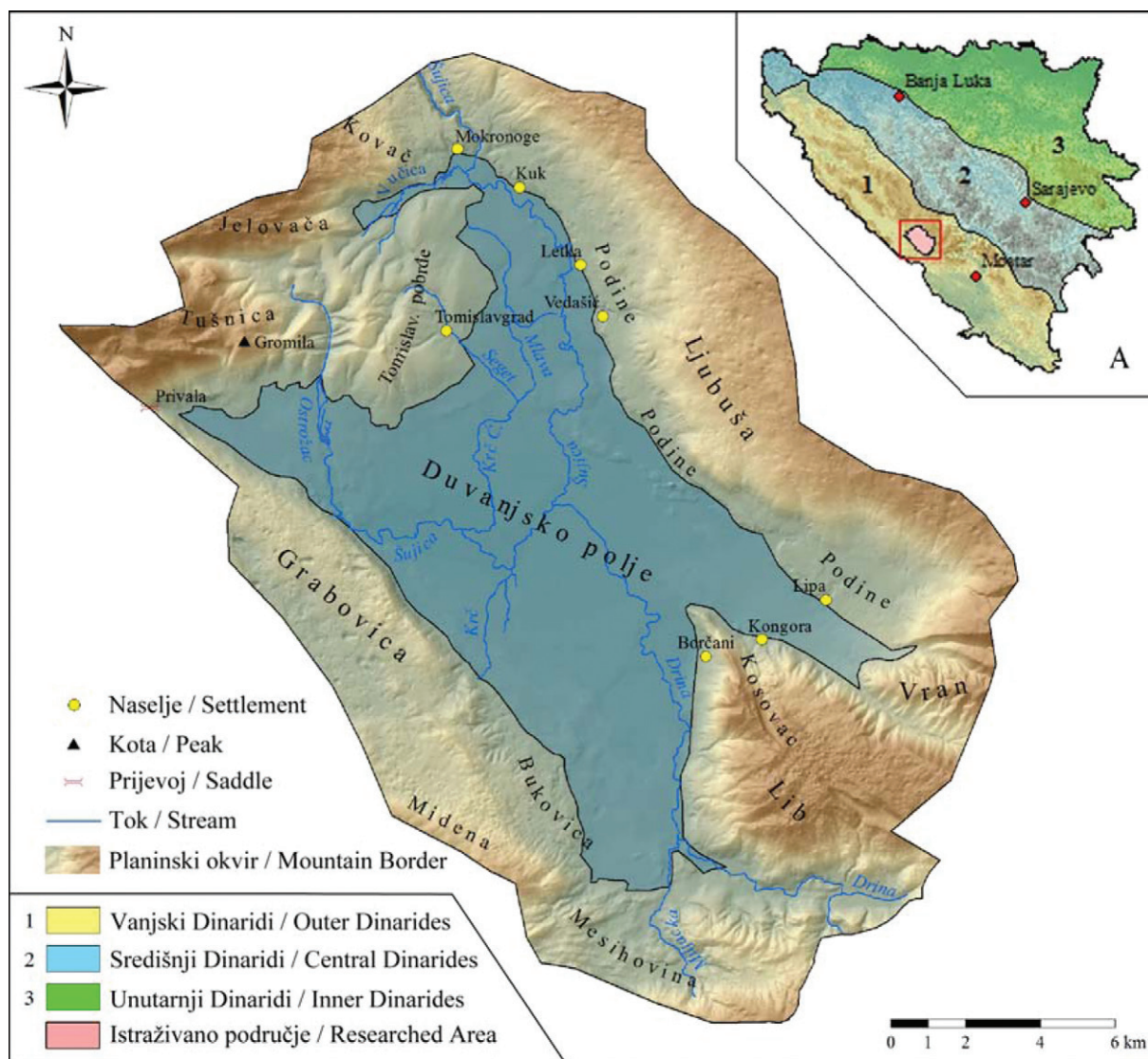
According to this type of regionalization, Duvanjsko polje, together with its surrounding area, is a part of Outer Dinaric Alps, while the border between Outer Dinarides and Middle Dinarides passes between the Ljubuša and Raduša mountains in the vicinity of Duvanjsko polje. Although different sort of criteria are employed in tectonic units determination, what is unquestionable in the case of Duvanjsko polje is the fact that it is located completely within the region of Outer Dinaric Alps, that is to say within the "high karst zone" (Fig. 1).

Morphologically, the researched area is very heterogeneous. The relative height difference is 839 meters (the lowest point is the bottom of Duvanjsko polje at 855 meters, and the highest point is the Peak of Tušnica Mountain at 1,694 meters). In the surrounding terrain, the most evident formations are the flat and the parts of mountainous range (Fig. 1). Between Duvanjsko polje and Buško blato at the southwestern part of the researched area Midena mountain is located. It represents a part of the wide Grabovica plateau, made up of various concave (dolines, uvalas and collapse dolines) and convex shapes (interspaces between concave forms) with prominent elongated ridges, stretching from the northwest to the southeast, to Mesihovina (PAPEŠ, RAIĆ, 1968). Southeast from Duvanjsko polje the Vran Mountain is located, with its characteristic west - east orientation and its steep slopes, which are a contact area with Duvanjsko polje.

Located to the south of Vran is the Lib Mountain. There is a very deep river shaped valley, formed after the ice had melted and the karst terrain had corroded, located between the Lib and the Vran Mountain, or between Kongora and Blidinje Lake.

Tušnica Mountain is located along the northwestern rim of Duvanjsko polje (stretching from east to west, similar to Vran). The range of Ljubuša is positioned along the elongated northeastern side of the Polje, its slopes representing the contact area with the Polje. Borders between the Polje and its surrounding mountainous rim are not clearly defined at all points. This primarily refers to the hillside southwest from Tomislavgrad, southwestern slopes shaped by Cretaceous sediments at the contact point between Ljubuša and far western part of Vran, and the contact area between the southeastern part of Grabovica and the Polje (Fig. 1).

As for the geotectonic location, the situation is more complex. Papeš (1985) notes nine different tectonic units in the southwestern Bosnia area, five of which are located in the vicinity of Duvanjsko



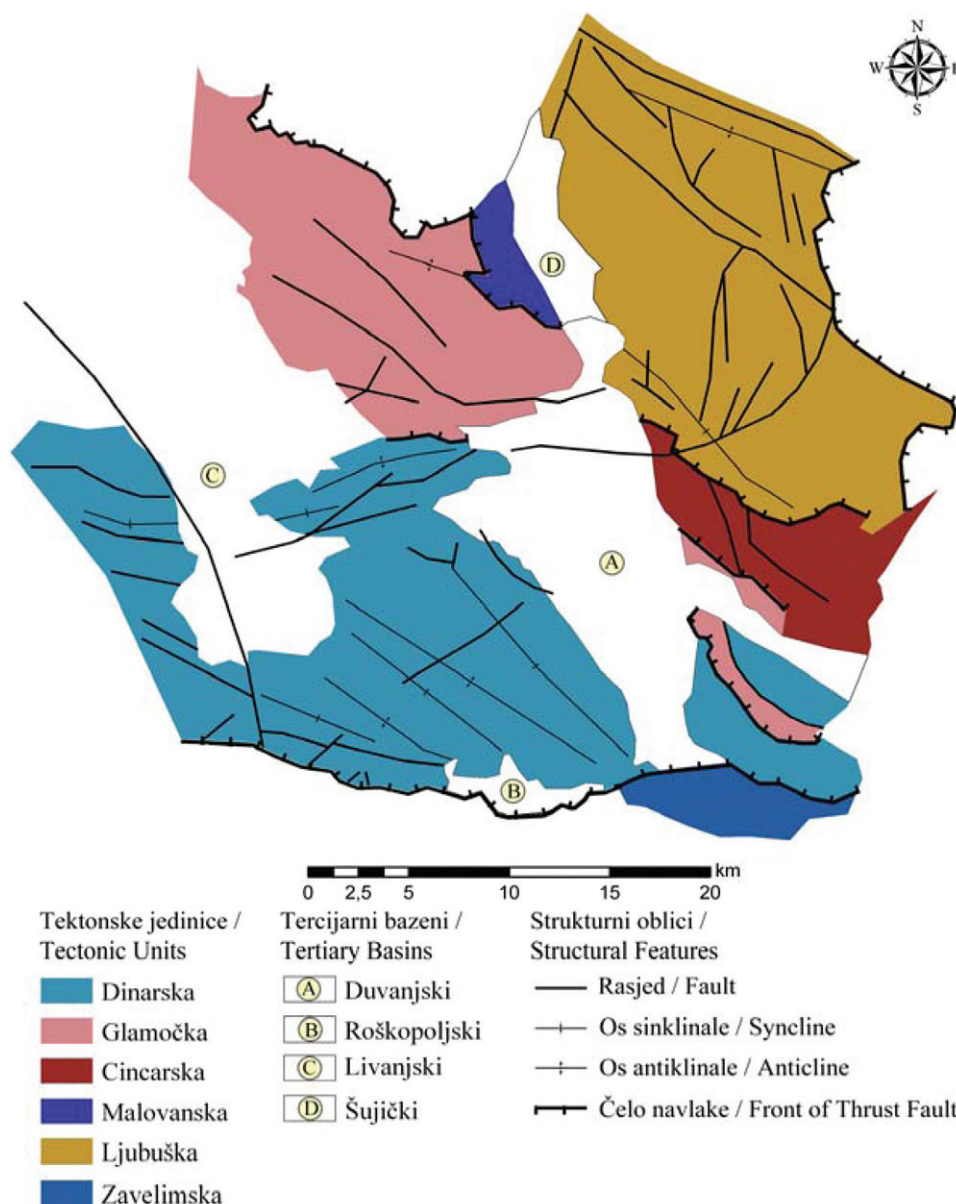
Slika 1. Duvanjsko polje s okolnim planinskim okvirom unutar geotektonskih cjelina Bosne i Hercegovine (prema: Čičić, 2002.)

Figure 1 Duvanjsko polje and its surrounding mountain rim within geotectonic units of Bosnia and Herzegovina (for Fig. 1A see Čičić, 2002)

PAPEŠ, RAIĆ, 1968.). Kriteriji za izdvajanje tektonskih jedinica bili su slijedeći (Čičić, 2002.): rasjedni (navlačni) kontakti, oblik bora i rasjeda, facijalni razvoj istodobnih stratigrafskih članova, broj stratigrafskih članova i njihov međusobni odnos (kontinuitet u taloženju ili diskordancija i stratigrafske praznine).

Na temelju navedenih kriterija izdvojeno je šest tektonskih jedinica koje su od neposrednog značaja za istraživano područje: Dinarska, Glamočka, Cincarska, Malovanska, Ljubuška i Zavelimska (Sl. 2.).

polje. Considering the fact that his regionalization did not include the southern part of the area researched in this paper, the regionalization has been complemented with *Tumač* OGK (list Imotski, PAPEŠ, RAIĆ, 1968). The criteria for tectonic units' selection are the following (Čičić, 2002): fault contacts, the shape of folds and faults, facial development of stratigraphic units of the same age, the number of stratigraphic units and their relation (continuity or discordance of sedimentation and stratigraphic voids).



Slika 2. Karta tektonskih jedinica šireg područja Duvanjskog polja (prema: PAPEŠ, RAIĆ, 1968.; PAPEŠ, 1985.)

Figure 2 Tectonic units of broader Duvanjsko polje area map (according to: PAPEŠ, RAIĆ, 1968; PAPEŠ, 1985)

Duvanjsko polje građeno je od naslaga miocenske starosti (DE LEEUW ET AL., 2011.) koje su uz rubne dijelove (npr. JI dio polja oko Kongore) ili uz riječne tokove prekrivene kvartarnim nanosima. Rubni planinski okvir je složenije građe: prevladavaju vapnenci i dolomiti jurske i kredne starosti, s mjestimično prisutnim manjim područjima naslaga tercijarne starosti Tušnice na sjeveru, Ljubuške i Vrana na SI, I i JI, Grabovičke zaravni i Midene planine na JZ, Liba na JI te Mesihovine na jugu (Sl. 3.).

Based on the aforementioned criteria six tectonic units of prime importance for the researched area have been isolated: Dinara, Glamoč, Cincar, Malovan, Ljubuška and Zavelim (Fig. 2).

Duvanjsko polje is made from various sediments from Miocene, covered in Quaternary sediments at its rims (e.g. southeastern part of the Polje, near Kongora) and near riverbeds (DE LEEUW ET AL., 2011). The mountainous rim is of more complex structure: the main type of rock is limestone and

JZ granica polja, uz Grabovičku zaravan, proteže se gotovo pravocrtno; uzduž nje na SZ dijelu spuštaju se prema SI slojevi vapnenaca; u središnjem dijelu strmo dok se duž JZ dijela spuštaju u obliku terasa. Zbog gotovo pravocrtnog protezanja graničnog područja, kao i postojanja strmog odsjeka u njegovom središnjem dijelu, može se zaključiti kako je rub polja nastao tektonski (spuštanjem); noviji denudacijski procesi neznatno su ga promijenili (ROGLIĆ, 1940.).

Duž SI ruba polja, na topografski jasno izraženoj granici, prisutan je kontakt slatkovodnih slojeva građanih od lapora i vapnenaca miocenske starosti (PAPEŠ, 1967.) prekrivenih tankim površinskim pedološkim slojem polja, s krednim vapnencima Ljubuše. Samo oko Mokronoga vapnenac je pokriven mlađim naslagama; u središnjem dijelu na području potoka Sazlivoda kraj Vedašića, pojavljuju se svijetlosivi dolomiti donjokredne starosti, u izmjeni s vapnencima iste starosti.

Rubovi polja na SZ i JI i po morfologiji i tektonsko-petrografskim karakteristikama daleko su zamršenije građani, a planinski masivi i brežuljkasta područja poput poluotoka ulaze u prostor polja (planina Lib na JI i brežuljkasto područje oko Tomislavgrada na SZ). Brežuljkasto područje oko Tomislavgrada građeno je od slatkovodnog lapora, pješčenjaka, gline s neznatnim primjesama grubljeg pješčenjaka i konglomerata miocenske starosti (PAPEŠ, 1967.). Ovaj sklop slojeva velike je debljine.

Planina Tušnica predstavlja najmarkantniji dio SZ ruba polja. Uz tvrde sive vapnence gornjokredne starosti, u sastavu Tušnice posebno se ističu svijetlocrveni vapnenci, lapori, valutice, konglomerati i breče, od kojih je građen njezin JZ i središnji dio. Veliko raspadanje i komadanje vapnenačkih blokova pokazuju da je Tušnica bila područje snažnih tektonskih kretanja. I položaj slatkovodnih lapora miocenske starosti upućuje na intenzivnu neotektoniku na ovome području: na obroncima Gromile slojevi padaju pod kutom od 45°. Izdizanje Tušnice prethodilo je drugoj jezerskoj fazi na prijelazu iz srednjeg u gornji miocen (DE LEUW ET AL., 2011.). Iz zona svijetlocrvenih vapnenaca, breča i konglomerata, te zaostalog lapora, teku bujice koje velikom snagom usijecaju jaruge i u podnožju talože grubi materijal u velikim količinama. Iz navedenog proizlazi da je SZ dio Duvanjskog polja, posebno u dijelovima koji su u blizini Tušnice, područje

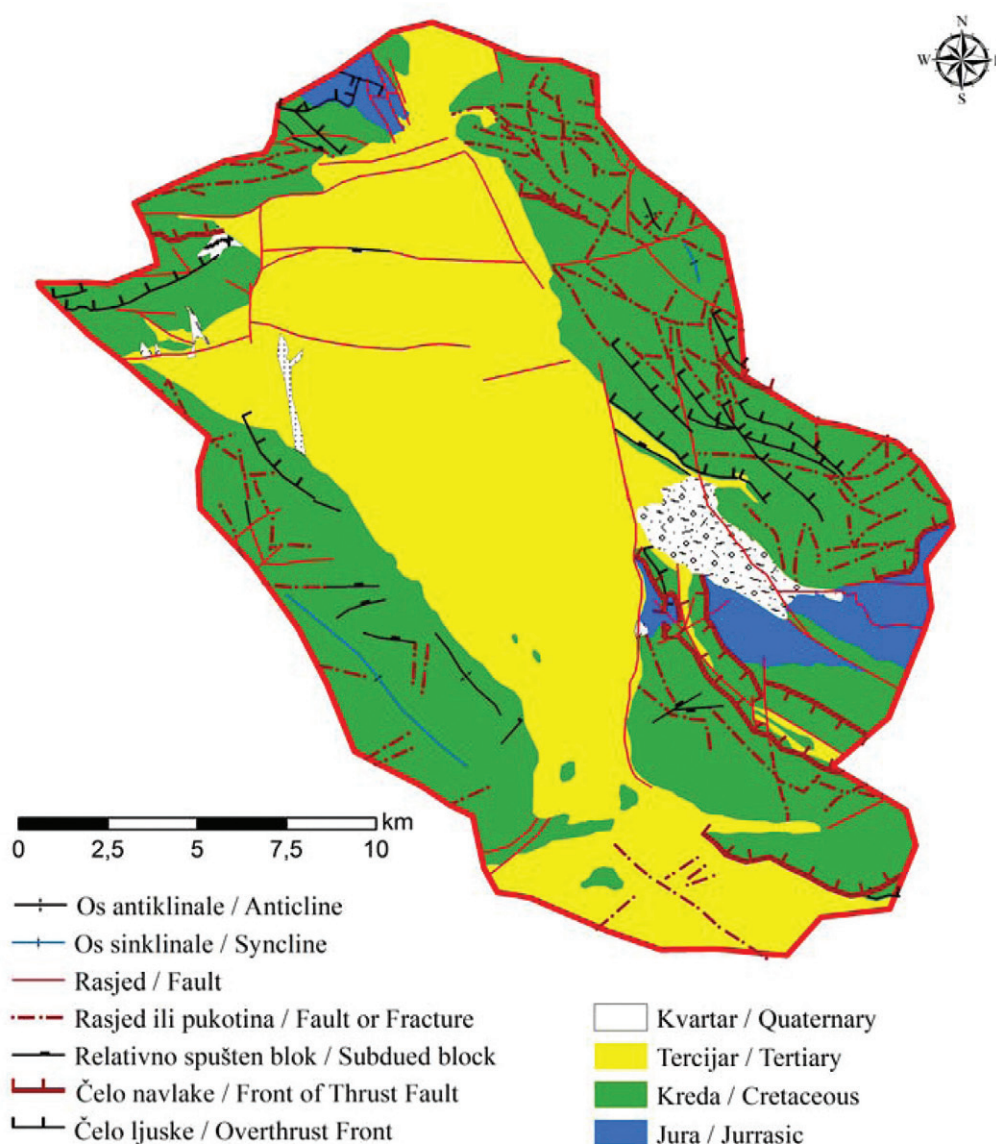
dolomite of Jurassic and Cretaceous period, with smaller local examples of Tertiary sediments near Tušnica in the north, Ljubuša and Vran in the east, southeast and northeast, Grabovica plateau and Midena Mountain in the southwest, Lib in the southeast and Mesihovina in the south (Fig. 3).

The southwestern border of the Polje, near Grabovica plateau, is stretched almost linearly; along the border, in its southwestern part, layers of limestone descend towards southeast, steeply in the middle section, and in the shape of terraces in the southwestern section. Due to the near-linear direction of the bordering area, as well as the existence of a steep cutoff in the middle section, it can be concluded that the bordering area of the Polje was created tectonically (by sinking); more recent denudation processes have only slightly changed it (ROGLIĆ, 1940).

Along the southeastern rim of the Polje, at the topographically clearly defined border, there is a contact between fresh-water limestone and marl layers from Miocene period (PAPEŠ, 1967) covered by a thin layer of soil, along with Cretaceous limestone of Ljubuša. The limestone is covered in more recent layers only near Mokronog; in the middle section, at the Sazlivoda creek near Vedašić, light-gray dolomite from Early Cretaceous period appears along with limestone of the same age.

Borders of the polje at its northwestern and southeastern part are far more complex in terms of morphology and tectonic or petrographic features, with mountainous ranges and surrounding hills shaped like peninsulas protruding into the area (Lib Mountain in the southeast and the hillside near Tomislavgrad in the northwest). Tomislavgrad hills are made up of fresh-water marl, sandstone, clay with coarse sandstone and Miocene conglomerates (PAPEŠ, 1967). These layers are fairly thick.

Tušnica Mountain is the most prominent section of the northwestern part of the Polje. Along with hard gray limestone of Late Cretaceous, Tušnica contains light-red limestone, marl, conglomerates and breccias, which make up its southwestern part. Significant amount of decay and breakage in the rock formations indicate that Tušnica had been an area of strong tectonic movements. The position of fresh-water marl indicates intensive geotectonic movements as well: the layers of Gromila slopes are inclined as much as 45°. The raising of Tušnica Mountain occurred before the second lake-formation period during the transition period between Late and Early Miocene (DE LEUW ET AL., 2011). Water torrents from the zones made



Slika 3. Geološka karta istraživanog područja (prema: PAPEŠ, 1967.; PAPEŠ, RAIĆ, 1968.)
 Figure 3 Geological map of the researched area (according to: PAPEŠ, 1967; PAPEŠ, RAIĆ, 1968)

novijega poprečnog nabiranja i izdizanja koje je na veće visine izdiglo slatkovodne nanose koji imaju veliki pad prema dolini polja (ROGLIĆ, 1940.).

Ji rub polja mnogo je jednostavnije građe nego SZ. Planina Lib poput poluotoka prodire u nizinu polja. Prema podacima OGK-a (PAPEŠ, RAIĆ, 1968.), sastavljena je od vapnenaca kredne i jurske starosti. Od posebne su važnosti zone lapora pliocenske starosti, kao hidrološke barijere, koje se nalaze na vršnim dijelovima SI padine, uz rasjednu liniju, iz kojih izvire vrela koja selu Kongori daju vodu (ROGLIĆ, 1940.).

up of light-red limestone, breccias, conglomerates and the remaining marl have formed ravines and accumulated large amounts of rough material in the basins. This all indicates that the northwestern areas of Duvanjsko polje, especially those closer to Tušnica, are the areas of recent transversal folding and raising which elevated the fresh-water layers, which now fall steeply towards the base of the Polje (ROGLIĆ, 1940).

The southeastern part of the polje is of much simpler structure. Lib Mountain protrudes into the polje like a peninsula. According to the data

Metodologija

Proces obrade podataka

Proces obrade podataka temeljio se na analizi digitalnog modela reljefa, koji je za potrebe ovoga rada izrađen metodom automatske vektorizacije izohipsa s topografskih karata. Korišteno je devet listova TK 25 Vojnogeografskog instituta iz Beograda, od kojih su neki vektorizirani potpuno, a drugi djelomično, ovisno o obliku istraživnog područja. Dobiven je DMR rasterske GRID strukture, veličine piksela 25 metara. On se nalazi unutar četverokuta dimenzija 26 km u smjeru istok – zapad i 26 km u smjeru sjever – jug. S obzirom na to da tijekom izrade modela dolazi do pogrešaka, moguće su manje pogreške u izlaznim rezultatima, jer dobiveni podaci nisu uspoređivani s drugim digitalnim modelima reljefa. Obično se uzima da je visinska točnost jednaka 1/4 ili 1/5 ekvidistance (ACKERMANN, 1994.), pa bi visinska točnost dobivenog DMR-a bila 2 – 2,5 m. Prema Ackermann (1994.), razmak između lomnih točaka može iznositi najviše 40 m.

Digitalni model reljefa šireg područja Duvanjskog polja

Za potrebe geomorfometrijske analize istraživnog područja pomoću alata GIS-a bilo je nužno izraditi digitalni model reljefa. Razlozi izrade DMR-a su nedostupnost besplatnog detaljnijeg DMR-a, bolja kvaliteta u odnosu na dostupne DMR-e¹ i precizniji izlazni podaci.

Općenito, model je objekt ili koncept koji se koristi za predstavljanje neke pojave u prostoru, tj. umanjeno prikaz stvarne situacije pretvoren u razumljiv oblik (MEYER, 1985. prema: LI ET AL., 2005.). Za prostorne analize koriste se različiti digitalni visinski modeli Zemljine površine (DEM). Iako postoji neslaganje u terminologiji, općenito se dijele na digitalne modele reljefa (Digital terrain model) i digitalne modele površina (Digital surface

from OGK (PAPEŠ, RAIĆ, 1968), it is made up of limestone from Cretaceous and Jurassic period. Especially significant are the areas of Pliocene marl, which function as hydrological barriers located at the peak sections of the northeastern slope, along the fault line. They feature water wells that provide the village of Kongora with water (ROGLIĆ, 1940).

Methodology

Data processing

Data processing was based on the digital terrain model analysis, which, for the purposes of this paper, employed the method of topographic maps' contour lines automatic vectorization. Nine papers of TK-25 maps made by the Military-geographic institution in Belgrade were used, some of which have been vectorized completely and other partially, depending on the shape of the researched area. A DMR of raster GRID structure was made, with a 25 meters pixel size. It is located within a square measuring 26 km from east to west and 26 km from south to north. Considering that the process of model generation usually experiences errors, a smaller error might have occurred in the output data, especially since the data have not been compared to that of other similar models. It is usually assumed that the vertical precision equals 1/4 or 1/5 of the equidistance (ACKERMANN, 1994), so the vertical precision of the current DMR model is 2-2.5 meters. According to Ackermann (1994), the distance between crucial points can amount to 40 meters at most.

Digital terrain model of the broader Duvanjsko polje area

For the purpose of the researched area's geomorphometrical analysis by means of GIS tools, it was necessary to develop a digital terrain model. The reasons for the DMR development are: unavailability of a more detailed DMR, better quality level compared to the available DMR¹, and more precise output data.

¹ SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) – digitalni visinski model koji je proizvela NASA. Predstavlja prekretnicu u dostupnosti visinskih podataka za većinu dijelova svijeta. Jedan list SRTM-a obuhvaća prostor 5 x 5 stupnjeva na Zemljinoj površini. SRTM 90 m ima rezoluciju 90 metara na ekvatoru i visinsku pogrešku do 16 metara. Dostupan je na stranicama CGIAR-CSI (Consultative Group on International Agricultural Research – Consortium for Spatial Information).

¹ SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) – a digital height model developed by NASA. It is a positive turnover in the height data availability for the majority of the world. One SRTM paper includes the space of 5x5 degrees of the Earth's surface. SRTM 90m has a 90 meters resolution on the Equator and the vertical error margin of 16 meters. It is available on the internet pages of CGIAR-CSI (Consultative Group on International Agricultural Research - Consortium for Spatial Information).

model), ovisno o tome prikazuju li samo reljef ili uključuju biotičke i antropogene sadržaje.

Proces izrade digitalnog modela reljefa uključivao je sljedeće korake:

1. Skeniranje analognih topografskih karata – pretvaranje karata u digitalni oblik bez prostorne reference.
2. Georeferenciranje i transformaciju – referentne točke uzete su s topografskih karata, čime su karte smještene u geografski prostor. S obzirom na to da se radilo o skeniranim kartama korištena je afina transformacija polinoma prvog reda.
3. Vektorizaciju izohipsi i dodavanje atributa (podataka o visinama s topografskih karata) – automatska vektorizacija izohipsa uključivala je odstranjivanje šumova, skeletiranje (stanjivanje), poboljšanje čvorova, praćenje linija, spajanje segmenata i topološku rekonstrukciju.
4. Izradu TIN-a – vektorskog modela reljefa, koji se sastoji od točaka, linija i trokuta, te predstavlja temelj izrade rasterskog modela reljefa. Na osnovi lomnih točaka (sastavni dio izohipse) konstruirana je triangulacijska nepravilna mreža.
5. Izradu DMR-a – rasterskog modela reljefa. Digitalni model reljefa temeljni je akronim koji se danas koristi u literaturi koja se tiče GIS-a, daljinskih istraživanja i srodnih područja. Digitalni model reljefa predstavlja digitalni prikaz Zemljine površine, ali bez vegetacije ili produkata antropogenog djelovanja. Dakle, DMR prikazuje samo "temeljnu" ili " голу" površinu Zemlje, odnosno reljef.

Korištenje alata GIS-a u analizi DMR-a omogućilo je stvaranje novih podataka i njihovu analizu, a izlazni podaci u konačnici su bili precizniji.

Generally, a model is an object or a concept used to represent various entities in the geographic space, i.e. a smaller representation of the real situation transformed into an understandable form (MEYER, 1985, cf. LI ET AL., 2005). Various height-related digital terrain models are used for spatial analyses (DEM). Although there is a certain degree of misunderstanding in general terminology, they are usually divided into digital terrain models (DMR) and digital surface models, depending on whether they represent reliefs only or include biotic and anthropogenic elements as well.

The process of digital terrain model generation included the following steps:

1. Scanning of analogue topographic maps – turning maps into a digital format without a spatial reference.
2. Georeferencing and transformation – referential points were taken from topographic maps, which means that the maps were transferred to geographic space. Since the maps were scanned, an affine transformation of first-degree polynomial was used.
3. Vectorization of contour lines and addition of attributes (height data from topographic maps) – automatic vectorization included removal of noises, thinning, nodes improvement, and segment merging and topological reconstruction.
4. TIN development – a vector terrain model, which is made up of points, lines and triangles, and represents a base for raster terrain model development. Based on the crucial points (an integral part of a contour line), an irregular triangulation grid was constructed.
5. DMR development – a raster terrain model. Digital terrain model is a basic acronym used in literature that refers to GIS, remote research and similar fields. DMR represents the shape of the Earth's surface, but without vegetation or anthropogenic activity products. Therefore, DMR only shows the "basic" or "naked" Earth's surface, i.e. relief.

The usage of GIS tools in the DMR analysis enabled new data creation and analysis, while the output data turned out more precise.

Vizualizacija dobivenih podataka

Svi kartografski prilozi predstavljaju vizualne rezultate analize digitalnog modela reljefa. U radu je korišteno više vizualizacijskih tehnika za prikaz dobivenih rezultata:

1. odabir boja za pojedine klase
2. optimiziranje prikaza ćelija izlaznih rezultata unutar rastera pri čemu je korištena metoda "cubic convolution"²
3. preklapanje dobivenih rezultata (uz prozirnost od 30%) s prikazom reljefa sjenčanjem da bi se dobio dojam reljefnosti i uočili odnosi između kvantitativnih parametara i morfologije reljefa.

Diskusija

Analiza morfometrijskih parametara

1. Analiza nagiba

Reljef se može shvatiti kao zajednica padina različitih kategorija nagiba (BOGNAR, 1990.). Veliki dijelovi Zemljine površine sastoje se od različitih vrsta padina čiji je nastanak posljedica djelovanja endogenih i egzogenih procesa. U ovom istraživanju primijenjen je sveobuhvatni pristup, tj. pažnja nije usmjerena na morfometrijsku analizu mikroreljefnih oblika nego na analizu makrogeomorfoloških odnosa unutar cjelokupnog reljefa u granicama promatranog područja. Analiza prostornog rasporeda i obuhvata pojedinih kategorija nagiba padina važna je jer su oni značajan indikator opsega i intenziteta morfostrukturnih i egzogeomorfoloških (denudacijskih i akumulacijskih) procesa koji su tijekom paleogeomorfološkog razdoblja utjecali na morfogenezu padina, ali i kao indikator budućih utjecaja navedenih procesa na značajke i međusobne odnose izdizanja i spuštanja, odnosno denudacije i akumulacije (Tab. 1.).

Za izračunavanje nagiba korištene su metode i algoritmi integrirani u program *ArcInfo*. Vrijednosti nagiba određuju se na način da softver za svaki piksel izračunava maksimalnu stopu promjene vrijednosti od toga piksela prema susjednim pikselima koji ga okružuju. U konceptualnom smislu, funkcija nagiba uklapa

² Ova metoda korištena je samo prilikom vizualizacije, ne i kod izračuna prostornog obuhvata morfometrijskih parametara, jer njezinim korištenjem dolazi do izmjene vrijednosti unutar piksela.

Visualization of the calculated data

All the cartographic addendums represent visual results of the digital terrain model analysis. In this paper, a number of visualization techniques were used to display the results:

1. Color selection for individual classes
2. Optimization of the output data's cell representation within the raster, which employed the "cubic convolution" method²
3. The obtained results' overlap (at 30% transparency level) and terrain shading in order to create a more plastic relief impression and determine relations between the quantitative parameters and terrain morphology.

Discussion

Morphometric parameters analysis

1. Slope analysis

Relief can be defined as a combination of hillslopes of various inclination categories (BOGNAR, 1990). Large parts of the Earth's surface are made of various types of slopes created by both endogenous and exogenous processes. This research applied the comprehensive approach, i.e. morphometric analysis of micro-relief shapes was not as important as macro-geomorphologic relations within the complete researched area were. Spatial distribution and specific slope categories coverage analysis is important since they represent significant indicators of the size and intensity of morphostructural and exogeomorphological processes (denudation or accumulation). These processes have affected the slopes' morphogenesis during the paleo-geomorphological period and their analysis indicates future effects of the aforementioned processes on relations between terrain raising and sinking, i.e. denudation and accumulation and their characteristics (Tab. 1).

For the purpose of inclination calculation, *ArcInfo* methods and algorithms were used. Inclination values are determined by use of software that calculates a maximal change rate of measured values between neighboring pixels. Conceptually, the function of inclination fits the slope and z-value

² This method was used only during visualization, and not in calculating spatial extent of morphometric parameters, because it changes the value within a pixel.

plohu i z-vrijednosti unutar područja od 3 x 3 piksela koje okružuje središnji piksel, a vrijednost nagiba ove plohe izračunava se pomoću tehnike prosječnog maksimuma (BURROUGH, McDONELL, 1998.). Mreža koju čine ćelije jednakih dimenzija, poravnana je uzduž geografskih osi x (zapad – istok) i y (sjever – jug).

Stopa promjene u smjeru x stranice npr. za "h_e" izračunava se algoritmom:

$$h_x (dz/dx) = ((h_c + 2h_f + h_i) - (h_a + 2h_d + h_g)) / (8 * d)$$

Stopa promjene u smjeru y stranice za "h_e" izračunava se algoritmom:

$$h_y (dz/dy) = ((h_g + 2h_h + h_i) - (h_a + 2h_b + h_c)) / (8 * d)$$

Izračunom stopa promjene u x i y smjeru, nagib za ćeliju "h_e" izračunava se primjenom sljedećeg izraza:

$$N = \sqrt{h_x^2 + h_y^2}$$

$$N(^{\circ}) = \text{ATAN}(N)$$

Radi pojednostavlivanja analize i interpretacije podataka, primijenjena je geomorfološka klasifikacija nagiba padina (Tab. 1.).

Nagibi manji od 2° karakteristični su za najveći dio Duvanjskog polja zbog čega imaju i najveći prostorni obuhvat (s 35,2% udjela, Tab. 2.), međutim, manja područja takvog nagiba pojavljuju se i na okolnim planinama. Prije svega karakteristični su za korozivnu zaravan Podine od Mokronoga do Lipe, a javljaju se i na pojedinim zaravnima planine Ljubuše te na Grabovičkoj zaravni (Sl. 5.).

Druga kategorija nagiba (2 – 5°, 13,58%) u pravilu se javlja na kontaktnim dijelovima polja i okolnog područja, gdje postoji blagi prijelaz, prekriven naslagama koluvijalnog i deluvijalnog podrijetla, iz zaravnjenog dijela polja u strmiji planinski okvir (Tab. 2., Sl. 5.). Na rubovima polja ovi nagibi najrasprostranjeniji su sjeverno od Tomislavgrada, gdje polje postupno prelazi u brežuljkasto područje, te na prijelaznom području u blizini sela Bukovice gdje se slojevi stepenasto uzdižu prema Midenoj planini. Također, velika područja planine Ljubuše i Grabovičke zaravni pripadaju ovoj kategoriji. Na Ljubuši se ovi nagibi javljaju na područjima uvala, koje su u prošlosti bile sezonski naseljene i agrarno vrednovane u ljetnom dijelu godine. Unutar ove kategorije nagiba nalaze se i blago položene SZ padine izgrađene u stijenama kredne starosti na području kontakta Ljubuše i krajnjega zapadnog dijela

within the area of 3x3 pixels surrounding a central pixel, and the value of this plane's inclination is calculated using the average maximum technique (BURROUGH, McDONNELL, 1998). The grid composed of equally sized neighboring cells is leveled along geographical axes x (west - east) and y (north - south).

The change rate directed towards the x-axis for e.g. "h_e" is calculated using the following algorithm:

$$h_x (dz/dx) = ((h_c + 2h_f + h_i) - (h_a + 2h_d + h_g)) / (8 * d)$$

The rate of change towards the y-axis for e.g. "h_e" is calculated using the following algorithm:

$$h_y (dz/dy) = ((h_g + 2h_h + h_i) - (h_a + 2h_b + h_c)) / (8 * d)$$

By calculating the change rates in x- and y-directions, the "h_e" cell inclination is then calculated as follows:

$$N = \sqrt{h_x^2 + h_y^2}$$

$$N(^{\circ}) = \text{ATAN}(N)$$

Geomorphologic classification of slope inclination has been used in order to simplify data analysis and display (Tab. 1).

Slopes with less than 2° inclination are predominant in the largest part of Duvanjsko polje and therefore have the largest spatial coverage (35.2% of all the slopes, Tab. 2). However, smaller areas of identical slope inclination also appear in the bordering mountains. They are primarily present in the corrosion plateau of Podine, from Mokronoge to Lipa, at certain plateaus of Ljubuša Mountain, and on the Grabovica plateau (Fig. 5).

The second inclination category (2-5°, 13.58%) is mostly present at contact sections between the Polje and surrounding areas, where there is a mild transition from the Polje to steeper mountainous rim covered in colluvial and diluvial layers (Tab. 2, Fig. 5). At the edges of the Polje such inclinations appear most frequently north of Tomislavgrad, where the Polje gradually shifts into hillside, and in the bordering area near the village of Bukovica, where layers gradually rise into Midena Mountain. In addition, great portions of Ljubuša and Grabovica plateau belong to this category. These types of slopes are present in Ljubuša basins, which were seasonally populated and agriculturally used during the summer period in the past. Areas that also belong to this inclination category are the mildly inclined northwestern slopes composed of Cretaceous rocks near the contact area between Ljubuša and far western part of Vran Mountain,

Tablica 1. Geomorfološka klasifikacija nagiba
Table 1 Geomorphologic classifications of slopes

Nagib (°)	Karakteristike geomorfoloških oblika i procesa
< 2	Ravnica. Kretanja masa se ne zapažaju. Intenzitet spiranja minimalan
2 – 5	Blago nagnut teren. Spiranje slabo izraženo. Spiranje tala i pojave klišenja mogu biti značajne.
5 – 12	Nagnuti tereni. Pojačano spiranje i pojave kretanja masa. Do izražaja dolazi klišenje i tečenje materijala. Teren ugrožen padinskim procesima.
12 – 32	Značajni nagibi. Spiranje je intenzivno. Veoma snažni padinski procesi. Teren jako ugrožen spiranjem i pojavom kretanja masa.
32 – 55	Vrlo strm teren. Dominira odnošenje materijala. Akumulacijski materijal se tek mjestimično zadržava (tanki pokrivač). Padine su stjenovite i pretežito ogoljene.
> 55	Strmci, litice (eskarpmani). Dominira osipanje i urušavanje
Inclination (°)	Features of geomorphologic shapes and processes
< 2	Plain. Mass movements are not evident. Soil wash intensity is minimal.
2 – 5	Mildly inclined terrain. Soil wash is weak. Soil wash and creep can be significant.
5 – 12	Inclined terrain. Relatively strong soil wash and mass movement. Accented soil creep and downhill flow of material. Terrain is compromised by slope processes.
12 – 32	Significant inclination. Soil wash is intensive. Very strong slope processes. Terrain significantly compromised by soil wash and mass movement.
32 – 55	Very steep terrain. Material removal is dominant. Material is accumulated only sporadically (a thin layer). Slopes are rocky and mostly barren.
> 55	Cliffs, escarpments. Dispersal and collapsing are dominant.

Izvor / Source: IGU, 1968.

Vrana, prijelazno područje od JI dijela polja prema planini Vran te niži dijelovi padina planine Lib na kontaktnom području s poljem (Sl. 5.).

Također, velika područja planine Ljubuše i Grabovičke zaravni pripadaju ovoj kategoriji. Na Ljubuši se ovi nagibi javljaju na područjima uvala, koje su u prošlosti bile sezonski naseljene i agrarno vrednovane u ljetnom dijelu godine. Unutar ove kategorije nagiba nalaze se blago položene SZ padine izgrađene u stijenama kredne starosti na području kontakta Ljubuše i krajnjeg zapadnog dijela Vrana, prijelazno područje od JI dijela polja

the transitional area from southeast part of the polje toward the Vran Mountain, and lower slopes of Lib Mountain at the contact area with the Polje (Fig. 5).

Most areas of Ljubuša Mountain and Grabovica plateau belong to this category as well. On Ljubuša Mountain, these slopes appear in *uvalas*, which in the past were seasonally populated and agriculturally used during the summer. Within this slope category are the low-inclined northwestern slopes of Cretaceous period in the contact area between Ljubuša Mountain and far western Vran as well as the contact area between southeastern part of polje and Vran, and the lower parts of

³ Geomorfološka klasifikacija nagiba padina, temeljena na dominantnim morfološkim procesima koji se aktiviraju ovisno o veličini nagiba, kao i odgovarajućim reljefnim oblicima, prihvaćena je od IGU-a (International Geographical Union, 1968.).

³ Geomorphologic classification of slopes, based on dominant morphological processes which are activated in relation to inclination, as well as related terrain shapes, has been approved by IGU (International Geographical Union, 1968.).



Slika 4. Područje Kosovca uz vršni dio Liba (dominiraju nagibi od 5° do 12°)

Figure 4 The area of Kosovac, near the peak of Lib Mountain (slopes of 5°-12° inclination are dominant here)

prema planini Vran te niži dijelovi padina planine Lib na kontaktnom području s poljem (Sl. 5.)

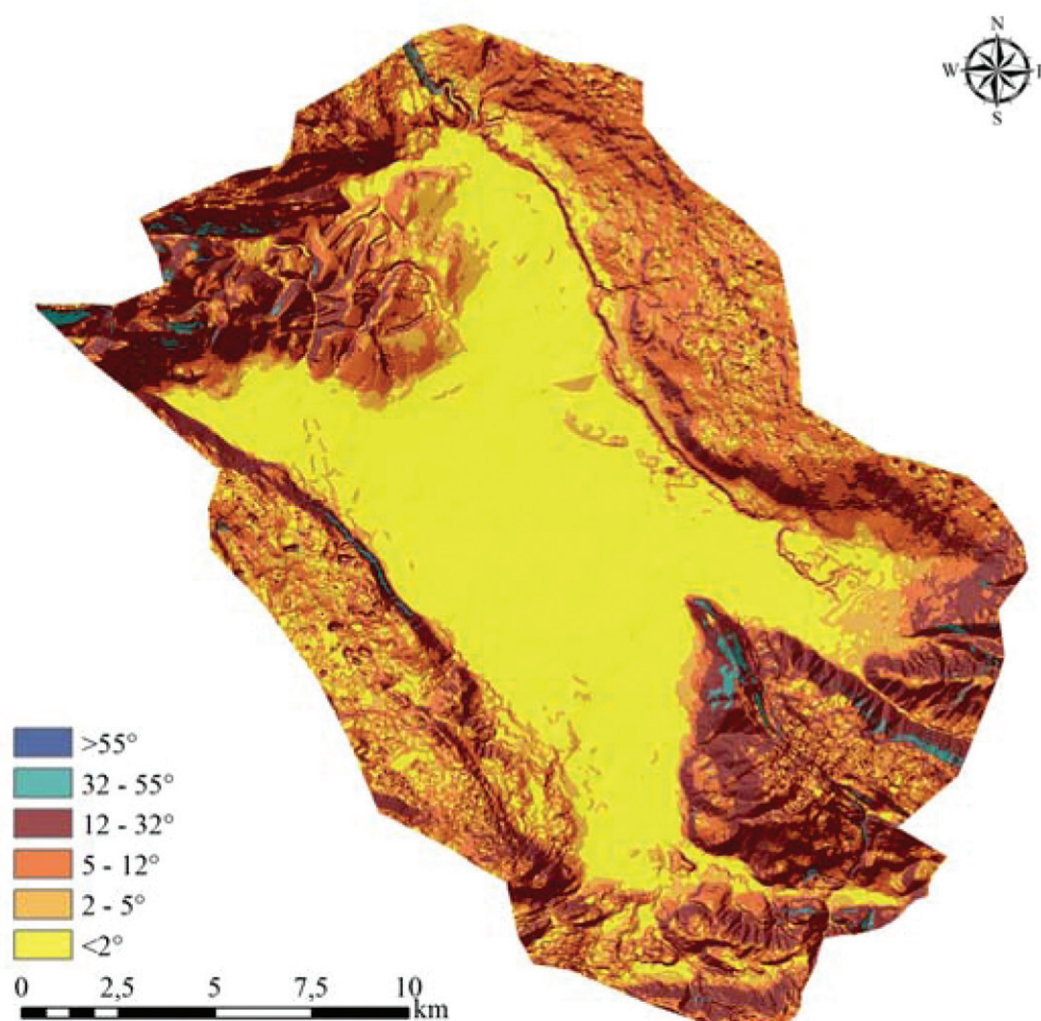
Nagibi od 5 do 12°, nakon kategorije < 2°, zauzimaju najveću površinu (26,39%, Tab. 2., Sl. 5.). Gotovo ravnomjerno su raspoređeni duž čitavog planinskog oboda polja, uglavnom na nižim dijelovima padina ili na vapnenačkim zaravnima Grabovice, Ljubuše i Liba (Sl. 4.).

Na višim dijelovima padina Tušnice, Jelovače i planine Lib, koje su zbog izraženog djelovanja neotektonskih pokreta strmije, najveći udio ima kategorija nagiba od 12 do 32° (23,79%), dok su više kategorije nagiba slabije zastupljene (32–55° s 1,07% i > 55° s 0,003%). Osim spomenutih područja Tušnice, Jelovače i Liba, nagibi od 12 do 32° prisutni su i na relativno velikim površinama (Tab. 2.) viših područja padinskih strana uz grebene ostalih uzvišenja, na nižim dijelovima padina na kojima je izraženo intenzivno djelovanje rasjedne tektonike, uz bočne strane dubljih jaruga i ponikava te na područjima naglog prijelaza iz zaravnjenog u obodni planinski dio polja (Sl.

slopes of Lib Mountain at the contact area with the Polje (Fig. 5).

Inclinations between 5° and 12° are the second most frequent, following the < 2° category and making up for 26.39% of the total surface (Tab. 2, Fig. 5). They are almost evenly distributed along the entire mountainous rim of the Polje, mostly at lower parts of the slopes or at limestone plateaus of Grabovica, Ljubuša and Lib Mountains (Fig. 4).

On higher slopes of Tušnica, Jelovača and Lib Mountains, which are steeper due to neo-tectonic movements, the most frequent category of slopes is 12°-32° (23.79%), while higher inclination categories appear less frequently (32-55° with 1.07%, and > 55° with 0.003%). Apart from the aforementioned areas of Tušnica, Jelovača and Lib, slopes inclined 12-32° appear on relatively large areas (Tab. 2). They can be found on steep sides' higher parts near cliffs, on lower parts of slopes with significant fault tectonic activities, near the sides of deeper ravines and karst sinkholes and, finally, in transitional areas between the flat parts of



Slika 5. Karta nagiba

Figure 5 The map of slope inclinations

5.). Ova kategorija nagiba dominantna je duž velikog dijela jugozapadnog kontaktnog dijela Grabovičke zaravni i polja, od prijevoja Privala do sela Bukovice, gdje prelazi u tektonski i reljefno razdrobljeno valovito područje Grabovičke zaravni, koje se od jugozapada stepenasto spušta prema sjeveroistoku i nestaje uz rub polja. Granica sjeveroistočnog dijela polja i planine Ljubuše također je dobro definirana ovom kategorijom nagiba, osobito od sela Kuka do Letke, gdje ovaj strmi rub lokalno stanovništvo naziva "Greda". Na kanjonskim stranama Šujice izmjenjuju se nagibi od 12 do 32° i od 32 do 55° (Sl. 5.).

the Polje and bordering mountainous (Fig. 5). This category is very dominant along a great section of southwestern contact area between the Grabovica plateau and the Polje, from the Privala notch to the village of Bukovica, where it shifts into a tectonically and geologically fragmented Grabovica plateau, which progressively lowers from the northwest to the northeast and gradually disappears near the edge of the Polje. The northeastern border between the Polje and the Ljubuša Mountain is also well defined within this inclination category, especially concerning the villages of Kuk and Letka, where the locals have named this steep edge "Greda"

Tablica 2. Kategorije i prostorni obuhvat nagiba
Table 2 Categories and spatial dimensions of slopes

Nagib (°)	Površina (m ²)	Udio (%)
< 2	129494800,0	35,160
2-5	50021200,0	13,582
5-12	97188800,0	26,389
12-32	87633200,0	23,794
32-55	3948000,0	1,072
>55	11600,0	0,003
Ukupno	368297600,0	100,000
Inclination (°)	Area (m ²)	Portion (%)
< 2	129,494,800.0	35.160
2-5	50,021,200.0	13.582
5-12	97,188,800.0	26.389
12-32	87,633,200.0	23.794
32-55	3,948,000.0	1.072
>55	11,600.0	0.003
Total	368,297,600.0	100.000

Što se najviših vrijednosti nagiba tiče, nagibi od 32 do 55° prevladavaju uglavnom na višim dijelovima padina uz hrptove planinskih uzvišenja (izuzetak su područja s izraženom rasjednom tektonikom na područjima Tušnice i Jelovače, gdje je ova kategorija zastupljena i na nižim dijelovima padina) te uz kanjonske strane Šujice. Prilikom terenskog izlaska nagibi najviše kategorije (> 55°) uočeni su na litici planine Lib iznad Borčana (Sl. 5., Sl. 6.), te mjestimično na vrlo strmim stranama urušnih ponikava na području Grabovičke zaravni (Sl. 5.).

2. Analiza ekspozicija

Ekspozicija se može shvatiti kao orijentacija padine s obzirom na strane svijeta. Pri tome se kut orijentacije određuje najčešće od smjera sjevera u smjeru kazaljke na satu. U konceptualnom smislu, funkcija ekspozicije odnosi se na izračun vrijednosti ekspozicije središnjeg piksela u odnosu na osam susjednih (mreža piksela 3 x 3). Smjer prema kojem je ploha okrenuta predstavlja ekspoziciju za središnji piksel (BURROUGH, McDONELL, 1998.).

(The Wall). In Šujica canyon 12-32° and 32-55° inclination categories interchange (Fig. 5).

Regarding the highest inclination values, 32-55° inclinations most often prevail in higher parts of slopes near mountain crests (with the exception of areas with significant fault tectonics near Tušnica and Jelovača, where this category appears in lower parts of slopes as well) and near the canyon sides of Šujica. During the field research, highest category inclinations (> 55°) were recorded on a Lib Mountain cliff near Borčane (Fig. 5, Fig. 6) and, in places, on very steep sides of collapsed dolines on Grabovica plateau (Fig. 5).

2. Aspect analysis

Aspect can be defined as slope orientation in relation to cardinal directions. Orientation angle is usually measured clockwise from the north. Conceptually, the function of aspect is the calculated aspect value of a central pixel in relation to its eight neighboring pixels within a 3x3-pixel grid. The direction to which a surface is orientated represents the aspect of the central pixel (BURROUGH, McDONNELL, 1998).

Stopa promjene u x smjeru za ćeliju " h_e " izračunava se sljedećim algoritmom:

$$h_x (dz/dx) = ((h_c + 2h_f + h_i) - (h_a + 2h_d + h_g)) / 8$$

Stopa promjene u y smjeru za ćeliju " h_e " izračunava se sljedećim algoritmom:

$$h_y (dz/dy) = ((h_g + 2h_h + h_i) - (h_a + 2h_b + h_c)) / 8$$

Uzimajući stopu promjene u x i y smjeru za ćeliju " h_e ", ekspozicija se izračunava pomoću algoritma:

$$E = 57.29578 * \text{ATAN}^2 (h_y - h_x)$$

Nakon toga vrijednost ekspozicije konvertira se u stupnjeve ($0 - 360^\circ$).

U skladu s prividnim kretanjem Sunca preko obzora tijekom dana ili različitih godišnjih doba, mijenja se i intenzitet kratkovalnog Sunčeva zračenja na padinama. Na sjevernoj hemisferi najviše Sunčeva zračenja primaju južne padine, a sjeverne najmanje. Istočno i zapadno eksponirane padine ozračene su u manjoj mjeri od južnih, a u većoj od sjevernih; istočne najviše zračenja prime ujutro, a zapadne u predvečerje (ŠEGOTA, FILIPČIĆ, 1996.). Utjecaj ekspozicija na geomorfološke procese vrlo je značajan jer različito eksponirane padine primaju različitu količinu kratkovalnog zračenja, što utječe na karakteristike klimatskih elemenata kao egzogeno-geomorfoloških agensa.

Na istraživanom području ekspozicije indirektno utječu na promjene vezane uz denudaciju, koroziju i sedimentaciju padinskih trošina, kao i hidrološke procese na padinama. Primjerice, povećano kratkovalno zračenje na padinama eksponiranim prema južnom kvadrantu (JZ, J i JI) posredno utječe na povećanje evapotranspiracije, što u sušnijem dijelu godine rezultira bržom nestašicom vode (osobito na mjestima gdje je u podlozi vapnenac), a posljedica je smanjenje obuhvata i broja biljnih vrsta na padinama, odnosno rjeđa vegetacija. Rjeđa vegetacija pogoduje bržem isušivanju tla i većem površinskom otjecanju te na taj način utječe na intenziviranje procesa denudacije. Na sjevernim osonim padinama vlaga u tlu zadržava se dulje vrijeme nakon oborina što pogoduje razvoju vegetacije i omogućuje povoljnije uvjete za stvaranje i očuvanje tala. Dugoročno, spiranje tala, uz ostale denudacijske procese, može uzrokovati povećanje nagiba na višim dijelovima padina (pojačana denudacija) i smanjenje u nižim

The change rate in the x direction for a " h_e " cell is calculated using the following algorithm:

$$h_x (dz/dx) = ((h_c + 2h_f + h_i) - (h_a + 2h_d + h_g)) / 8$$

The change rate in the y direction for a " h_e " cell is calculated using the following algorithm:

$$h_y (dz/dy) = ((h_g + 2h_h + h_i) - (h_a + 2h_b + h_c)) / 8$$

Considering the rate of change in x and y directions for a " h_e " cell, its aspect is calculated using the following algorithm:

$$E = 57.29578 * \text{ATAN}^2 (h_y - h_x)$$

Afterwards, the value of the aspect is converted into degrees ($0-360^\circ$).

In accordance with the apparent motion of the Sun across the horizon during the day or different seasons, the intensity of shortwave radiation on hillslopes changes as well. On the northern hemisphere, most of the radiation is received by southern hillslopes and the least by northern. Generally, eastern and western slopes are less exposed than southern slopes but more than northern; eastern slopes receive most of the radiation in the morning and the western slopes in the dusk (ŠEGOTA, FILIPČIĆ, 1996). The influence of aspect on geomorphologic processes is very important since differently exposed slopes receive different shortwave radiation, which affects the climate elements as exogenous and geomorphologic agents.

In the researched area, aspects indirectly influence the changes in denudation, corrosion and sedimentation of slope material, as well as hydrological processes on the slopes. For example, an increased amount of shortwave radiation on the slopes exposed to the southern quadrant (southwest, south and southeast) directly influences evaporation and transpiration increase, which leads to water shortage during the dry season (especially on limestone-based areas), and the result is a decrease in the plants' number and size on the slopes, i.e. much scarcer vegetation. Scarce vegetation enables more rapid loss of water from the soil and greater surface drainage, which intensifies the denudation process. On northern slopes, the moist is contained in the soil for longer periods of time, which positively affects vegetation development and provides more acceptable conditions for creation and development of soils. Long term processes of soil wash, amongst other denudation processes, can result in increased inclinations in higher parts of slopes (more intense denudation) and decreased inclinations in lower



Slika 6. Zapadno eksponirana padina na planini Lib iznad Borčana⁴

Figure 6 A hillslope on the Lib Mountain near the village of Borčane, exposed to the west⁴

dijelovima (pojačana sedimentacija) (KIRKBY, 2004.), što se može uočiti na primjeru zapadno eksponirane padine na planini Lib iznad Borčana, uz JZ dio Duvanjskog polja (Sl. 6.).

Iz karte ekspozicija (Sl. 8.) moguće je uočiti da najveći dio Duvanjskog polja nema izražene ekspozicije, odnosno da je gotovo ravan (prisutan je vrlo blagi pad iz smjera SZ prema JI, gdje se nalazi i najniža točka polja, ponor Šujice).

Najveću rasprostranjenost na promatranom području, s 20,54%, imaju jugozapadno eksponirane padine (Tab. 3.), što je u skladu s generalnim dinarskim smjerom pružanja reljefnih morfostrukture. U širem kontekstu, prema općoj pogodnosti⁵, padine južnog kvadranta s toplom i

parts (more intense sedimentation) (KIRKBY, 2004), which is noticeable on western-exposed slope of Lib mountain, near Borčane, along the southwestern part of Duvanjsko polje (Fig. 6).

On the aspect map (Fig. 8) it is noticeable that most of the Duvanjsko polje area does not feature any significant aspect, meaning it is almost flat (with a very small downward slope from the northwest to the southeast, where the lowest point of the Polje, the Šujica river ponor, is located).

The most frequent slopes (20.54%) are those with southwest aspect, which is consistent with the general direction of Dinaric Alps' terrain morphostructures (Tab. 3). In a broader context, in accordance with general aspect aptitude⁵, the slopes

⁴ Povećanje nagiba na višim dijelovima padina i sedimentacija na nižim, zbog dugotrajnih procesa spiranja, osipanja i urušavanja, pospješeni litološkim sastavom i izraženijom dnevnom i sezonskom temperaturnom amplitudom.

⁵ Opća pogodnost ekspozicija: N = hladna ekspozicija; NE i NW = umjereno hladne ekspozicije; E i W = neutralne ekspozicije; SE i SW = tople ekspozicije; S = vrlo topla ekspozicija.

⁴ Increased inclination is evident in higher mountain areas and sedimentation in the lower areas. This is combined with prolonged processes of soil wash, creep and collapsing, enhanced by lithological features and significant daily and seasonal temperature amplitudes.

⁵ General aspect aptitude: N = cold aspect; NE and NW = moderately cold aspect; E and W = neutral aspect; SE and SW = warm aspect; S = very warm aspect.

Slika 7. Zapadna i SI padina Liba, odvojene vršnim grebenom⁶Figure 7 West and southeast hillslopes of Lib Mountain separated by a peak ridge⁶

vrlo toplom orijentacijom (JI, J i JZ) u ukupnoj površini sudjeluju s 46,22%. Radi se o područjima većeg dijela Ljubuše, južnim i jugozapadnim padinama Vrana nasuprotnim SI i I padinama Liba, JZ i J padinama Liba, Mesihovine, velikog dijela Grabovičke zaravni te južnim padinama Tušnice i Jelovače (Sl. 8.).

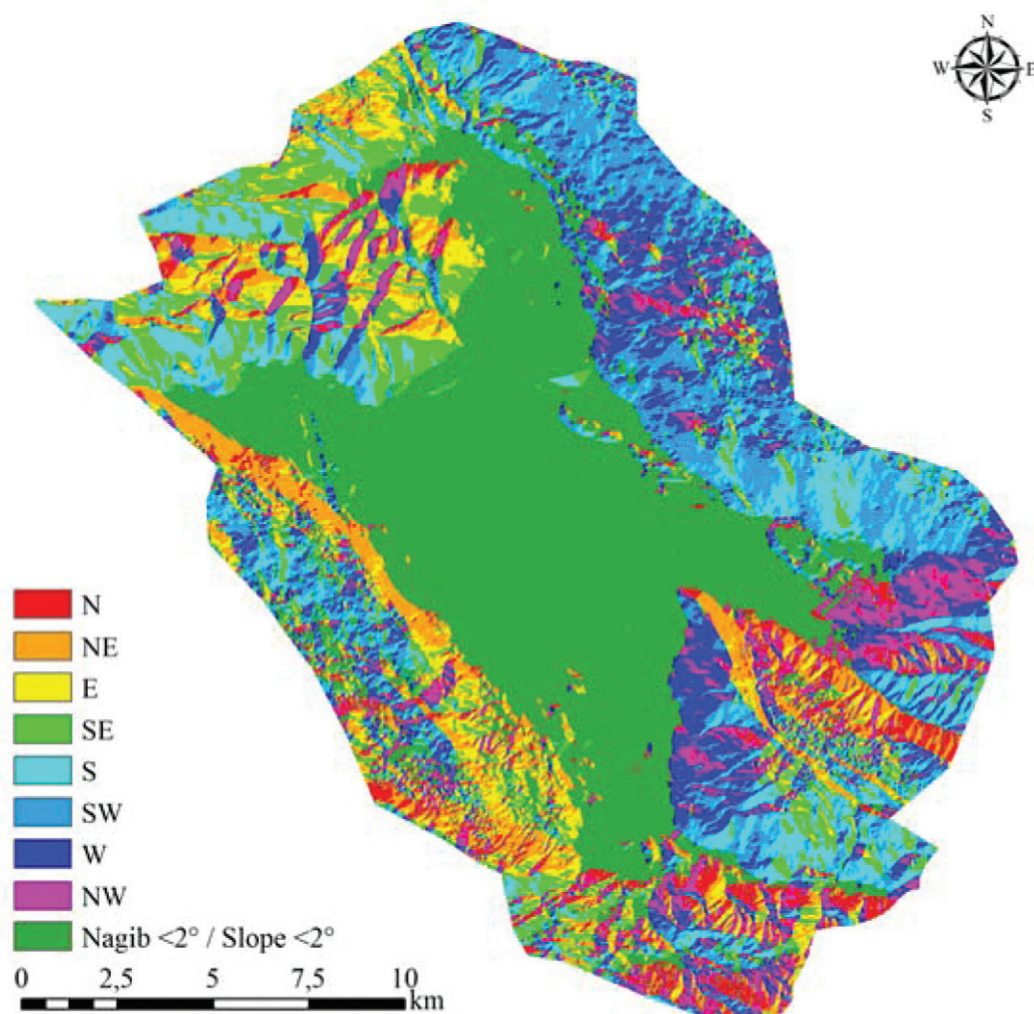
S nešto manjim udjelom (31,90%, Tab. 3., Sl. 8.) zastupljene su padine s umjereno hladnim i hladnim ekspozicijama (NW, N i NE). Radi se o područjima krajnje sjeveroistočne izdužene padine Grabovičke zaravni koja se većim dijelom strmo spušta prema Duvanjskom polju. Također, velika površina ovih ekspozicija prisutna je na padini Vrana nasuprotnoj Ljubuši, padinama Mesihovine nasuprotnim Libu te mjestimično na dijelovima Tomislavgradskog pobrđa, Tušnice i središnjeg dijela Ljubuše (Sl. 8.).

of the southern quadrant with warm and very warm orientation (southeast, south and southwest) make up for 46.22% of the total area. Those are the areas of Ljubuša Mountain, south and southwest slopes of Vran opposite to southeast and east slopes of Lib, southwest and south slopes of Lib, Mesihovina, large parts of Grabovica plateau, and southern slopes of Tušnica and Jelovača (Fig. 8).

A smaller portion (31.90%, Tab. 3, Fig. 8) refers to slopes with moderately cold and cold aspects (northwest, north and northeast), such as the far northeastern slope of Grabovica plateau, which mostly descends steeply toward the Duvanjsko polje. In addition, large areas with such aspect are present on the slopes of Vran, opposite to Ljubuša, the slopes of Mesihovina opposite to Lib and in some parts of Tomislavgrad hills, and Tušnica and the central part of Ljubuša (Fig. 8).

⁶ Može se uočiti lučno izvijanje morfostrukture.

⁶ A bend in the morphostructure is also visible.



Slika 8. Karta ekspozicija
Figure 8 The aspect map

Udio neutralnih ekspozicija (W i E) u istraživanom području iznosi 21,88% (Tab. 3., Sl. 8.). Ove ekspozicije posljedica su mjestimičnih promjena dinarskog smjera pružanja morfostrukture u smjer S – J uzrokovanih izvijanjem tektonskih struktura. To se osobito odnosi na zapadnu i SI padinu Liba (Sl. 7., Sl. 8.) i istočne padine Tomislavgradskog pobrđa (Sl. 8.).

The portion of the aspects that fall into the neutral category (western and eastern) in the researched area amounts to 21.88% (Tab. 3, Fig. 8). Such aspects are a consequence of local changes in Dinaric Alps morphostructures' extension from their general north-south direction, caused by bending of tectonic structures. This is primarily evident on western and southeastern slopes of Lib Mountain (Fig. 7, Fig. 8) and the eastern Tomislavgrad hills slopes (Fig. 8).

Tablica 3. Kategorije i prostorni obuhvat ekspozicija
Table 3 Aspect categories and their spatial coverage

Ekspozicija padina	Površina (m²)	Udio (%)
N	25022400,0	10,48
NE	28698800,0	12,02
E	20590800,0	8,62
SE	23802000,0	9,97
S	37536000,0	15,72
SW	49043600,0	20,54
W	31651200,0	13,25
NW	22458000,0	9,40
Ukupno	238802800,0	100,00
Slope aspect	Area (m²)	Portion (%)
N	25,022,400.0	10.48
NE	28,698,800.0	12.02
E	20,590,800.0	8.62
SE	23,802,000.0	9.97
S	37,536,000.0	15.72
SW	49,043,600.0	20.54
W	31,651,200.0	13.25
NW	22,458,000.0	9.40
Total	238,802,800.0	100.00

3. Analiza zakrivljenosti padina

Pojam zakrivljenosti padine odnosi se na njezin geometrijski oblik. Oblik padine rezultat je denudacijskih i akumulacijskih procesa, uzrokovanih endogenim i egzogenim geomorfološkim agensima.

Konveksne padine (ili dijelovi padina) indikator su pozitivnih tektonskih pokreta (izdizanje) povezanih s dominacijom denudacijskih procesa čiji intenzitet raste s porastom dužine padine. Pravocrtna padina ili dijelovi padina upućuju na prostorno uravnotežene denudacijske uvjete, npr. padina se povlači paralelno ili se materijal jednolično kreće po padini. Konkavne padine (ili njihovi dijelovi) indikator su negativnih tektonskih pokreta (spuštanje) povezanih s pojačanom akumulacijom padinskog materijala (DIKAU ET AL., 2004.).

S matematičkog aspekta, zakrivljenost se definira kao odstupanje geometrijskog objekta

3. Slope curvature analysis

The notion of slope curvature refers to its geometric shape. The shape of a slope is a result of denudation and accumulation processes caused by endogenous and exogenous geomorphologic factors.

Convex slopes (or their parts) are indicators of positive tectonic movements (rising), related to domination of denudation, the intensity of which increases with increase in slope length. Linear slopes or their parts indicate spatially balanced conditions for denudation, e.g. the slope retracts in a parallel way, or the material shifts evenly across the slope. Concave slopes (or their parts) are indicators of negative tectonic movements (sinking) related to increased amount of accumulated slope material (DIKAU ET AL., 2004).

Mathematically, a curvature is defined as a geometrical object's divergence from a plane. Curvature is inverted to circle radius and is expressed with the following formula: $k=1/R$. As the radius

od ravnine. Zakrivljenost je inverzna radijusu kružnice, odnosno izražava se izrazom $k = 1/R$. S porastom radijusa kružnice, zakrivljenost se smanjuje i obratno. Zakrivljenost predstavlja koeficijent odstupanja krivulje od pravca. Za točku u trodimenzionalnom prostoru moguće je izvesti beskonačan broj zakrivljenosti (OHLMACHER, 2007). Korištenjem metode 3×3 kvadrata, zakrivljenost se računa kao druga derivacija visinskih vrijednosti DMR-a, prema izrazu: $Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$. Postoji više vrsta zakrivljenosti, a u ovom radu se razmatraju profilna i planarna (MOORE ET AL., 1993.; AYALEW, YAMAGISHI, 2004.).

Analizom DMR-a dobiven je niz vrijednosti zakrivljenosti iz kojeg su izdvojena tri tipa padina: konkavne, konveksne i pravocrtne. Veliki problem predstavljao je odabir metode za određivanje tipa zakrivljenosti. Dikau (1989.) zakrivljenost padina radijusa većeg od 600 m ($k > 0,001666$) na modelu rezolucije 20 m, smatra zanemarivom i takve padine ubraja u pravocrtne. Analogno tome, za korišteni model rezolucije 25 m, pravocrtnim padinama smatraju se padine radijusa većeg od 750 metara.

Granične vrijednosti određene su na sljedeći način:

1. granična vrijednost: vrijednost zakrivljenosti $0 - 0,001333$;
2. granična vrijednost: vrijednost zakrivljenosti $0 + 0,001333$;
3. granična vrijednost: maksimalna vrijednost niza.

Analize zakrivljenosti upućuju na karakter i intenzitet procesa koji djeluju na promjene u izgledu padina (ili njihovih dijelova). Ovakve analize, pogotovo specifične analize profilne i planarne zakrivljenosti, upućuju na područja na kojima dolazi do relativno brzih promjena vrijednosti nagiba padina. U geomorfološkim istraživanjima ove analize mogu se primijeniti za izračunavanje i procjenu trendova endogenih (izdizanje ili spuštanje struktura) i egzogenih geomorfoloških procesa, npr. otjecanja i sedimentacije (pomoću planarne zakrivljenosti) pojačane denudacije i identificiranja otpornijih stijenskih kompleksa (pomoću profilne zakrivljenosti) (KENNELLY, 2009.).

Profilna zakrivljenost odnosi se na zakrivljenost padina (ili njihovih dijelova) duž linija okomitih na izohipse, a njome se određuje stopa promjene nagiba za svaki piksel. Negativna vrijednost upućuje na konveksni uzdužni profil padine, a pozitivna na konkavni, dok vrijednost nula označava linearnu

increases, the curvature decreases, and vice versa. Curvature represents a coefficient of a curve's divergence from a line. It is possible to make an unlimited number of curvatures for a certain point in a three-dimensional space (OHLMACHER, 2007). By using the method of 3×3 squares, curvature is calculated as the second derivative of DMR height values, using the following formula: $Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$. There are several different types of curvature, and this paper discusses profile and planar ones (MOORE ET AL., 1993; AYALEW, YAMAGISHI, 2004).

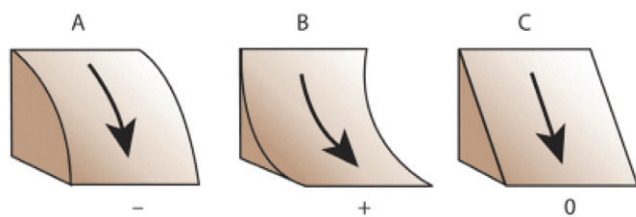
During DMR analysis a number of curvatures' values was calculated, from which three types of slopes were determined: concave, convex and linear. The choice of a method for defining curvatures represented a significant problem. Dikau (1989) considers slope curvatures of radius greater than 600 meters ($k > 0.001666$) on a 20 meter resolution model negligible and categorizes them as linear. Analogously, in models with resolution greater than 25 meters, slopes with radius greater than 750 meters are considered linear.

Limiting values are defined as follows:

- 1st limiting value: curvature value of $0 - 0.001333$;
- 2nd limiting value: curvature value of $0 + 0.001333$;
- 3rd limiting value: maximum curvature value.

Curvature analysis points to characteristics and intensity of processes that cause changes in slopes' (or their parts) appearances. Such analyses, especially profile and planar curvatures analyses, indicate the areas in which changes in inclination values occur relatively fast. In geomorphologic research, these types of analyses can be employed to calculate and evaluate endogenous (raising or sinking) and exogenous geomorphologic processes' trends, such as soil wash and sedimentation (via planar curvature), enhanced denudation, and more resilient rock formations identification (via profile curvature) (KENNELLY, 2009).

Profile curvature refers to slope (or parts of slope) curvature along the lines perpendicular to contours and it is used to define the inclination change rate for each pixel. Negative values point to a convex longitudinal slope profile, while positive values indicate concave profile. The zero value points to a linear slope (Fig. 9). Profile curvature influences the speed of water flow and the speed of detritus movement down the slope.



Slika 9. Profilna zakrivljenost (URL 1)

Figure 9 Profile curvatures (URL 1)

(pravocrtnu) padinu (Sl. 9.). Profilna zakrivljenost utječe na brzinu otjecanja vode, odnosno na brzinu kretanja detritusa niz padinu.

Iz podataka o strukturi profilne zakrivljenosti (Tab. 4.) uočljiva je dominacija konveksnih i konkavnih padina na razini cijelog područja, međutim, bez velike razlike u udjelu (konveksne su nešto dominantnije, s 49,78%, dok udio konkavnih iznosi 47,89%). Pravocrtne padine zastupljene s vrlo malim udjelom (od samo 2,34%), što upućuje na približnu ujednačenost smjerova tektonskih pokreta, i s njima povezanih egzogeomorfoloških procesa.

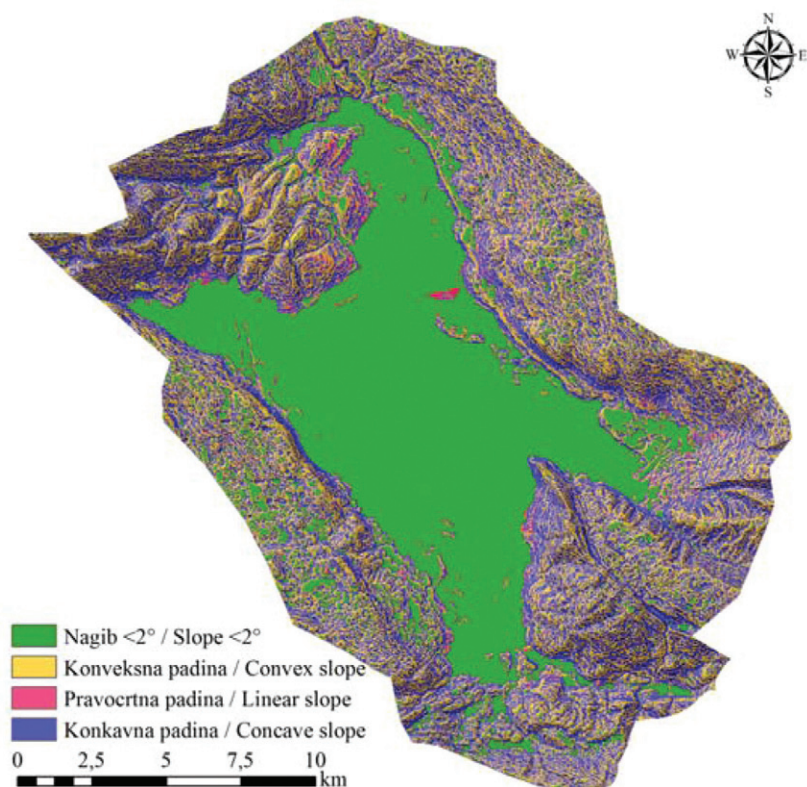
Iz prostornog prikaza tipova profilne zakrivljenosti (Sl. 10.) uočljivo je da konveksne padine prevladavaju na višim dijelovima uzvišenja, osobito uz grebene planinskih masiva i dijelove pobrđa (Lib, Mesihovina, zapadni dio planine Vran, Tušnica i Tomislavgradsko tercijarno pobrđe), uz vršni dio strmog odsjeka na sjeveroistočnom rubu Grabovičke zaravni uz jugozapadni dio Duvanjskog polja, kao i na cijeloj Grabovičkoj zaravni. U slučaju Tušnice, korelacija s geološkim podacima upućuje

Profile curvature data (Tab. 4) shows an evident domination of convex and concave slopes in the entire area. However, there is no significant difference in their ratio (convex slopes are somewhat dominant, making up for 49.78%, while concave make up for 47.89%). Linear slopes are represented by a very small portion (only 2.34%), which indicates approximate balance between different tectonic movements' directions and exogeomorphological processes that usually follow.

On the profile curvatures map (Fig. 10) it is noticeable that convex slopes dominate higher parts of mountains, especially near the ridges and some parts of hillsides (Lib, Mesihovina, western part of Vran Mountain, Tušnica and tertiary Tomislavgrad hills), near the steep cliff peaks of the Grabovica plateau at the southwestern part of the Polje, and on the entire Grabovica plateau. In the case of Tušnica, correlation with geological data indicates intensive positive neo-tectonic movement, which is supported by fresh-

Tablica 4. Tipovi i prostorni obuhvat profilne zakrivljenosti
Table 4 Different types and spatial coverage of profile curvature

Padine	Površina (m ²)	Udio (%)
Konveksne	118866400,0	49,78
Pravocrtne	5580400,0	2,34
Konkavne	114355600,0	47,89
Ukupno	238802400,0	100,00
Slopes	Area (m ²)	Coverage (%)
Convex	118,866,400.0	49.78
Linear	5,580,400.0	2.34
Concave	114,355,600.0	47.89
Total	238,802,400.0	100.00



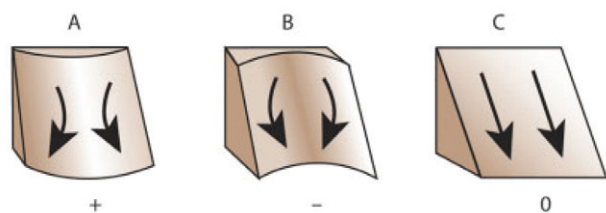
Slika 10. Karta profilne zakrivljenosti padina
Figure 10 The map of profile slope curvature

na intenzivno djelovanje neotektonskih pokreta pozitivnog predznaka, što potvrđuje i položaj slatkovodnih lapora miocenske starosti na većim visinama. U skladu s time su i značajke morfoloških procesa, oblici i nagibi padina. Također, veliki areali konveksnih padina nalaze se na JI dijelu planine Ljubuše, prateći skretanje tektonskih struktura iz smjera SZ – JI u Z – I. Osobito izražena zona konveksnih padina proteže se uz viši dio linearno izdužene "grede" duž cijelog SI dijela Duvanjskog polja te uz više dijelove kanjonskih strana Šujice na sjevernom dijelu istraživanog područja (Sl. 10.).

Za razliku od konveksnih, konkavne padine dominiraju na nižim dijelovima padina, uz rasjedne linije na cijelom istraživanom području, te uz niže dijelove bočnih strana jaruga planinskih masiva (Sl. 10.). To se može uočiti na nižim dijelovima uz kanjon Šujice, uz rasjednu liniju

water Miocene marl position in higher areas. Morphological processes' characteristics, shapes and inclinations of slopes are in accordance with the aforementioned. In addition, relatively large areas of convex slopes are located in southeastern parts of Ljubuša Mountain, following the tectonic structures curve from northwest - southeast to west - east direction. An especially prominent zone of convex slopes stretches along higher parts of the linearly elongated "Greda" (*The Wall*) along the southeastern part of Duvanjsko polje, and along higher parts of Šujica canyon sides in the northern part of the researched area (Fig. 10).

Unlike convex slopes, concave ones mostly dominate lower parts of slopes, along the fault lines in the entire researched area and in lower parts of mountain valleys lateral sides (Fig. 10). This is particularly noticeable in lower parts of Šujica



Slika 11. Planarna zakrivljenost (URL 2)

Figure 11 Planar curvatures (URL 2)

koja razdvaja Tušnicu i Jelovaču, uz rasjed između sjevernih dijelova zapadnih padina Vran planine i Ljubuše i uz rasjed koji se lučno proteže cijelim središnjim područjem Liba u smjeru SZ – JL.

Profilne pravocrtne padine najzastupljenije su na dijelovima mladog tercijarnog Tomislavgradskog pobra bližim Duvanjskom polju, na svim hipsometrijskim nivoima, tj. ne pokazuju pravilnost u vertikalnom rasporedu (Sl. 10.). Također, mogu se naći u krajnjem JL dijelu Grabovičke zaravni koji se stepenasto spušta prema polju, na nižim dijelovima zapadnih padina Liba te na blago položenim (nagib 2–5°) SZ padinama oblikovanim u stijenama kredne starosti na području kontakta Ljubuše i krajnjega zapadnog dijela Vrana.

Planarna zakrivljenost odnosi se na zakrivljenost padine u sekanti izohipse okomitoj na smjer najvećeg nagiba. Pozitivna vrijednost ukazuje na konveksni oblik padine, a negativna na konkavni, dok nulta vrijednost označava linearnu (pravocrtnu) padinu (Sl. 11.). Kada je zadani smjer okomit na smjer najvećeg nagiba (horizontalna sekanta izohipse), tada se modelom zakrivljenosti padina mogu procjenjivati divergencija (konveksne, izbočene padine) odnosno konvergencija (konkavne, udubljene padine) hipotetskog otjecanja (a time i lokalne ocjeditosti ili vlažnosti tla na padini) (ANTONIĆ, 1996.). Konvergentno otjecanje povezano je s procesima akumulacije vode, tla ili detritusa, a divergentno otjecanje uz derazijske procese spiranja, puzanja, jaruženja i bujičenja.

Iz podataka o strukturi planarne zakrivljenosti (Tab. 5.) uočljiva je dominacija konveksnih i konkavnih padina u odnosu na pravocrtne, na razini cijelog područja, s dominacijom konveksnih (52,10%) u odnosu na konkavne padine (44,04%). Pravocrtne padine imaju mali udio, od samo 3,86%. To znači da je na razini

canyon, along the fault line separating Tušnica and Jelovača, along the fault between north section of Vran and Ljubuša Mountain western slopes, and along the fault that curves northwest-southeast along the central Lib Mountain area.

Profile linear slopes are most frequent near the geologically new, Tertiary Tomislavgrad hills closer to the Polje at all the observed height levels i.e. they do not show a specific pattern of vertical occurrence (Fig. 10). They can also be found in the far southeast part of the Grabovica plateau, which gradually descends towards the Polje, on lower levels of Lib Mountain western slopes and the low-inclined (2-5°) northwestern slopes of Cretaceous period at the contact between Ljubuša and far west end of Vran Mountain.

Planar curvature denotes a slope's curvature on the secant line perpendicular to direction of the greatest inclination. A positive value indicates a convex shape of the slope, while negative indicates a concave shape. A zero value indicates a linear slope (Fig. 11). If the given direction is perpendicular to the direction of the greatest inclination (the horizontal secant line of a contour line), then, using the slope curvature model, it is possible to evaluate divergence (convex slopes) or convergence (concave slopes) of a hypothetical water flow (and, by extension, local water flow features and soil humidity) (ANTONIĆ, 1996). Convergent flow is related to water, soil and detritus accumulation processes, while divergent flow is related to the processes of soil wash, creep, sinking and gully erosion.

From the data that refer to the planar curvature (Tab. 5) it is evident that convex and concave slopes dominate, when compared to linear ones, in all of the researched area. Convex slopes are predominant (52.10%), even compared to concave slopes (44.04%). Linear slopes make up a very small portion of only 3.86%. This means that

Tablica 5. Tipovi i prostorni obuhvat planarne zakrivljenosti
 Table 5 Different types and spatial coverage of planar curvature

Padine	Površina (m ²)	Udio (%)
Konveksne	124412800,0	52,10
Pravocrtne	9210400,0	3,86
Konkavne	105179600,0	44,04
Ukupno	238802800,0	100,000
Slopes	Area (m ²)	Coverage (%)
Convex	124,412,800.0	52.10
Linear	9,210,400.0	3.86
Concave	105,179,600.0	44.04
Total	238,802,800.0	100.00

cijelog područja prisutna dominacija divergentnog u odnosu na konvergentno otjecanje površinske vode odnosno denudacijskih procesa u odnosu na akumulacijske.

Područja izraženog divergentnog otjecanja mogu se uočiti na karti planarne zakrivljenosti padina (Sl. 12.). Radi se uglavnom o vršnim dijelovima i područjima hrptova između jaruga na padinama planinskih masiva, na svim hipsometrijskim nivoima. Prostranije zone planarne konveksne zakrivljenosti osobito su istaknute na području Tomislavgradskog mladog tercijarnog pobrđa i južnih padina Tušnice, što se može dovesti u vezu s njihovim litološkim sastavom. Naime radi se o konglomeratima, pješčenjacima i laporima, laporima s konglomeratima i laporovitim vapnencima paleogenske i neogenske starosti, podložnijim denudacijskim procesima. Također, prostranije zone ovoga tipa planarne zakrivljenosti nalaze se na području zapadnog dijela planine Lib, uz više dijelove padina krajnjeg SI dijela Grabovičke zaravni okrenutih prema Duvanjskom polju (na kojima prevladava kategorija nagiba od 32 do 55°), te na području Vran planine.

Na velikim dijelovima istraživanog područja zone konveksne i konkavne planarne zakrivljenosti nalaze se u izmjeni na malim udaljenostima, s približno jednakim omjerima. Osobito je to izraženo na područjima Grabovičke zaravni i dijelova Ljubuše bližih Duvanjskom polju (Sl. 12.).

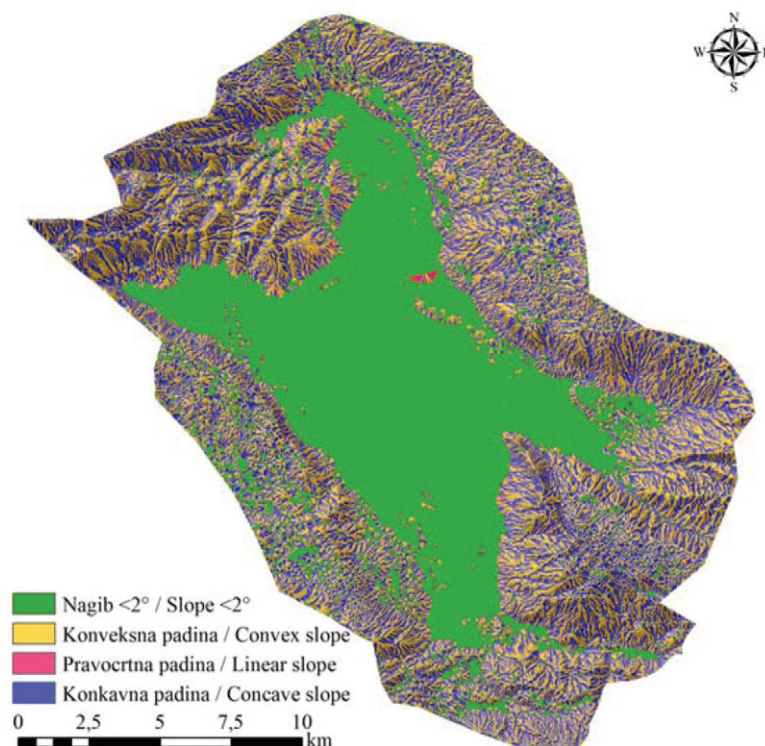
Dominacija konkavne planarne zakrivljenosti karakteristična je za područje vapnenačke zaravni između centralnog grebena Liba i njegove SI padine

the whole area is characterized by domination of divergent water flow and denudation processes.

Areas of pronounced divergent flow are noticeable on the planar curvature map (Fig. 12). This primarily refers to peaks and ridges between gullies on mountains slopes on all the observed height levels. Wider areas of planar convex curvature are especially pronounced around Tomislavgrad hills dating from Tertiary and southern slopes of Tušnica, which can be related to their lithological structure. In fact, in their base these areas consist of conglomerates, sandstone and marl, marl with conglomerates, and marl limestone from Paleogene and Neogene, which are more susceptible to denudation. Also, wider areas of this planar curvature type are found in western areas of Lib Mountain, in higher parts of far southeast slopes of the Grabovica plateau oriented towards the Duvanjsko polje (in which 32-55° inclination category prevails), and on Vran Mountain.

Interchanging zones of convex and concave planar curvature can be found in great portion of the researched area, with approximately the same ratios. This is especially evident on the Grabovica plateau and in parts of Ljubuša Mountain closer to Duvanjsko polje (Fig. 12).

Domination of concave slope curvature is characteristic for limestone plateau area between the Lib Mountain central ridge and its northeastern slope, and for the limestone plateau area in the eastern part of Ljubuša Mountain located farther away from Duvanjsko polje. The reason for this



Slika 12. Karta planarne zakrivljenosti padina
Figure 12 The planar slope curvature map

te za područje vapnenačke zaravni u istočnom dijelu Ljubuše, udaljenijem od Duvanjskog polja. Razlog tome vjerojatno je veća gustoća ponikava i mala zastupljenost uvala na tim područjima (za razliku od Grabovičke zaravni, gdje se, uz ponikve, nalazi i veći broj prostranijih uvala), što za posljedicu ima manje površine konveksnih međuprostora divergentnog otjecanja između ponikava (Sl. 12.).

Planarne pravocrtne padine imaju sličan prostorni raspored kao i profilne, tj. nalaze se na području mladog tercijarnog Tomislavgradskog pobrađa, i to na dijelovima bližim Duvanjskom polju, na krajnjem JI stepenastom dijelu Grabovičke zaravni, na nižim dijelovima zapadnih padina Liba te na sjevernim padinama zapadnog dijela Vran planine, uz kontakt s Ljubušom (Sl. 12.).

probably lies in greater density of dolines and lesser number of uvalas in such areas (as opposed to the Grabovica plateau, which features a greater number of spacious uvalas as well as dolines), which results in a smaller number of convex surfaces with divergent water flow in between dolines (Fig. 12).

Planar linear curvatures show similar spatial distribution as profile curvatures, i.e. they can be found in Tertiary areas of Tomislavgrad hills (primarily near the areas closer to Duvanjsko polje), in far southeast parts of Grabovica plateau, on lower levels of western Lib Mountain, and on northern slopes of western Vran Mountain, near the contact zone with Ljubuša (Fig. 12).

Diskusija

Morfometrijska analiza reljefa primijenjena u ovom radu uključila je korištenje različitih metoda za precizno računanje numeričkih parametara reljefa istraživanog područja, što je omogućilo međusobnu korelaciju navedenih parametara, ali i korelaciju s kartom tektonskih jedinica i geološkom kartom. Cilj ovakvog pristupa je egzaktnija interpretacija morfometrijskih parametara reljefa kao indikatora značajki endogenih i egzogenih procesa na istraživanom području.

Na istraživanom području dominiraju nagibi padina manji od 2° kao posljedica dominacije pretežito zaravnjenog reljefa Duvanjskog polja. Manja izolirana područja ove kategorije javljaju se unutar rubnog planinskog okvira polja, na korozijskim terasama, zaravnima, vršnim dijelovima planinskih hrptova i masiva, te ponikvama. Značajan je i udio kategorija nagiba od 5° do 12° i od 12° do 32° , koje se javljaju uglavnom na padinama planinskih masiva (osobito uz kontaktne dijelove s poljem). S porastom visine dolazi do sve većeg udjela kategorija od 12° do 32° i $> 55^\circ$. Mjestimično, uz dominantne aktivne rasjedne linije, kategorija nagiba $> 55^\circ$ zapaža se na dijelovima padinskih strana uz kanjonska suženja (kanjon Šujica i područje JI od Kongore), bočne strane ponikava, uvala ili japaga (područje Grabovičke zaravni).

Dominacija ekspozicija padina prema južnom kvadrantu (JZ, J i JI), zbog većih dnevnih i sezonskih temperaturnih amplituda, upućuje na povoljne uvjete za nastanak i razvoj egzogeomorfoloških destruktivskih procesa na velikom dijelu područja. Osim toga, dugotrajnije kratkovalno Sunčevo zračenje na padinama eksponiranim prema južnom kvadrantu posredno utječe i na povećanje evapotranspiracije i nestašicu vode (osobito na područjima gdje je u podlozi vapnenac), a posljedica je smanjenje obuhvata i broja biljnih vrsta na padinama, odnosno rjeđa vegetacija.

Značajke profilne zakrivljenosti padina s nešto većim udjelom konveksnih u odnosu na konkavne padine upućuje na donekle izraženiju komponentu izdizanja terena. S obzirom na to da razlike nisu velike, može se zaključiti da unutar područja u cjelini postoji približno ujednačeno izdizanje i spuštanje tektonskih struktura. Spuštanje je osobito izraženo na kontaktnim područjima polja i okolnog planinskog okvira na što upućuje dominacija profilnih konkavnih padina i veće vrijednosti nagiba. To je potvrdila i usporedba

Discussion

The morphometric terrain analysis used in this research included a number of different methods for precise calculation of the researched area's numeric relief parameters, which enabled relative correlation of those parameters as well as correlation with the map of tectonic units and geological map. The aim of this approach is a more exact interpretation of morphometric terrain parameters as endogenous and exogenous processes indicators in the researched area.

The researched area is dominated by slopes with $< 2^\circ$ inclination, which are the result of mostly flattened terrain of Duvanjsko polje. Smaller, isolated areas belonging to this category are found within the mountainous rim of the Polje, on corrosion terraces, plateaus, higher parts of mountains and mountain ridges, and, finally, dolines. The portion of 5° - 12° and 12° - 32° categories, which can primarily be found at mountain slopes (especially near the contact zones with the polje), is rather significant. As the height increases, categories of 12° - 32° and $> 55^\circ$ occur more frequently. Near dominant active fault lines category of $> 55^\circ$ sporadically appears and can be found on canyon slopes (Šujica canyon and southeast Kongora area) and along sides of karst dolines and uvalas (the Grabovica plateau).

Domination of southern slope aspects (southwest, south and southeast) due to higher daily and seasonal temperature amplitudes points to positive conditions for exogeomorphological destructive processes emergence and development in most of the researched area. In addition, long-term shortwave radiation on southward exposed slopes indirectly affects evaporation and transpiration increase as well as water shortage (especially in areas with limestone in their base), which results in the decrease of plants' size and number on the slopes, i.e. scarcer vegetation.

Profile slope curvature characteristics, which show a somewhat greater portion of convex slopes, indicate a more pronounced upward terrain movement. Considering that the differences are not significant, it can be concluded that tectonic processes of raising and sinking are rather balanced in the researched area. Sinking is especially evident near the contact areas between the Polje and its surrounding mountainous rim, which is indicated by domination of profile concave slopes and greater inclination values. Sinking was also confirmed by parameter comparison of profile

parametra profilne zakrivljenosti s kartom nagiba, tektonskom i geološkom kartom. S druge strane, rubni planinski okvir polja u procesu je izdizanja (izraženija dominacija konveksnih padina u odnosu na konkavne u odnosu na prosjek cijelog područja). To vrijedi za Ljubušu, Grabovičku zaravan (s Midenom planinom), Tomislavgradsko pobrđe, Jelovaču i zapadne padine Vrana. Dakle radi se gotovo o cijelom planinskom okviru polja (osim Liba, Tušnice i Mesihovine). Općenito gledajući, značajke neotektonskih pokreta vrlo su složene te ih je potrebno detaljnije analizirati na razini manjih orografskih ili strukturnih jedinica.

Što se tiče značajki planarne zakrivljenosti, još je izraženija dominacija konveksnih u odnosu na konkavne padine, što upućuje na intenzivnije djelovanje egzogenih morfoloških destruktivnih procesa u odnosu na akumulacijske. Površine s velikim udjelom planarne konveksne zakrivljenosti najizraženije su na području Tomislavgradskog tercijarnog pobrđa, Tušnice i Vran planine iz čega se može zaključiti da je na navedenim područjima najizraženije djelovanje egzogenih destruktivskih procesa. Tome pridonosi i litološki sastav, tj. veliki udio dolomita (Tušnica i Vran) i lapora s konglomeratima (Tomislavgradsko pobrđe) kao i mjestimično veći nagibi (Tušnica, Vran) i/ili ekspozicije južnog kvadranta. Slično značajkama profilne zakrivljenosti, i kod planarne je prisutna velika složenost unutar cijelog istraživanog područja te je potrebna detaljnija analiza i usporedba na razini manjih orografskih ili strukturnih jedinica.

Zaključak

Primjenjivost morfometrijske analize provedene u ovom radu temelji se na njezinu sintetičkom karakteru, jer su svi morfometrijski, litološki i strukturni parametri, kao reprezentanti utjecaja endogenih i/ili egzogenih morfoloških procesa, dovedeni u međusobnu vezu. Na taj način moguće je izdvojiti područja različitih značajki endogenih i egzogenih morfoloških procesa, a korelacija s tektonskom i litološkom kartom omogućuje dodatnu verifikaciju utvrđenih činjenica vezanih uz značajke navedenih procesa. Na taj način moguća je procjena recentnog stanja dinamičke stabilnosti reljefa, što može biti od velike praktične važnosti gotovo za sve aspekte ljudske djelatnosti na istraživanom području.

curvature with the inclination map, tectonic map and geological map. On the other hand, the Polje's mountainous rim is in the process of upward movement (domination of convex slopes in relation the whole area's average). This refers to Ljubuša Mountain, the Grabovica plateau (with Miden Mountain), Tomislavgrad hills, Jelovača and western Vran Mountain slopes. Evidently, this almost encompasses the entire mountainous rim except Lib, Tušnica and Mesihovina. Generally, characteristics of neo-tectonic movements are very complex and require a more detailed analysis on the level of smaller orographic or structural units.

As for planar curvature characteristics, domination of convex slopes is even more evident in comparison to concave ones, which indicates intensified activity of exogenous morphological destructive processes in comparison to accumulation processes. Areas with greater proportion of planar convex curvature are most prominent around Tomislavgrad Tertiary hills, Tušnica and Vran Mountain, which leads to conclusion that in those areas exogenous destructive processes are very prominent. This is further reinforced by the areas' lithological structure i.e. large proportion of dolomite (Tušnica and Vran) and marl conglomerates (Tomislavgrad hills), along with greater inclinations (Tušnica, Vran) and/or the southern quadrant aspect. Similar to profile curvature characteristics, the planar curvature is also rather complex in the entire researched area and requires further analysis and comparison at smaller orographic and structural units' level.

Conclusion

Applicability of morphometric analysis used in this research is based on its synthetic character, since all the morphometric, lithological and structural parameters, as representatives of endogenous and exogenous morphological processes' influences, have been mutually related. This enabled the identification of certain areas of various endogenous and exogenous morphological processes, while correlation with geological and lithological maps enabled additional verification of the results related to the aforementioned processes' features. In this manner, it is possible to evaluate the recent condition of the relief's dynamic stability, which can be of great practical importance for almost all aspects of anthropogenic activities in the researched area.

LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- ANTONIĆ, O. (1996): *Modeli utjecaja topoklime na vegetaciju krša*, Doktorska disertacija, Biološki odsjek PMF-a, Sveučilište u Zagrebu, 125.
- ACKERMANN, F. (1994): *Digital Elevation Models - Techniques and Application, Quality Standards, Development*, Proceedings of the Symposium Mapping and Geographic Information Systems, ISPRS, USA, 30, 421-432.
- AYALEW, L., YAMAGISHI, H. (2004): *Slope failures in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective*, *Geomorphology*, 57, 95-116.
- BOGNAR, A. (1990): *Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reljefa*, *Geografski glasnik*, 52, Zagreb, 49-65.
- BURROUGH, P., A., McDONELL, R., A. (1998): *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, New York, 190.
- ČIČIĆ, S. (2002): *Geološki sastav i tektonika BiH*, Earth Science Institute, Sarajevo.
- DE LEEUW, A., MANDIĆ, O., KRIJGSMAN, W., KUIPER, K., HRVATOVIĆ, H. (2011): *A chronostratigraphy for the Dinaride Lake System deposits of the Livno-Tomislaugrad Basin: the rise and fall of along-lived lacustrine environment*, *Stratigraphy*, 8/1, 29-43.
- DIKAU, R. (1989): *The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology*, In: *Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems*, Ed. J. Raper, Taylor and Francis, Chichester, 51-77.
- DIKAU, R., RASEMANN, S., SCHMIDT, J. (2004): *Hillslope Form*, In: *Encyclopedia of Geomorphology*, Ed. A. Goudie, Vol. 1, Routledge, London, 516-521.
- EVANS, I., S. (1972): *General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics*, In: *Spatial Analysis in Geomorphology*, Ed. R., J. Chorley, Methuen, London, 17-90.
- EVANS, I., S. (1980): *An integrated system for terrain analysis for slope mapping*, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36, 274-295.
- FRANKLIN, S., E. (1987): *Geomorphometric processing of digital elevation models*, *Computers & Geosciences*, 13/6, 603-609.
- GANAS, A., PAVLIDES, S., KARASTATHIS, V. (2005): *DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates*, *Geomorphology*, 65, 301-319.
- IGU – Commission on applied geomorphology, subcommission on geomorphological mapping (1968): *The unified key to the detailed geomorphological map of the world*, 1: 25000 – 1: 50000, *Folia geografica*, series geographica-physica, 2, Krakow.
- JORDAN, G., CSILLAG, G. (2001): *Digital terrain modelling for morphotectonic analysis: A GIS framework*, In: *DEM-s and Geomorphology*, Ed. H. Ohmori, Special Publication of the Geographic Information Systems Association, Nihon University, Tokyo, 60-61.
- KENNELLY, P., J. (2009): *Hill-Shading Techniques to Enhance Terrain Maps*, 24th International Cartographic Conference, Santiago de Chile.
- KIRKBY, M. (2004): *Aspect and Geomorphology*, *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol. 1, Routledge, London, 34-36.
- LEPİRICA, A. (2009): *Reljef geomorfoloških regija Bosne i Hercegovine*, *Zbornik radova PMF-a, svezak geografija*, 6/6, Tuzla, 7-52.
- LI, Z., ZHU, Q., GOLD, C. (2005): *Digital Terrain Modeling*, CRC Press, London, 323.
- MACMILLAN, R., A., SHARY, P., A. (2009): *Landforms and Landform Elements in Geomorphometry*, In: *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science*, Eds. T. Hengl, H. I. Reuter, Elsevier, 227-256.
- MARKOVIĆ, M. (1983): *Osnovi primenjene geomorfologije*, Geoinstitut, Posebna izdanja, knjiga 8, Beograd, 172.
- MEYER, W. (1985): *Concepts of Mathematical Modelling*, McGraw-Hill Book Company, New York.

- MOORE, I., D., LEWIS, A., GALLANT, J., C. (1993): *Terrain attributes: estimation methods and scale effects*. In: Modeling Change in Environmental Systems, Eds. A. J. Jakeman, M. B. Beck, M. J. Mcaleer, New York, John Wiley and Sons, 189-214.
- OHLMACHER, G., C. (2007): *Plan curvature and landslide probability in regions dominated by earth flows and earth slides*, Engineering Geology, 91/2-4, 117-134.
- OLAYA, V. (2009): *Basic land surface parameters*, In: Geomorphometry – Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science, Eds. T. Hengl, H. I. Reuter, Elsevier, 33, 141-169.
- PAPEŠ, J. (1967): *Tumač OGK, list Livno*, Savezni geološki zavod, Beograd.
- PAPEŠ, J. (1985): *Geologija jugozapadne Bosne (Geology of the southwestern Bosnia)*. – Geol. Glasnik, Pos. izd. (Spec. Publ.), 19, Sarajevo, 197.
- PAPEŠ, J., RAIĆ, V. (1968): *Tumač OGK, list Imotski*, Savezni geološki zavod, Beograd.
- PIKE, R., J., EVANS, I., S., HENGL, T. (2009): *Geomorphometry: A Brief Guide*, In: Geomorphometry – Concepts, Software, Applications, Developments in Soil, Eds. T. Hengl, H. I. Reuter, Elsevier, 3-30.
- ROGLIĆ, J. (1940): *Geomorphologische studie uber das Duwanjsko polje (polje von Duvno) in Bosnien*, Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft, Wien.
- SMITH, M., J., CLARK, C., D. (2005): *Methods for the visualisation of digital elevation models for landform mapping*, Earth Surface Processes and Landforms, 30/7, 885-900.
- ŠEGOTA, T., FILIPČIĆ, A. (1996): *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb, 452.

IZVORI / SOURCES

- Topografska karta 1:25000, list 523-1-4 (Galečić), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-2-3 (Zvirnjača), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-3-1 (Golinjevo), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-3-2 (Duvno), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-3-4 (Roško polje), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-4-1 (Kongora), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-4-2 (Vran-planina-zapad), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-4-3 (Mesihovina), VGI, Beograd, 1976.
- Topografska karta 1:25000, list 523-4-4 (Poglečani), VGI, Beograd, 1976.
- URL1: http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Oct10Images/Curvature_profile.png
- URL2: http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Oct10Images/Curvature_plan.png

