

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOGRAFSKI ODSJEK

PRAKTIKUM IZ GEOMORFOLOGIJE
DIO I
MORFOMETRIJA

Vježbe iz geomorfologije, 2025./2026.

Voditelj vježbi: Marin Mićunović

O vježbama iz geomorfologije

U ovim vježbama reljef ćete analizirati na dva načina: analogno, radom na topografskoj karti, i digitalno, primjenom GIS-a i digitalnih modela reljefa. Iako se danas veliki dio geomorfoloških analiza provodi digitalnim alatima, važno je da najprije naučite razumjeti reljef izravno s karte. Radom na topografskoj karti učite čitati izohipse, prepoznavati vrhove, doline, grebene i padine te povezivati raspored izohipsi s reljefom. Na taj način razvijate sposobnost prostorne interpretacije reljefa i učite prepoznavati geomorfološke procese koji se često teže uočavaju kada se analiza svodi samo na automatske rezultate digitalnih alata.

Analogni rad na karti omogućuje vam da reljef doslovno „doživite“ kroz njegovu strukturu. Kada sami određujete visinske razlike, nagibe, vertikalnu raščlanjenost ili izrađujete profile, postupno razvijate osjećaj za razumijevanje reljefa. S druge strane, u GIS-u se iste analize provode digitalno pomoću rastera digitalnog modela reljefa. Program tada automatski računa vrijednosti nagiba, hipsometrije ili vertikalne raščlanjenosti na temelju promjena visine između susjednih ćelija. Međutim, važno je razumjeti da se u pozadini digitalnih analiza primjenjuju isti principi koje koristite i u analognom radu. Nagib se i dalje računa iz odnosa visinske razlike i udaljenosti, vertikalna raščlanjenost iz razlike između najviše i najniže točke, a hipsometrija iz raspodjele površine prema nadmorskim visinama, samo što GIS te postupke provodi automatski nad velikim skupovima podataka.

Zbog toga je kombiniranje analognog i digitalnog pristupa posebno važno. Kada naučite analizirati reljef na topografskoj karti, lakše ćete razumjeti rezultate GIS analiza i kritičnije interpretirati digitalne modele reljefa. Analogni rad razvija vaše razumijevanje prostora, dok digitalni alati omogućuju bržu i detaljniju obradu podataka. U geomorfološkoj analizi te dvije metode ne suprotstavljaju se jedna drugoj, nego se međusobno nadopunjuju: analogni pristup razvija geomorfološko mišljenje, a digitalni pristup proširuje mogućnosti analize reljefa.

Glavni aspekti istraživanja u geomorfologiji (prema Pavlopoulos i dr., 2019.)

Geomorfologija je znanstvena disciplina koja proučava reljef Zemljine površine, procese koji ga oblikuju te razvoj reljefa kroz vrijeme. Reljef nastaje kao rezultat dugotrajnog djelovanja različitih endogenih i egzogenih procesa. Ti procesi djeluju u različitim prostornim i vremenskim razmjerima te međusobnim djelovanjem oblikuju reljef Zemljine površine.

Kako bi se reljef mogao sustavno istraživati, razvijen je niz analitičkih pristupa koji omogućuju različite perspektive proučavanja reljefa. U geomorfološkoj metodologiji često se razlikuju osnovni aspekti istraživanja: morfografija, morfogeneza, morfokronologija, morfodinamika i morfometrija. Takva podjela omogućuje cjelovit pristup analizi reljefa jer uključuje njegov opis, genezu, starost, dinamiku i kvantitativne karakteristike (Pavlopoulos i dr., 2009).

U suvremenim geomorfološkim istraživanjima upravo kombinacija ovih pristupa omogućuje razumijevanje složenih odnosa između reljefnih oblika i procesa koji ih oblikuju.

Morfografija

Morfografija se odnosi na opis izgleda i oblika reljefnih oblika. Ovaj pristup temelji se na detaljnom opisivanju geomorfoloških oblika, njihovih dimenzija, prostornog rasporeda i međusobnih odnosa u krajoliku. Morfološki pristup predstavlja temeljnu fazu geomorfološke analize jer omogućuje identifikaciju osnovnih reljefnih jedinica i njihovu klasifikaciju. Takva analiza često uključuje interpretaciju topografskih karata, digitalnih modela reljefa, zračnih fotografija i satelitskih snimaka. Morfografska analiza omogućuje identifikaciju brojnih reljefnih oblika kao što su doline, planinski grebeni, zaravni, riječna korita, obalni ili kršk oblici i sl. Precizno kartiranje i opis tih oblika predstavlja važan korak u geomorfološkim istraživanjima jer pruža osnovu za razumijevanje procesa koji su oblikovali određeni krajolik.

Morfogeneza

Morfogeneza proučava nastanak i razvoj reljefnih oblika te procese koji su odgovorni za njihovo formiranje. U okviru morfogenetske analize istražuje se kako različiti geomorfološki procesi djeluju na površinu Zemlje i stvaraju karakteristične reljefne oblike.

Reljefni oblici mogu nastati djelovanjem različitih geomorfoloških procesa, među kojima su:

- fluvijalni procesi (djelovanje vodotokova)
- glacijalni procesi (djelovanje ledenjaka)
- krški procesi (otapanje karbonatnih stijena)
- padinski procesi (gravitacijsko kretanje materijala na padinama)
- eolski procesi (djelovanje vjetrova)
- marinski procesi (valovi i morske struje)
- antropogeni (utjecaj čovjeka)

Razumijevanje geneze reljefa ključno je za interpretaciju geomorfološke evolucije krajolika jer većina reljefnih oblika predstavlja rezultat dugotrajnog djelovanja više različitih procesa koji djeluju u različitim klimatskim i geološkim uvjetima. U mnogim slučajevima reljefni oblici nastaju kombinacijom više procesa koji djeluju simultano ili sukcesivno.

Morfokronologija

Morfokronologija se bavi određivanjem starosti reljefnih oblika i geomorfoloških procesa. U geomorfološkim istraživanjima često je važno utvrditi kada su određeni reljefni oblici nastali i kako su se razvijali kroz vrijeme.

U tom kontekstu razlikuju se dvije osnovne vrste starosti reljefnih oblika:

- **relativna starost**, koja se određuje usporedbom različitih reljefnih oblika i njihovih odnosa
- **apsolutna starost**, koja se određuje pomoću geokronoloških metoda.

Metode koje se koriste u morfokronološkim istraživanjima uključuju stratigrafsku analizu, radiometrijsko datiranje, datiranje sedimenata i analizu geomorfoloških površina.

Takva istraživanja posebno su važna u proučavanju kvartarne geomorfologije i klimatskih promjena jer omogućuju rekonstrukciju paleookoliša kroz recentno vrijeme. Pogledati radove prof. Faivre (npr. 2013., 2019., 2021., 2024. i dr.)

Morfodinamika

Morfodinamika proučava aktivne geomorfološke procese koji trenutno oblikuju reljef. Ovaj pristup usmjeren je na razumijevanje dinamike krajolika i promjena koje se događaju. Procesi su povezani s određenim morfogenetskim tipovima reljefa.

Geomorfološki procesi koji oblikuju reljef uključuju:

- eroziju
- transport sedimenta
- akumulaciju sedimenta
- gravitacijske procese
- abraziju
- koroziju i dr.

Reljef se može promatrati kao dinamični sustav (geomorfološki sustav) u kojem različiti procesi djeluju istovremeno, oblikuju reljefne oblike i međusobno su povezani kroz složene interakcije. Morfodinamička istraživanja često uključuju mjerenja brzine erozije, transporta sedimenta i promjena reljefnih oblika kroz vrijeme, a njihovi rezultati imaju važnu primjenu u npr. procjeni prirodnih prijetnji, ranjivosti, osjetljivosti, poput klizišta, poplava ili obalne erozije.

Morfometrija

Morfometrija predstavlja kvantitativnu analizu reljefa i temelji se na mjerenju različitih geomorfoloških parametara. Ovaj pristup omogućuje objektivno opisivanje reljefnih oblika pomoću matematičkih i statističkih metoda. U geomorfologiji ona omogućuje da se reljef ne opisuje samo kvalitativno, nego i da se mjeri, uspoređuje i analizira pomoću brojčanih pokazatelja. Upravo zato morfometrija zauzima posebno mjesto u suvremenoj geomorfologiji: ona povezuje opis reljefa s procesima koji ga oblikuju, ali i s metodama kartiranja, modeliranja i interpretacije.

U širem smislu, morfometrija obuhvaća mjerenje geometrije reljefa, njegovih visinskih odnosa, nagiba, zakrivljenosti, prostorne organizacije i topoloških odnosa među reljefnim oblicima. U novijoj literaturi često se koristi i termin geomorfometrija, osobito kada je riječ o računalnoj obradi digitalnih modela reljefa, čiji je razvoj snažno proširio mogućnosti morfometrijskih analiza, ali se temeljna ideja nije promijenila: cilj je i dalje kvantitativno opisati površinu i iz nje izvesti geomorfološki smislene pokazatelje.

Morfometrijske analize uključuju mjerenje parametara kao što su:

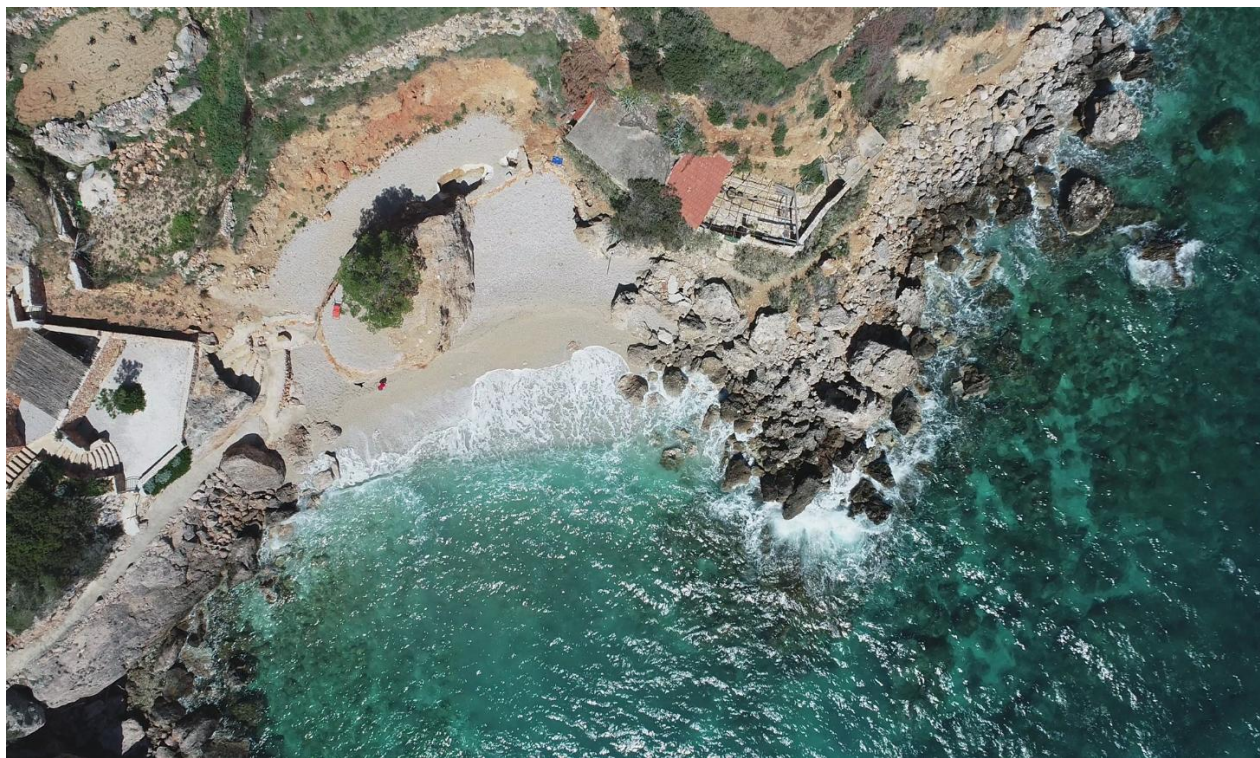
- nadmorska visina
- nagib padina
- orijentacija padina
- vertikalna i horizontalna raščlanjenost reljefa
- površina, opseg, dubina i sl.

Kvantitativni pristupi u geomorfologiji predstavljaju važan alat za razumijevanje odnosa između geomorfoloških procesa i reljefnih oblika. Razvoj digitalnih modela reljefa i geografskih informacijskih sustava (GIS) dodatno je proširio mogućnosti morfometrijskih analiza, omogućujući detaljnu analizu reljefa na različitim prostornim razinama.

Opći i specifični pristup u morfometriji

Jedna od najvažnijih teorijskih podjela u morfometriji jest ona na opću i specifičnu geomorfometriju (Evans, 1972). Opća geomorfometrija bavi se kontinuiranom kopnenom površinom kao cjelinom te analizira opća svojstva reljefa, kao što su visina, nagib, ekspozicija i zakrivljenost. Specifična geomorfometrija bavi se diskretnim reljefnim oblicima ili njihovim dijelovima, primjerice dolinama, jarugama, hrptovima, ponikvama, žalima ili sl.

PRIMJER 1: Na temelju priložene fotografije analizirajte obalni reljef koristeći glavne aspekte istraživanja u geomorfologiji. Promatrajte reljefne oblike i procese te pokušajte interpretirati njihov nastanak i razvoj.



Sl.1. Snimka iz zraka – obalni reljef (Hvar)

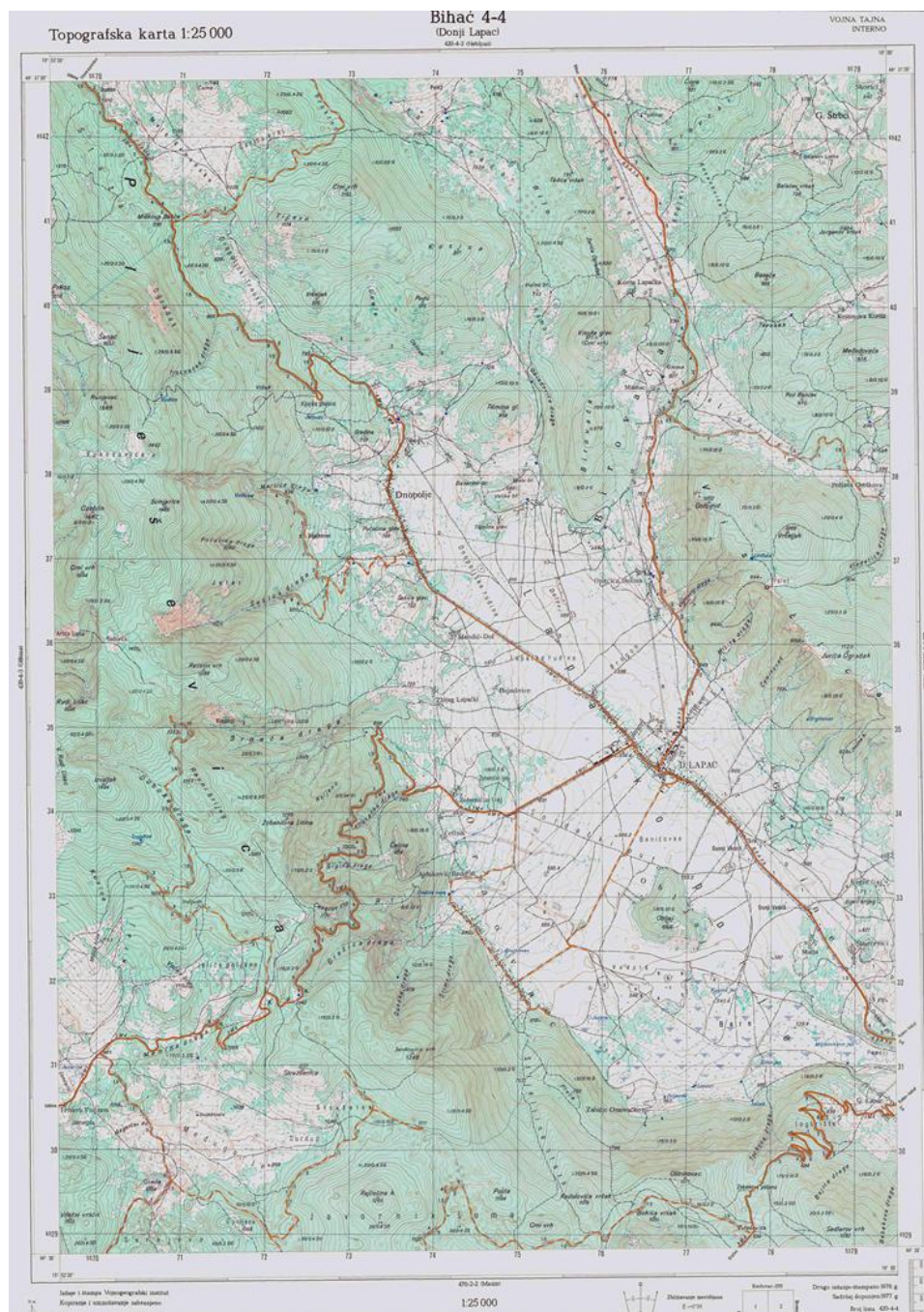
Topografske karte kao temeljna podloga za analizu reljefa

Topografska karta jedan je od temeljnih izvora podataka u geomorfologiji jer omogućuje istodoban prikaz prirodnih i antropogenih obilježja prostora, uz poseban naglasak na prikaz reljefa. U službenoj kartografskoj terminologiji topografske karte su općeuporabne karte različitih mjerila koje prikazuju visinske odnose, hidrografiju, geografska imena i različite kulturne odnosno izgrađene elemente prostora. Upravo ta višeslojnost čini ih iznimno vrijednima za nastavu i istraživanja u geomorfologiji, jer student istodobno može čitati oblik reljefa, položaj naselja, prometnu mrežu i odnos reljefa prema drugim prostornim pojavama.

Prema podacima Državne geodetske uprave, u hrvatskom sustavu službene državne kartografije, topografske karte čine hijerarhijski uređen skup kartografskih proizvoda različitih mjerila. Državna geodetska uprava navodi da su u službenoj uporabi Hrvatska osnovna karta u mjerilu 1:5 000 te topografske karte mjerila 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000 i 1:250 000, uz topografske podatke sitnijih mjerila. Hrvatska osnovna karta (HOK) pritom je osnovna službena državna karta, dok je TK25 najdetaljnija među standardnim nacionalnim topografskim kartama srednjeg mjerila koje pokrivaju cjelokupan teritorij države. Za geomorfološke analize osobito je važan odnos između mjerila karte i

razine detalja koju karta može prenijeti. Krupnija mjerila omogućuju detaljniji prikaz mikoreljefa i sitnijih oblika, dok sitnija mjerila bolje prikazuju regionalne prostorne odnose.

U geomorfološkim analizama često se koriste **orohidrografske karte**, koje se izrađuju na temelju slojeva topografske karte **TK25**. Na njima su izdvojeni i pojednostavljeni osnovni reljefni i hidrografski elementi (izohipse, vodotoci, kote), kako bi se reljef jasnije prikazao te lakše uočili i analizirali reljefni oblici i njihovi prostorni odnosi.



Sl.2. Topografska karta 1:25000 (List Bihać)

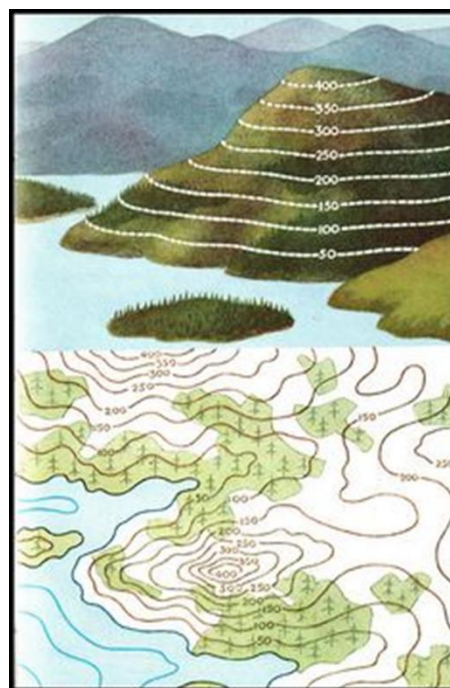
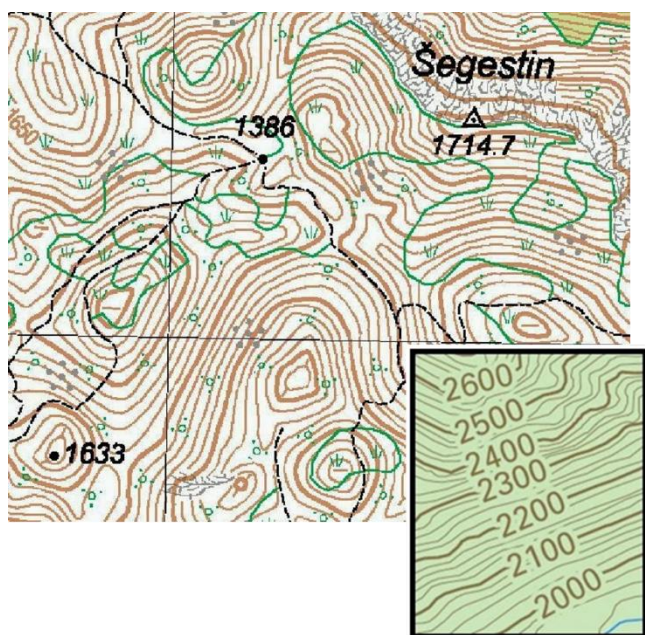
Elementi topografske karte važni za geomorfološku analizu

Za geomorfološki rad posebno su važni oni elementi topografske karte koji omogućuju pouzdanu interpretaciju reljefa. U prvom redu to su mjerilo, koordinatna mreža, visinski podaci, hidrografski elementi, toponimi (oronimi). Mjerilo određuje razinu generalizacije i točnost analize, dok koordinatna mreža omogućuje prostorno lociranje i mjerenja. Hidrografska mreža pomaže u interpretaciji dolinskih sustava, razvodnica i odnosa reljefa prema otjecanju, a toponimi i drugi sadržaji olakšavaju prostornu orijentaciju i terensku provjeru. Geološki zavod Sjedinjenih Američkih Država (USGS) u svojim standardima topografsku kartu definira upravo kao kartu koja objedinjuje prikaz reljefa, hidrografije, geografskih imena i kulturnih obilježja.

U kontekstu analize reljefa najvažniji su elementi izohipse, visinske točke (kote), trigonometrijske točke, ekvidistanca i pomoćni znakovi koji pojašnjavaju oblik terena. Službene hrvatske specifikacije reljefa na topografskim kartama razlikuju visinske točke i izohipse te jasno definiraju različite kategorije izohipsi.

Izohipse su linije koje spajaju točke jednake nadmorske visine, a njihova je najveća vrijednost u tome što ravnu plohu karte pretvaraju u čitljiv model trodimenzionalnog reljefa. Izohipse omogućuju mjerenje visine, dubine dna i strmine padina, odnosno pretvaraju topografsku kartu u mjerljiv prikaz površine. Pomoćne izohipse koriste se ondje gdje bi osnovne slojnice bile nedostadne za prikaz blagih padina ili nizinskog reljefa, što je posebno važno u analizi prostora male energije reljefa.

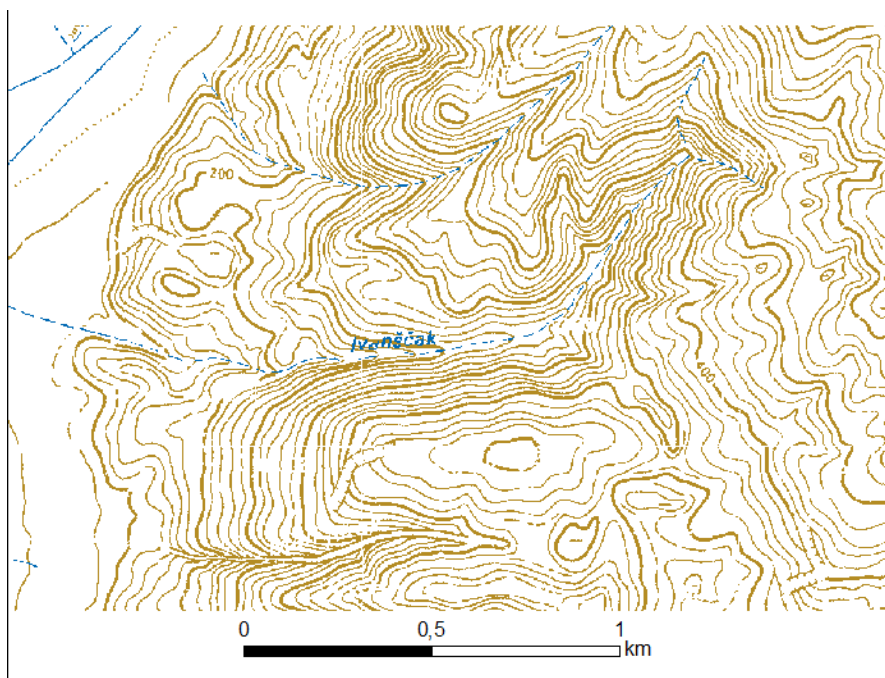
Ekvidistanca je stalna visinska razlika između susjednih osnovnih izohipsi. **Interval** je horizontalna razlika između izohipsi. **Kota**, odnosno brojčano označena visinska točka, dodatno povećava analitičku vrijednost karte jer omogućuje preciznije određivanje apsolutnih visina i provjeru interpretacije izohipsi. **Trigonometrijska točka** predstavlja isto što i kota, samo je fizički označena na terenu.



Sl.3. Isječak TK (izohipse, kote i tt)

MJERILO	EKVIDISTANCA
1:25000	10 m
1:50000	20 m
1:100000	20 m
1:250000	100 m

Sl.4. Orohidrografska karta

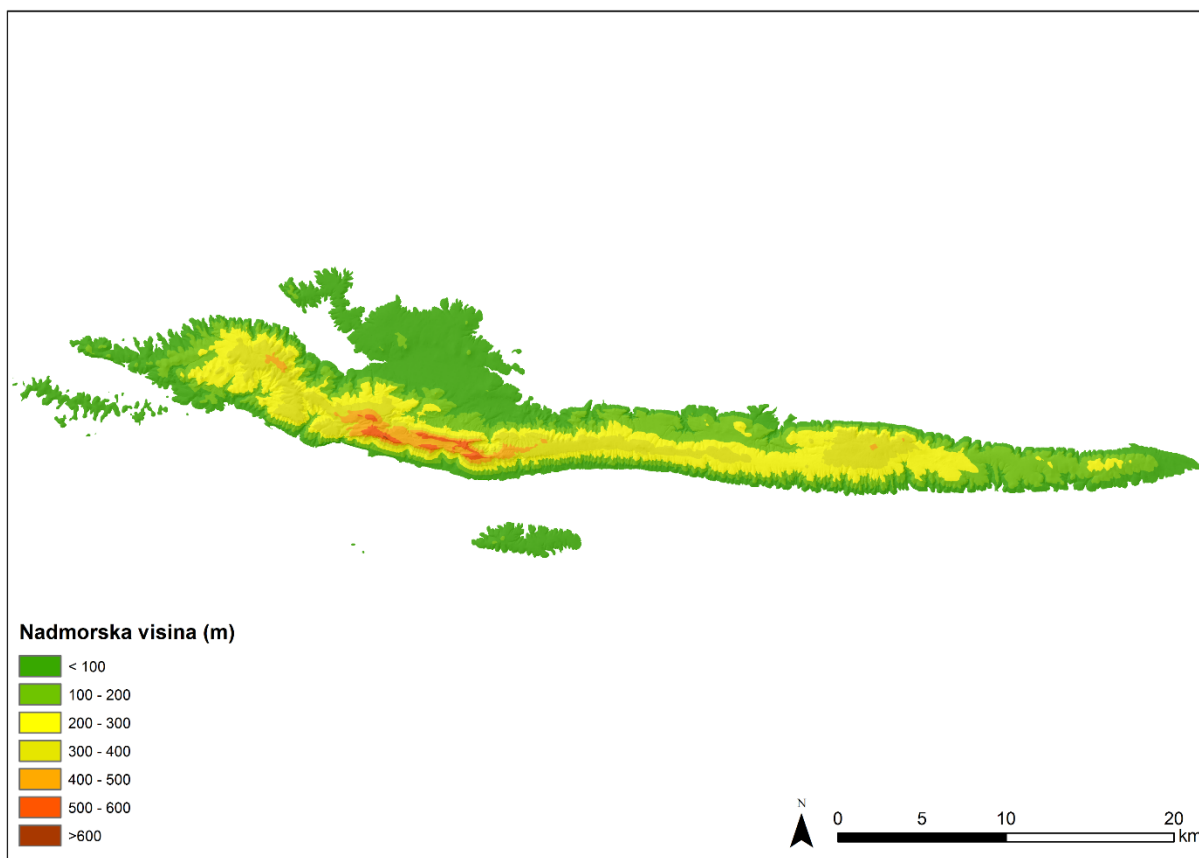


Hipsometrija

Hipsometrija je jedna od temeljnih metoda kvantitativne analize reljefa. U najširem smislu ona proučava raspodjelu površine prema nadmorskoj visini, odnosno pokazuje kako je prostor “raspoređen” po visinskim razredima. U geomorfologiji hipsometrija nije samo deskriptivna metoda prikaza reljefa, nego i analitički postupak kojim se mogu uspoređivati reljefne cjeline, procjenjivati stupanj reljefne razvijenosti i bolje razumjeti odnos između oblika reljefa i procesa koji su ih oblikovali.

Hipsometrija daje pregled visinske strukture prostora i omogućuje jednostavnu kategorizaciju područja prema nadmorskoj visini. Služi za vizualizaciju reljefa, jer se visinski razredi mogu prikazati bojama i tako pretvoriti u jasno čitljivu hipsometrijsku kartu. Također, omogućuje usporedbu različitih područja, primjerice različitih reljefnih cjelina, administrativnih područja i dr. U naprednijem obliku, kroz hipsometrijsku krivulju i hipsometrijski integral, ona može služiti i za interpretaciju geomorfološke razvijenosti i raspodjele reljefne mase unutar neke prostorne cjeline.

Visinski razredi mogu se uspoređivati s npr. rasporedom naselja, prometnica, vegetacije, obradivih površina, geomorfoloških oblika i sl. Time hipsometrija postaje više od same morfometrijske metode, ona postaje osnova za prostornu interpretaciju.



Sl.5. Hipsometrijska karta otoka Hvara

Hipsometrijska analiza

Hipsometrija je korisna zato što omogućuje prijelaz od običnog čitanja topografske karte prema analitičkom razumijevanju reljefa. Kad se na topografskoj karti izdvoje visinski razredi i prikaže njihova površinska zastupljenost, reljef se više ne promatra samo kao skup izohipsi nego kao strukturirani sustav visinskih zona.

U analognom radu hipsometrijska analiza najčešće se provodi na topografskoj karti ili, u suvremenijem obliku, na digitalnom modelu reljefa. U slučaju rada na topografskoj karti (sl.6.) najprije je potrebno odrediti **minimalnu i maksimalnu nadmorsku visinu** istraživanog područja. Nakon toga visinski raspon treba podijeliti u odgovarajuće razrede. Ti razredi mogu biti jednaki, primjerice po 50 m, 100 m ili 200 m, ovisno o reljefnoj energiji područja i mjerilu karte. Takva podjela omogućuje izradu hipsometrijske karte, odnosno prikaza prostora prema visinskim zonama. U tom smislu hipsometrija se naslanja na klasičnu kartografsku uporabu boja za prikaz nadmorske visine.

Nakon izdvajanja visinskih razreda može se procijeniti ili izmjeriti površina svakog razreda. Na analognoj karti to se može učiniti planimetrijski, mrežom kvadrata ili procjenom površina unutar zatvorenih izohipsi i između slojnica. Time se dobiva raspodjela površine prema visini.

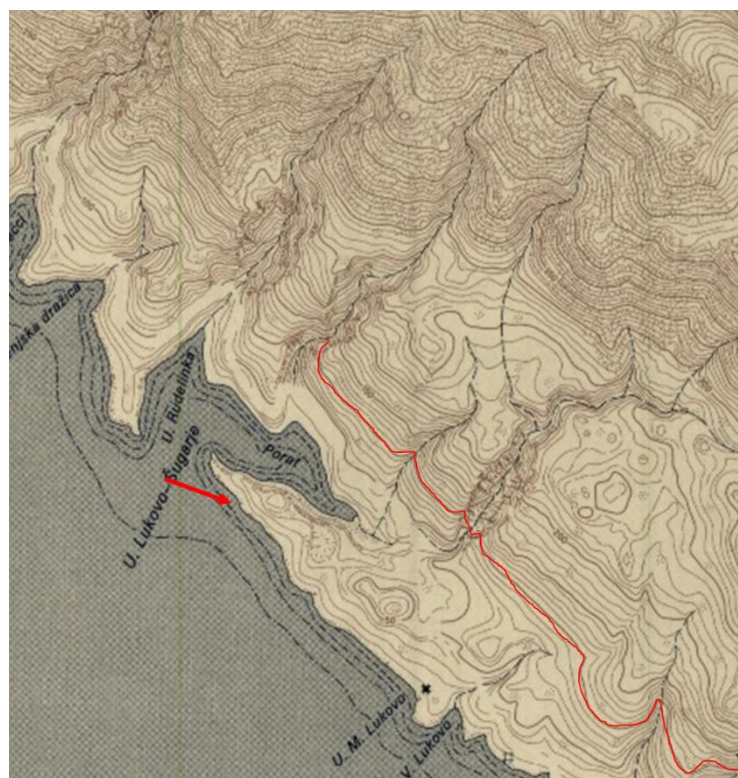


Sl.6. Orohidrografska karta i isječak OH za hipsometrijsku analizu

Sl.7. Isječak orohidrografske karte s označenom najnižom izohipsom i glavnim izohipsom na 50 m.

KORACI ZA IZRADU:

- Odrediti mjerilo i ekvidistancu
- Izračunati najnižu ni najvišu visinu na temelju karte
- Podijeliti visinske razrede (ovisno o području istraživanja 50, 100, 150 ili 200 m)
- Na karti označiti granice razreda i razrede obojati prema hipsometrijskoj skali boja (Tamnozeleno, zeleno, žuto, narančasto, crveno, smeđo....)

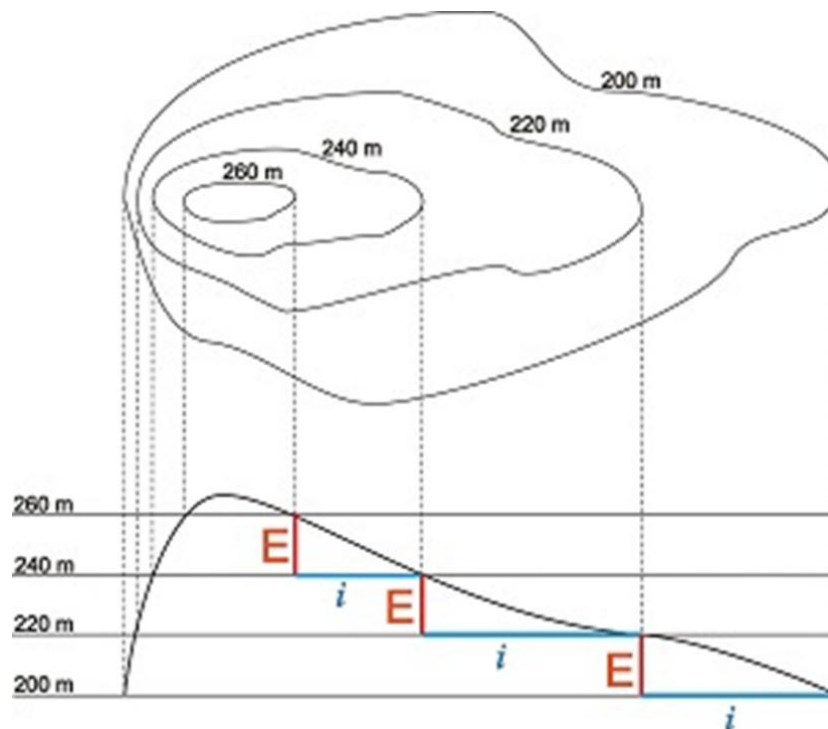


Topografski ili visinski profil

Topografski ili visinski profil je grafički prikaz promjene nadmorske visine duž odabrane linije na karti. Dok hipsometrija daje pregled vertikalne raspodjele cijelog prostora, profil omogućuje detaljan uvid u **niz reljefnih oblika** duž određenog pravca. Na profilu se jasno mogu uočiti vrhovi, zaravni, talvezi, padine različitog nagiba te odnosi među njima. On omogućuje precizniju vizualizaciju reljefa nego sama karta, jer dvodimenzionalni prikaz pretvara u presjek koji se lakše interpretira. Pomaže u analizi nagiba i oblika padina, jer se na njemu mogu razlikovati konkavni, konveksni i pravocrtni odsjeci. Također, služi kao sredstvo za interpretaciju geomorfoloških oblika, primjerice dolinskih strana, riječnih terasa, talvega i sl.

Kako se izrađuje topografski profil

Klasični postupak izrade topografskog profila na topografskoj karti započinje crtanjem linije profila, primjerice A-A'. Ta se linija odabire tako da presijeca reljefne oblike koji su predmet analize. Zatim se na milimetarski papir prenose sve točke na kojima ta linija siječe izohipse. Svakoj od tih točaka pridružuje se odgovarajuća nadmorska visina, a potom se točke ucrtavaju u koordinatni sustav u kojem je horizontalna os udaljenost, a vertikalna os nadmorska visina. Spajanjem točaka dobiva se profil reljefa. Topografski profil je korisno didaktičko pomagalo za razvoj prostornog mišljenja.



Sl.8. Topografski profil s označenim visinama, ekvidistancom i intervalom

Izrada profila:

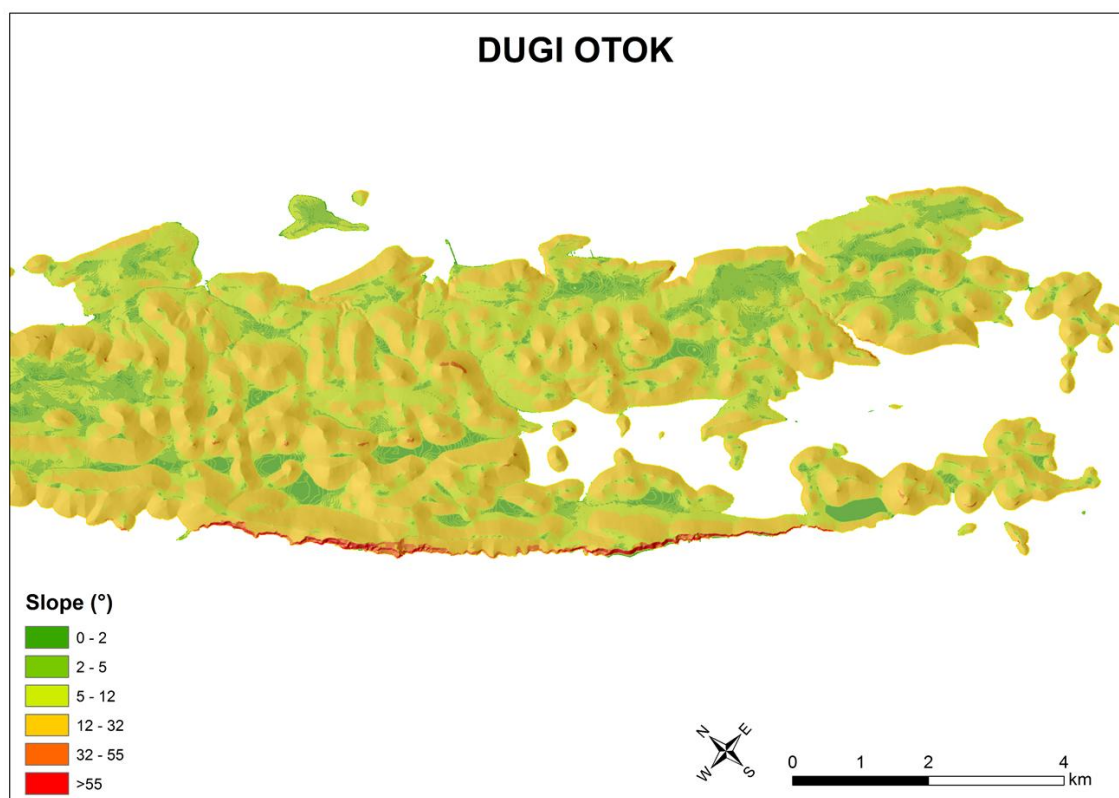
- Nacrtajte pravac-transekt A-A'
- Na rub bijelog papira prenesite udaljenosti i vrijednosti visina
- Na milimetarski papir prenesite ucrtane linije na pravcu na određene visine i nacrtajte graf.

Kako najlakše izraditi profil: [pogledaj ovdje!](#)

Nagib padina

Nagib padina jedan je od temeljnih morfometrijskih pokazatelja reljefa. U geomorfologiji se nagib definira kao kut koji površina reljefa zatvara s horizontalnom ravninom, odnosno kao stopa promjene nadmorske visine u prostoru. U tom smislu nagib je pokazatelj odnosa između oblika reljefa i procesa koji ga oblikuju. Kako nagib raste, povećava se gravitacijska komponenta gibanja materijala niz padinu, a time i vjerojatnost padinskih i fluviudenudacijskim procesa. Nagib padina jedan je od temeljnih parametara padinskih sustava jer je povezan sa stabilnošću padina, transportom materijala, infiltracijom i površinskim otjecanjem (Summerfield, 1991).

Upravo zato analiza nagiba padina ima široku primjenu. U geomorfologiji se koristi za tumačenje padinskih procesa i prostorne raspodjele reljefnih oblika; u inženjerskoj geomorfologiji i geotehnici važna je za procjenu stabilnosti terena; u prostornom planiranju pomaže pri vrednovanju pogodnosti prostora za gradnju i promet; u pedologiji i agronomiji povezuje se s otjecanjem, erozijom i mehanizacijom; a u šumarstvu, hidrologiji i analizi prirodnih prijetnji koristi se za razumijevanje odnosa između reljefa i dinamike okoliša.



Sl.9. Karta nagiba padina dijel Dugog otoka

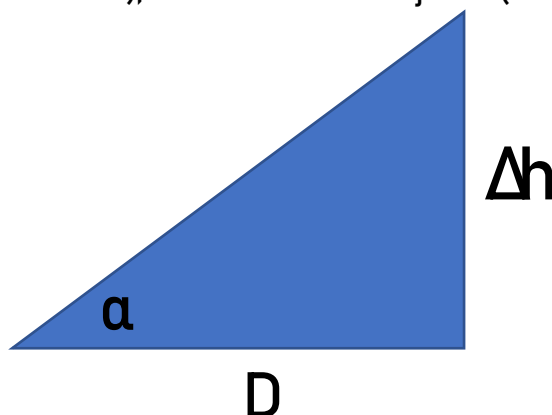
Kako se izražava nagib padine

Nagib se najčešće izražava na dva načina: u stupnjevima i u postocima. Izražavanje u stupnjevima prikazuje geometrijski kut između površine i horizontale, dok izražavanje u postocima pokazuje odnos visinske razlike i horizontalne udaljenosti, pomnožen sa 100.

$$\text{nagib (\%)} = \frac{\Delta h}{D} * 100$$

$$\text{nagib (}^\circ\text{)} = \arctan\left(\frac{\Delta h}{D}\right)$$

gdje je Δh visinska razlika (ekvidistanca), a D horizontalna udaljenost (interval).



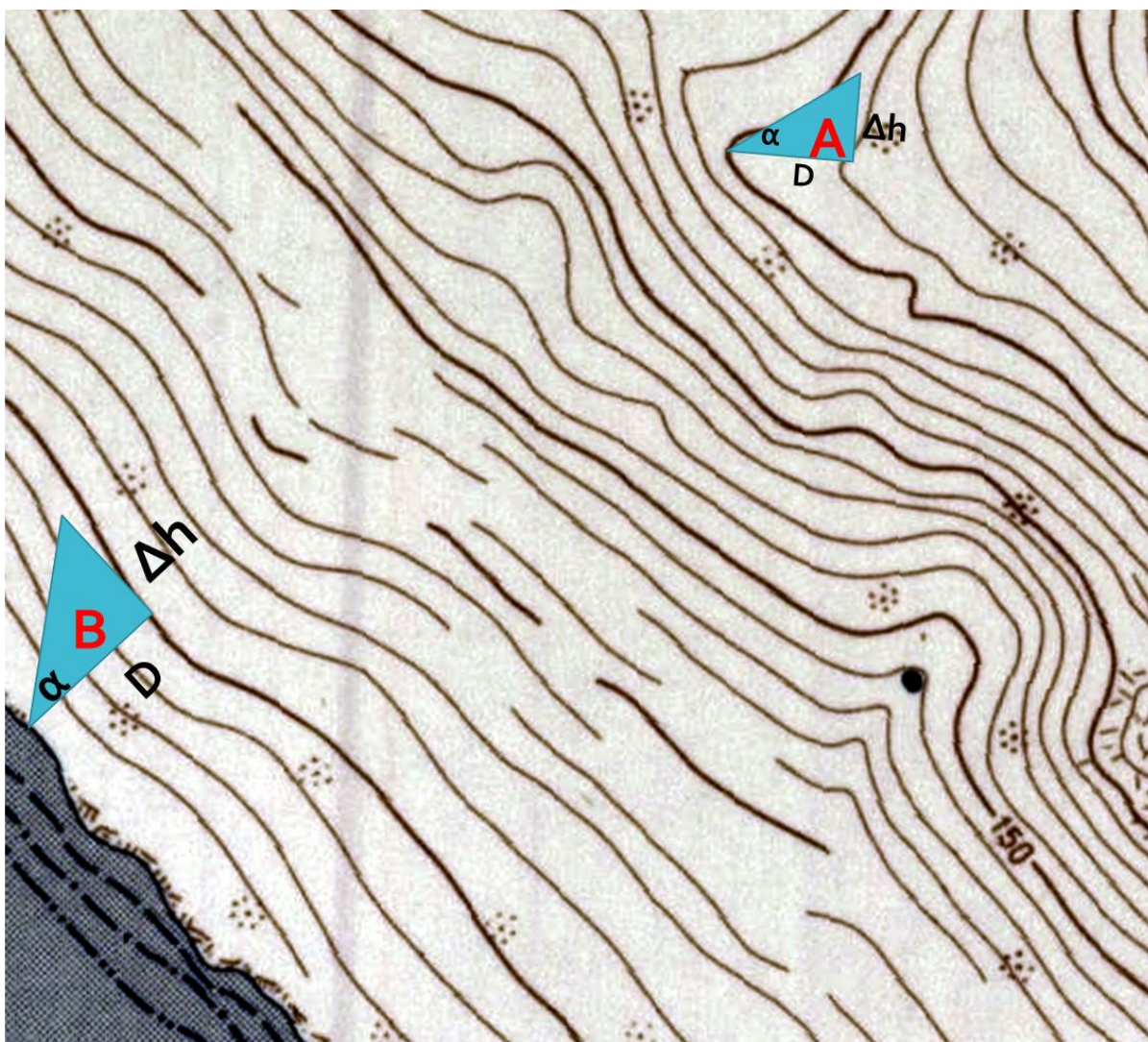
Geomorfološka klasifikacija nagiba padina

Za potrebe interpretacije nagibi se često grupiraju u razrede. Takva klasifikacija nema samo deskriptivnu nego i procesnu vrijednost, jer se pojedini rasponi nagiba mogu povezati s dominantnim geomorfološkim procesima i tipovima terena. Klasifikacija na temelju IGU, međunarodne komisije za geomorfološka istraživanja i kartiranje (Demek, 1972) koja razlikuje razrede 0–2°, 2–5°, 5–12°, 12–32°, 32–55° i >55°.

0°–2°	Ravnice	Kretanje masa se ne opaža
2°–5°	Blago nagnuti teren	Blago spiranje
5°–12°	Nagnuti teren	Pojačano spiranje i kretanje masa
12°–32°	Jako nagnuti teren	Snažna erozija, spiranje i kretanje masa
32°–55°	Vrlo strm teren	Dominira destrukcija
>55°	Strmci, litice	Urušavanje

Mjerenje nagiba na topografskoj karti

Kod rada s izohipsama visinska razlika najčešće se određuje pomoću ekvidistance. Ako dvije točke leže na susjednim izohipsama, tada je Δh jednaka ekvidistanci, ako između njih postoji više izohipsi, visinska razlika jednaka je umnošku ekvidistance i broja izohipsi. Horizontalna udaljenost mjeri se ravnalom i pretvara u stvarnu udaljenost pomoću mjerila karte. Što su izohipse gušće zbijene, to je nagib veći, što su razmaknutije, nagib je manji. To je osnovno pravilo čitanja reljefa na topografskoj karti.



Sl.10. Izračun nagiba padina na OH karti. Primjer A između dvije izohipse ($\Delta h=10\text{m}$), primjer B ($\Delta h=50\text{m}$)

Izračun nagiba padina:

- Utvrditi mjerilo i ekvidistancu, izmjeriti interval i preračunati udaljenosti prema mjerilu, uvrstiti sve u formulu i izračunati nagib.

Vertikalna raščlanjenost reljefa

Vertikalna raščlanjenost reljefa ili energija reljefa jedan je od temeljnih morfometrijskih pokazatelja reljefa. Ona se definira kao visinska razlika između najviše i najniže točke unutar unaprijed određene jedinične površine, najčešće 1 km². Taj se pokazatelj često dovodi u vezu s pojmovima lokalnog reljefa ili relativnog reljefa, jer izražava kolika je visinska energija reljefa na maloj, standardiziranoj površini. Za razliku od nadmorske visine, koja pokazuje koliko je neko područje visoko u odnosu na morsku razinu, vertikalna raščlanjenost pokazuje koliko je reljef razveden unutar određene površine. Dva prostora mogu imati sličnu prosječnu nadmorsku visinu, ali potpuno različitu vertikalnu raščlanjenost: zaravnjen visoravan može biti visoko položen, ali slabo raščlanjen, dok planinski teren na istoj ili nižoj visini može imati vrlo izražene lokalne visinske razlike.

U geomorfološkom smislu vertikalna raščlanjenost odražava djelovanje i međusobni odnos više čimbenika. U lokalnim okvirima ona je prvenstveno povezana s litološkim sastavom, otpornošću stijena, djelovanjem egzogenih procesa, odnosno s intenzitetom denudacijskih i erozijskih procesa. U regionalnim okvirima može odražavati i morfostrukturne odnose, odnosno dugotrajniji utjecaj tektonike i neotektonskih gibanja na razvoj reljefa (Pavlopoulos, 2009).

Vertikalna raščlanjenost pruža vrlo jasan uvid u **intenzitet reljefne razvedenosti** i u prostornu raspodjelu geomorfoloških procesa. Područja s velikom vertikalnom raščlanjenošću u pravilu su prostori naglašenije erozije, jače usječenosti terena i izraženijeg reljefa. Nasuprot tome, područja s malom vertikalnom raščlanjenošću često odgovaraju zaravnjenim ili slabo razvedenim terenima u kojima su akumulacija, blaži reljef i razvoj zaravnjenijih površina izraženiji nego u planinskim ili jako usječenim prostorima.

U korelaciji s drugim morfometrijskim pokazateljima, posebno nagibom, mogu se koristiti za procjenu pogodnosti prostora za građevinarstvo, poljoprivredu, vodoprivredu, promet, urbanizam, turizam i prostorno planiranje. Drugim riječima, vertikalna raščlanjenost nije samo teorijski pokazatelj nego i vrlo praktičan alat.

Kategorije vertikalne raščlanjenosti

Prema Bognaru (1992) standardno se izdvaja šest kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa. Razredi su: 0–5, 5–30, 30–100, 100–300, 300–800 i >800 m/km².

0–5 m/km ²	Zaravnjen reljef
5–30 m/km ²	Slabo raščlanjene ravnice
30–100 m/km ²	Slabo raščlanjen reljef
100–300 m/km ²	Umjereno raščlanjen reljef
300–800 m/km ²	Izrazito raščlanjen reljef
>800 m/km ²	Vrlo izrazito raščlanjen reljef



Sl.11. Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa otoka Hvara

Kako se određuje vertikalna raščlanjenost

Na promatranom području postavlja se **mreža jediničnih površina**, najčešće kvadrata 1×1 km. Unutar svakog kvadrata određuje se najviša i najniža točka, a njihova razlika daje vrijednost vertikalne raščlanjenosti za taj kvadrat. Matematički:

$$VR = H_{max} - H_{min}$$

Budući da se rezultat odnosi na jediničnu površinu od 1 km^2 , vertikalna raščlanjenost se redovito izražava u **m/km²**.

U analognom radu na topografskoj karti postupak obično uključuje tri koraka. Najprije se preko karte postavi mreža kvadrata, u slučaju vježbi, zbog manjeg područja istraživanja kreira se mreža 2×2 cm pa prema tome u mjerilu 1:25000 mjerna jedinica VR glasi $\text{m}/0,025 \text{ km}^2$. Zatim se u svakom kvadratu iz izohipsi i kota očitaju najveća i najmanja visina. Nakon toga se izračuna razlika visina i vrijednost se upiše u odgovarajuće polje mreže. Na temelju dobivenih vrijednosti kreiraju se razredi, a metodom interpolacije se ti razredi razgraničavaju.

Interpolacija predstavlja postupak određivanja međuvrijednosti na temelju poznatih podataka te procjenu vrijednosti neke pojave na mjestima gdje mjerenja nisu izravno provedena. U geomorfološkim analizama interpolacija se često koristi pri izradi **izohipsi**, određivanju **nagiba padina** te procjeni **vertikalne raščlanjenosti reljefa**.

Kod analize vertikalne raščlanjenosti interpolacija je važna jer omogućuje procjenu visinskih odnosa između točaka za koje nemamo izravne podatke. Na temelju poznatih visinskih vrijednosti moguće je rekonstruirati kontinuiranu površinu reljefa te preciznije odrediti razlike između najviših i najnižih dijelova promatranog prostora. Time se dobiva realnija slika prostorne raspodjele reljefne energije i intenziteta geomorfoloških procesa. U suvremenim analizama interpolacija se često provodi digitalno,

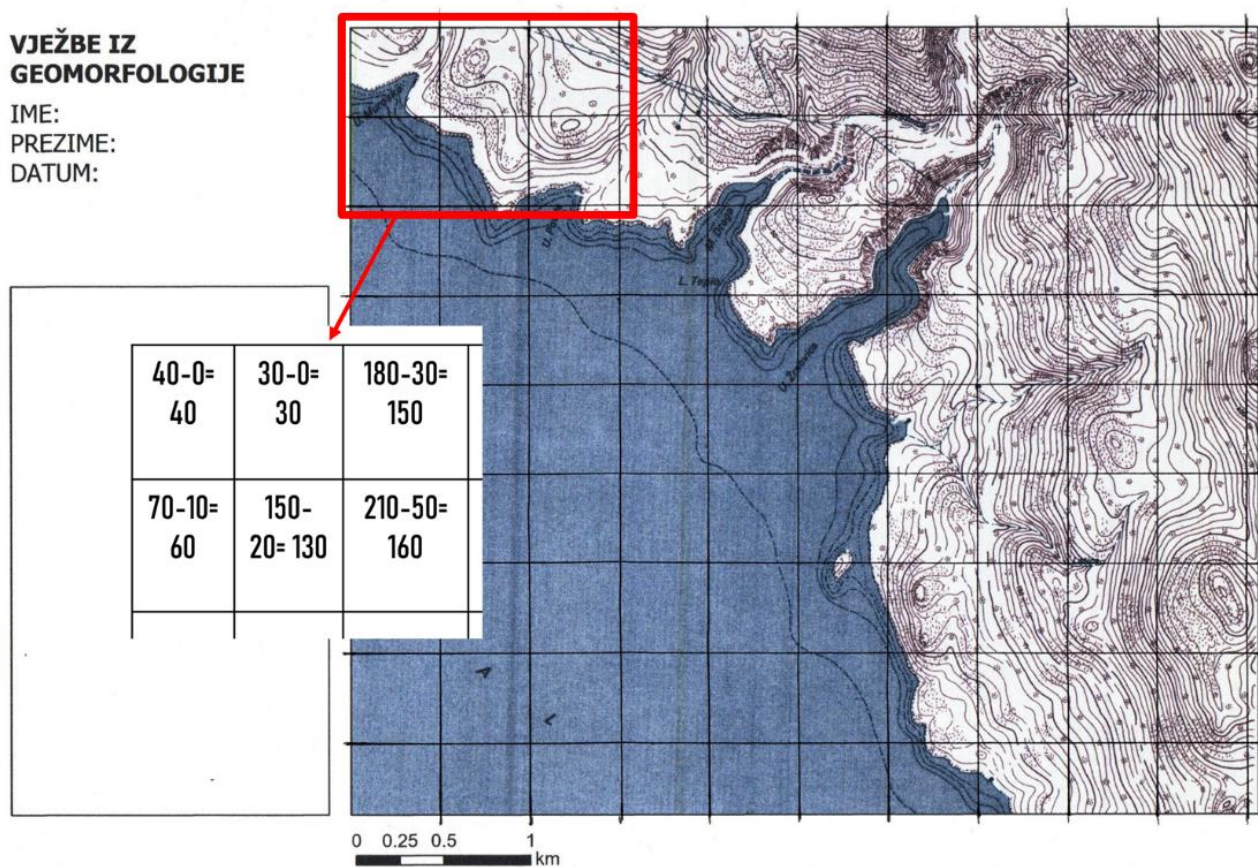
primjenom metoda kao što su **IDW**, **spline** ili **kriging**, koje omogućuju izradu **digitalnih modela reljefa** i detaljniju analizu morfometrijskih pokazatelja.

Kako izraditi kartu vertikalne raščlanjenosti reljefa (SL.12. i 13.)

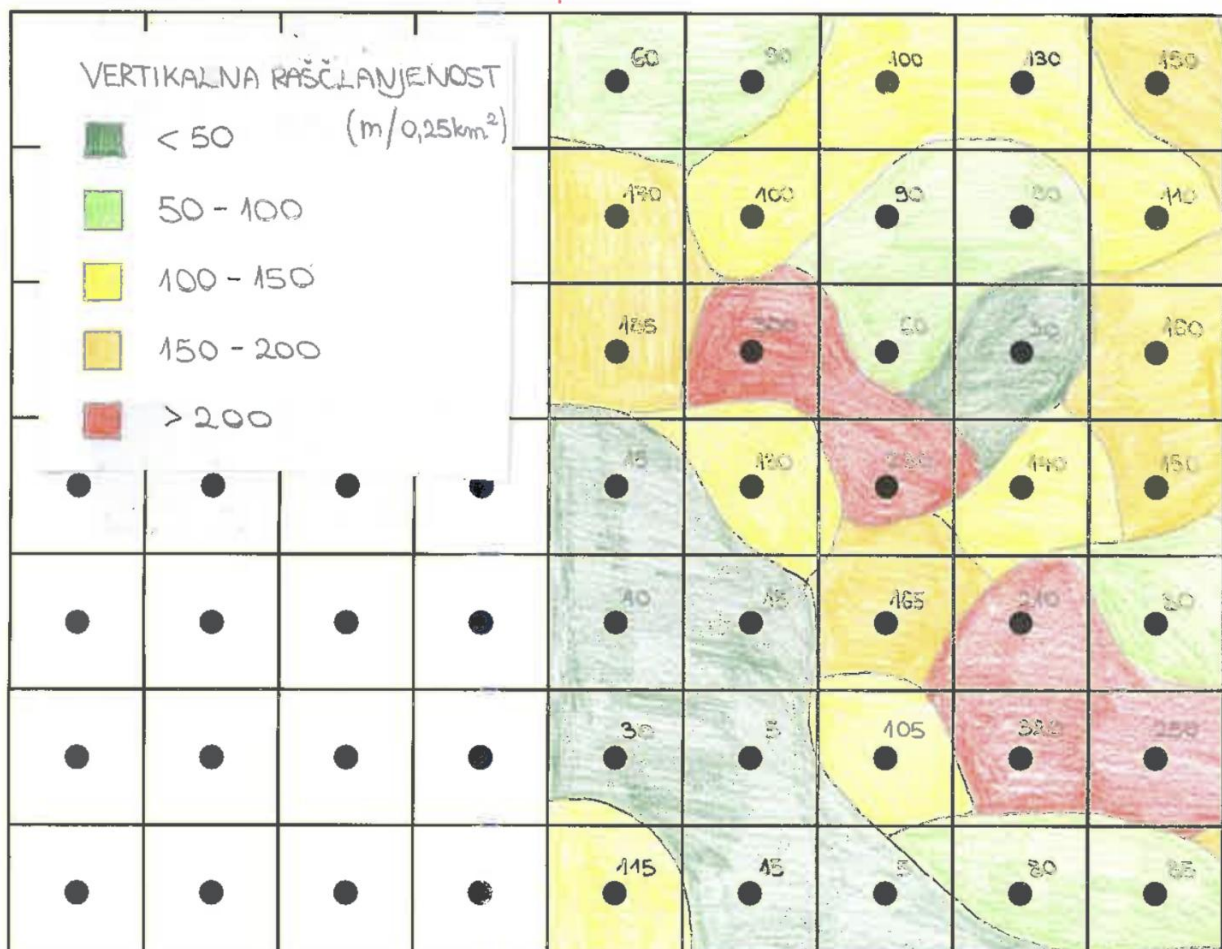
- Na zadano područje na topografskoj karti ucrtajte kvadratnu mrežu veličine 2×2 cm.
- Unutar svakog kvadrata, na temelju izohipsi, odredite najvišu i najnižu nadmorsku visinu te izračunajte njihovu razliku.
- Dobivena razlika predstavlja vrijednost vertikalne raščlanjenosti reljefa (VR) za taj kvadrat.
- Na podlozi za izradu karte vertikalne raščlanjenosti točke predstavljaju središte kvadrata, odnosno izračunata vrijednost VR odnosi se na pripadajući kvadrat. Svakoj točki pridružite odgovarajuću vrijednost VR.
- Dobivene vrijednosti razvrstajte u razrede prema veličini vertikalne raščlanjenosti.
- Metodom interpolacije iscrtajte granice između razreda na karti te odgovarajuće kartografski prikažite (bojama) dobivenu kartu vertikalne raščlanjenosti reljefa.

VJEŽBE IZ GEOMORFOLOGIJE

IME:
PREZIME:
DATUM:



SL.12. Isječak OH karte s ucrtanom kvadratnom mrežom te izračunatom vrijednosti VR.



Sl.13. Isječak karte vertikalne raščlanjenosti reljefa

ZADATAK 1:

Izrada hipsometrijske karte

- Na temelju topografske karte **odredite najnižu i najvišu nadmorsku visinu** na istraživanom području.
- Odredite **visinske razrede** (npr. svakih 100 m ili prema rasponu visina na karti).
- Pomoću **izohipsi** izdvojite područja koja pripadaju pojedinom visinskom razredu.
- Na karti **iscrtajte granice visinskih razreda**.
- Svaki razred prikažite **odgovarajućom bojom** (npr. od svijetlih prema tamnijim tonovima s porastom visine).
- Izradite **legendu hipsometrijske karte**.

ZADATAK 2:

Izrada topografskog/visinskog profila

- Na topografskoj karti odaberite **liniju profila (A–B)**.
- Na rubu papira ili na posebnoj podlozi nacrtajte **horizontalnu os koja predstavlja udaljenost**.
- Označite sve točke u kojima linija presijeca **izohipse**.
- Za svaku točku odredite **nadmorsku visinu**.
- Prenesite dobivene visine na graf i **nacrtajte liniju reljefa**.
- Dobiveni graf predstavlja **topografski profil reljefa**.

ZADATAK 3:

Izrada karte nagiba padina

- Na karti odaberite **30 lokacija** na kojima ćete odrediti nagib padine.
- Lokacije označite na karti kao $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{30}$.
- Za svaku točku grafički odredite **visinsku razliku (Δh)** i **horizontalnu udaljenost (D)**.
- Izračunajte nagib padine pomoću formula u postocima i stupnjevima.

ZADATAK 4:

Izrada karte vertikalne raščlanjenosti reljefa

- Na zadano područje ucrtajte **kvadratnu mrežu** (npr. 2×2 cm).
- U svakom kvadratu, na temelju izohipsi, odredite **najvišu i najnižu nadmorsku visinu**.
- Izračunajte **vertikalnu raščlanjenost reljefa (VR)**:
- Dobivenu vrijednost upišite u **središte kvadrata**.
- Sve vrijednosti **razvrstajte u razrede**.
- **Interpolacijom iscrtajte granice razreda** i izradite kartu vertikalne raščlanjenosti reljefa.