

UDK 528.023:528.932:004.4(494)
Pregledni znanstveni članak / Review

Izrada karte Švicarske upotrebom metode sjenčanog reljefa u švicarskom stilu

Adam VINKOVIĆ, Robert ŽUPAN, Matea IVKOVIĆ,
Zvonko BILJECKI – Zagreb¹

SAŽETAK. Sjenčanje reljefa u švicarskom stilu učinkovita je i vizualno atraktivna metoda za predstavljanje treće dimenzije reljefa na dvodimenzionalnoj karti. Takva metoda korištena je za predstavljanje terena na prirodan, istančan i intuitivan način. Važan element kod takvog načina sjenčanja reljefa je upotreba prilagođene ljestvice boja i efekta atmosferske perspektive. U prvom dijelu ovoga rada opisan je grafički i tehnički razvoj, te osnovna načela sjenčanja reljefa u švicarskom stilu. Drugi dio rada prikazuje proces izrade sjenčanog reljefa izvedenog iz digitalnog modela reljefa korištenjem isključivo funkcionalnosti dostupnih unutar slobodnog geoinformacijskog sustava otvorenog koda QGIS. Nadahnuti djelovanjem švicarskog kartografa Eduarda Imhofa na području vizualizacije reljefa, izrađena je digitalna karta Švicarske primjenjujući tehnike klasične švicarske škole. Proces izrade karte sastoji se od nekoliko koraka pri čemu najvažniji dio čine izrada pojedinih slojeva karte dobivenih iz digitalnog modela reljefa (jednosmjerno sjenčanje, višesmjerno sjenčanje, zračna perspektiva), izrada hipsometrijske ljestvice boja po uzoru na karte švicarskih kartografa, pronalazak optimalnih vrijednosti parametara pojedinih slojeva karte, te završna grafička obrada karte.

Ključne riječi: sjenčanje reljefa, digitalni model reljefa, GIS, atmosferska perspektiva.

¹ Adam Vinković, mag. ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: adam.vinkovic@geof.unizg.hr
Prof. dr. sc. Robert Župan, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: robert.zupan@geof.unizg.hr
Matea Ivković, mag. ing. geod. et geoinf., Ericsson Nikola Tesla Servisi d.o.o., Krapinska 45, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: matea.ivkovic@ericsson.com
dr. sc. Zvonko Biljecki, GEOFOTO INCORPORATED Ltd., Radnička cesta 52–54, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zvonko.biljecki@geofoto-group.hr

1. Uvod

Vizualizacija terena jedna je od ključnih uloga u izradi karata. Sjenčanje reljefa je tradicionalna tehnika koja korisniku karte omogućuje percepciju terena na intuitivan i realističan način, a računalni postupak izrade sjenčanog reljefa iz digitalnog modela reljefa (DMR) naziva se analitičko sjenčanje reljefa. Za razliku od ručnog, analitičkim sjenčanjem reljefa dobivaju se efikasniji i ujednačeniji rezultati, a izazov predstavlja vizualizacija krajolika s različitim oblicima reljefa. Postupak analitičkog sjenčanja reljefa može se unaprijediti upotrebom različitih metoda kao što su generalizacija terena, prilagodba smjera izvora svjetlosti, segmentacija terena, i sl. Svaka od brojnih metoda ima najbolje rezultate za određeni tip reljefa i ne uzima u obzir moguću raznolikost reljefa unutar područja nad kojim se provodi sjenčanje. Stoga je potrebno odrediti optimalnu kombinaciju alata i parametara kako bismo dobili najbolji rezultat u pogledu vizualne kvalitete za svaku vrstu reljefa (Hurni i Farmakis-Serebryakova 2019).

Karte sjenčanog reljefa u pravilu se izrađuju upotrebom izvora svjetlosti koji dolazi iz smjera sjeverozapada. Ovo načelo je iskustveno prihvaćeno jer korisniku karte omogućuje da neposredno i točno prepozna oblike reljefa. Ovakav pristup je duboko ukorijenjen u procesu sjenčanja zbog podsvjesnog pozitivnog razumijevanja grafičkih elemenata pod gornjim lijevim izvorom svjetlosti u našem svakodnevnom iskustvu (Imhof 1982). Osim tradicionalnog sjeverozapadno usmjerenog izvora svjetlosti, za bolje rezultate sjenčanja mogu se koristiti i drugi alternativni smjerovi osvjetljenja pri čemu izbor ovisi o smjeru pružanja dominantnih padina prikazanog reljefa. U drugoj polovici 19. stoljeća kartografi su razvili opisne sheme boja za tiskane karte kojima su uspjeli uspješno prikazati trodimenzionalnost terena. Kartografi još uvijek pronalaze inspiraciju u djelima Leuzingera, Beckera, Imhofa i drugih začetnika švicarskog stila sjenčanja reljefa, koji su modulirali boju prema nadmorskoj visini i izloženosti osvjetljenju, od svijetlih (žutih) tonova za padine osvjetljene suncem do hladnih tonova za zasjenjene padine (Jenny i Hurni 2006).

Cilj ovog rada jest predstaviti tehniku vizualizacije reljefa u švicarskom stilu koristeći samo besplatne i otvorene alate. Za odabir ove tehnike kriterij su bili jednostavna i brza provedba, te višenamjenska učinkovitost vizualizacije (Vinković i dr. 2021). Upravo zbog toga odlučeno je cjelokupni proces izrade karte sjenčanog reljefa provesti unutar jednog alata. Geoinformacijski sustav otvorenog koda QGIS upravo je idealan za taj postupak jer podržava sve faze izrade karte, od obrade podataka do vizualizacije i dizajna karte (URL 1). U kontekstu ovog istraživanja važno je također uzeti u obzir vizualni aspekt prikaza terena. On se određuje sposobnošću korisnika karte da zamisli prostorni karakter određenog oblika reljefa, njegov oblik, volumen, orijentaciju i međusobne odnose susjednih oblika reljefa.

U članku je nakon uvoda ukratko opisana povijest i osnovni principi tehnike sjenčanja reljefa u stilu švicarskih kartografa. U trećem poglavlju napravljen je pregled korištenih metoda u izradi karte kao što su utjecaj nadmorske visine i smjera izvora osvjetljenja na sjenčani reljef te topografski parametri izvedeni iz DMR-a. Potom je detaljno prikazana izrada digitalne karte Švicarske.

U četvrtom poglavlju opisani su i vizualizirani rezultati istraživanja. Peto poglavlje donosi kratku raspravu, a u šestom su navedeni zaključci ovog istraživanja.

2. Švicarski stil sjenčanja reljefa

Švicarski stil sjenčanja reljefa jest metoda prikaza sjenčanog reljefa koja je karakteristična za prikazivanje planinskih područja i to najčešće u sitnom mjerilu. Iznimno je vrijedan pomni pogled na povijesni razvoj obojenog sjenčanog reljefa jer pruža poučne detalje i dragocjenu inspiraciju suvremenim kartografima. Švicarski kartografi, koji su imali vodeću ulogu u razvoju obojenog sjenčanja reljefa, kombinirali su slojnice, sjenčanje, crtanje stijena, te uveli upotrebu naturalističkih shema boja za stvaranje takozvane švicarske grafike karata (Jenny i Hurni 2006). Tehnologija tiska imala je presudnu ulogu u razvoju obojenog reljefnog sjenčanja. Prva tehnologija koja je omogućila masovnu izradu reljefnih karata u boji bila je kromolitografija. To je postupak višebojnog litografskog tiska koji je svoju tehničku zrelost dosegao krajem 19. stoljeća.

U to vrijeme Švicarski alpski klub imao je važnu ulogu u izradi karata u kojima je reljef prikazan sjenčanjem u švicarskom stilu. Prvenstveno zato što prva službena nacionalna serija karata Švicarske nije bila dovoljno detaljna za planinarske potrebe. Za prikaz terena su korištene slojnice, a male dimenzije nisu dopuštale ucrtavanje važnih detalja o terenu za planinare i penjače. Taj nedostatak je naveo Švicarski alpski klub na izradu 35 karata krajem 19. stoljeća koje su se temeljile na izvornim podacima izmjere za Dufour karte (Gurtner 2008). Te karte su služile kao eksperimentalno polje za izradu reljefnih karata u boji. Jedan od glavnih kartografa koji je sudjelovao u izradi bio je Rudolf Leuzinger (1826–1896), koji je prvi dodao kontinuiranu smeđu nijansu sjene na kartu regije Lukmanier, objavljenu 1865. godine (slika 1a). Ova karta u mjerilu 1:50 000 je prvi probni eksperiment koji još ne prikazuje teren u živopisnom prikazu kasnijih karata. Ta karta je bila početak niza planinskih karata koje su imale za cilj poboljšati prikaz treće dimenzije terena (Räber i dr. 2009). Značajan doprinos uporabi prirodnih boja za prikaz Alpi na kartama dao je Jakob Melchior Ziegler (1801–1883). Njegova hipsometrijska karta Švicarske (1:380 000, Winterthur, 1866) imala je dominantan utjecaj na švicarsku kartografiju po pitanju primjene boje (Kretschmer 2000). Ziegler uvodi princip „više je svjetlije“, kako bi od zelenih i žutih tonova došao do bijele, u kombinaciji sa sjenčanim reljefom i izohipsama. Kretschmer (2000) navodi da Zieglerova karta predstavlja prvi uspješni prikaz hipsometrijske strukturiranosti zapadnih Alpi. Odabir boja na toj karti primjenjuje se na švicarskim topografskim kartama i školskim atlasima još i danas.



Slika 1. a) *Evolena – Zermatt – Monte Rosa, Švicarski alpski klub, 1:50 000, 1891. godina* (Räber i dr. 2009); b) *kanton Glarus, Fridolin Becker, 1889.* (Jenny i Hurni 2006).

Fridolin Becker (1854–1922), profesor na Švicarskom federalnom institutu za tehnologiju Zürich (njem. *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich – ETH*), dodatno je poboljšao Leuzingerove i Zieglerove ideje razvijajući upotrebu prirodnijih boja. Švicarski alpski klub objavio je 1889. godine njegovu kartu kantona Glarus (slika 1b). Karta prikazuje suncem obasjane padine u žuto-zelenoj, a zasjenjene padine u tamnozelenoj boji. Becker je prvi simulirao učinak zračne perspektive na tiskanim kartama postupnim izoštravanjem kontrasta boja prema najvišim vrhovima. Time je postignuo jasno prikazivanje oblika terena upotrebom sheme boja (Jenny i Hurni 2006). Nakon ove izvanredne karte Becker je nastavio eksperimentirati s alternativnim shemama boja i izvorima osvjetljenja, te proizveo niz topografskih karata u različitim mjerilima. Na taj način Becker je dao velik doprinos u tehnici sjenčanja reljefa. Može se reći da su njegovi principi za postizanje trodimenzionalni izgled sjene na kartama planinskih područja još uvijek aktualni (Räber i dr. 2009):

- najviša područja karte prikazana su najsvjetlijim tonovima na osvijetljenim stranama, a najtamnijim tonovima na stranama sjene,
- jačina sjene smanjuje se prema dolinama,
- umjesto bijele boje koristi se srednji ton za doline koje vizualno povezuju dvije susjedne planinske padine,
- najviši planinski vrhovi moraju biti prikazani najvećim kontrastom u boji,
- boje trebaju biti oslabljene za niža područja kako bi se simulirao učinak zračne perspektive,
- ne smiju se koristiti bačene sjene.

Beckerove principe sjenčanja reljefa usvojili su i dalje razvijali drugi kartografi. Na primjer, većina švicarskih atlasa primjenjuje ova načela do danas. Neki su kartografi strogo slijedili Beckerovu tehniku, dok su drugi modernizirali proizvodne metode ili razvili blisko povezane načine vizualizacije eksperimentirajući s alternativnim shemama boja i metodama sjenčanja. Ipak, glavni cilj je bilo Beckerovo načelo – kratki pogled na kartu je dovoljan za shvaćanje oblika terena.

Eduard Imhof (1895–1986) proširio je i usavršio Beckerovo kartografsko dostignuće. Njegova Karta područja oko jezera Walensee (slika 2) odličan je prikaz simulacije zračne perspektive. Boja krajolika postupno se mijenja s povećanjem udaljenosti od toplih tonova na najvišim vrhovima do plave boje u dolinama. Karta je naslikana eksperimentalno kako bi pokazala nesputanu primjenu umjetnosti u kartografskom kontekstu (Räber i dr. 2009). Jedan od najvažnijih doprinosa Imhofa bio je razvoj fotomehaničkog postupka za izradu sjenčanog reljefa u boji iz kojeg proizlazi niz tiskovnih ploča od jednog monokromatskog sjenčanja fotomehaničkom reprodukcijom. Fotomehanička reprodukcija znatno je pojednostavila pripremu tiskovnih ploča i tijekom izrade, no proces je bio naporan i skup (Jenny i Hurni 2006). Pojavom pristupačnijih osobnih računala i digitalnog modela reljefa kartografi su počeli usvajati digitalne tehnike za prezentiranje obojenog sjenčanog reljefa. Danas su dostupni mnogi softverski paketi za primjenu određenih skala boja na digitalnim modelima visina, što omogućava kartografu određivanje proizvoljnog broja klasa boja.



Slika 2. Karta područja oko jezera Walensee, E. Imhof, 1983. (Räber i dr. 2009).

3. Materijali i metode

U izradi karte korišteno je nekoliko važnih metoda koje utječu na prikaz reljefa u švicarskom stilu: topografski parametri dobiveni iz DMR-a, te utjecaj nadmorske visine i izvora osvjjetljenja. S obzirom da je cjelokupna karta, izuzev boja na karti, izrađena iz jednog izvora podatka, tj. jednog DMR-a iz kojeg su kreirani svi slojevi karte, prvo su razmotreni topografske parametre koji mogu biti izvedeni iz DMR-a. DMR je skup trodimenzionalno definiranih točaka Zemljine površine čije su koordinate pohranjene za računalnu obradu (Frančula 2004). Topografski parametri izvedeni iz visoko rezolucijskog DMR-a koriste se između ostalog za analizu i prikaz topografije terena. U ovom radu oni predstavljaju parametre koji su matematičkim funkcijama izvedeni iz podataka o nadmorskoj visini. U ovom istraživanju su za izradu karte korišteni tzv. opći topografski parametri – tradicionalno jednosmjerno i višesmjerno sjenčanje.

Funkcija sjenčanja (engl. *hillshade*) pretpostavlja postojanje jednog izvora svjetlosti koji osvjetljava površinu terena, a potom izračunava reflektiranu osvjetljenost svakog položaja i koristi sivu skalu za prikaz značajki terena (Maune 2007). Parametri izvora svjetlosti uključuju visinski kut i azimut, pri čemu visinski kut može imati raspon od 0° (tlo) do 90° (zenit), a raspon azimuta iznosi od 0° do 360°, počevši od sjevera. Za razliku od jednosmjernog, višesmjerno sjenčanje (engl. *multidirectional hillshade*) kombinira nekoliko izvora svjetlosti iz različitih smjerova. Ova metoda identificira glavno protezanje terena, a zatim pronalazi najbolji smjer izvora svjetlosti za prikaz podataka o terenu (Wang i Tseng 2015). Pri tome se za svaki smjer upada svjetlosti određuje težina, a parametri koji se najčešće koriste su nagib i ekspozicija terena (Loisios i dr. 2007). Na taj način uspijeva se prikazati veći broj topografskih detalja terena te smanjuje učinak sjene.

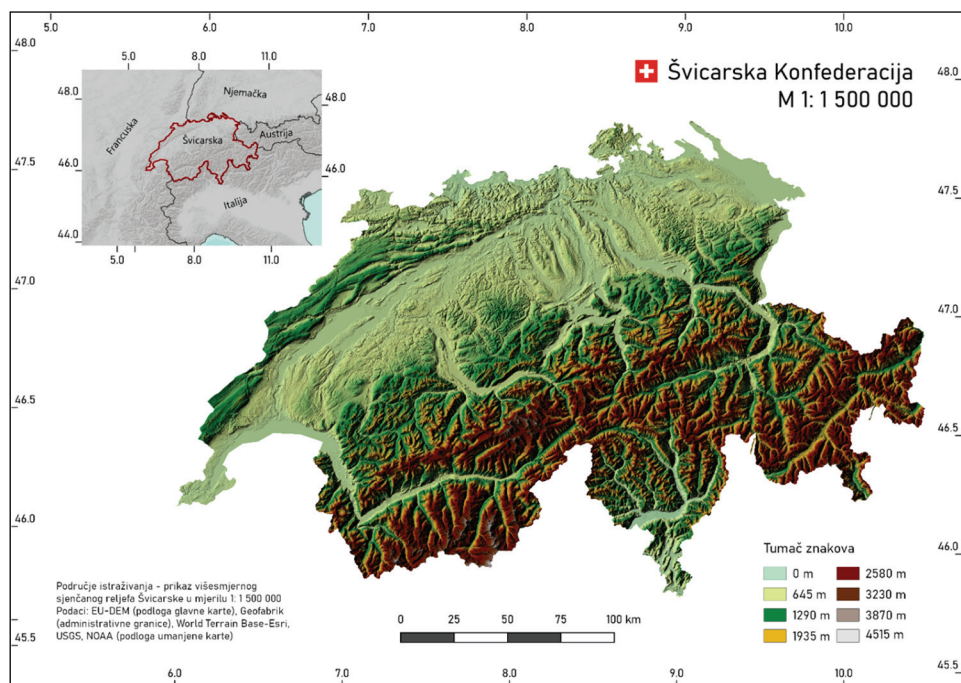
Prilikom prikazivanja topografskih parametara na karti potrebna je odgovarajuća boja za vizualnu interpretaciju. Shema boja na karti može biti siva skala, jednobojna ili višebojna skala. Jenny i Hurni (2006) definiraju dva pristupa kojima se bojom može utjecati na kvalitetniju simulaciju trodimenzionalnosti terena kod sjenčanja reljefa: moduliranje boje pod utjecajem visine i izloženosti izvoru svjetlosti, te hipsometrijsko bojanje. Pri tome se hipsometrijsko bojanje smatra jednostavnijom tehnikom kod koje boju povezuemo, odnosno dodjeljujemo, ovisno o nadmorskoj visini. Općenito se toplije boje koriste za osjećaj blizine za niže nadmorske visine, a neutralne i hladnije boje za dojam udaljenih područja s višom nadmorskom visinom (Guo i Wang 2003). U ovom istraživanju su prilikom izbora boja za izradu karte korištene relativno svjetlije i prirodnije boje, držeći se načela „više je svjetlije“ te kartografskog stila Eduarda Imhofa. Kako bi simulirali zračnu perspektivu upotrijebili smo hladnije zelene i plave tonove za nizinska područja (slika 5).

Zračna (ili atmosferska) perspektiva zapravo nastaje kao rezultat sitnih čestica u atmosferi koje raspršuju svjetlost, a posljedica je da se značajke reljefa u pozadini čine slabijima od onih u prvom planu (Jenny i Patterson 2020). Na taj način dobiva se prividna izmaglica, odnosno dojam atmosferskog utjecaja prilikom promatranja terena na karti što ima za posljedicu da se planine čine bliže korisniku pa postoji jači kontrast između tamnih, zasjenjenih padina i svijetlih, osvjetljenih padina. U ovom radu koristili smo metode grafičkog miješanja pojedinih slojeva (engl. *blending mode*) dostupnih unutar QGIS-a. Grafičko miješanje uobičajena je metoda finog podešavanja načina na koji se slojevi rastera miješaju te kako izgledaju u interakciji s ostalim slojevima grafičkog prikaza. U GIS softverima uvriježeno je prikaz slojeva kontrolirati redosljedom slojeva i transparentijom pojedinog sloja. Dostupnost funkcionalnosti miješanja pojedinih slojeva unutar GIS-a predstavlja veliki napredak na području vizualizacije jer umanjuje potrebu za naknadnom obradom korištenjem softvera za grafički dizajn (Tzvetkov 2018).

3.1. Područje istraživanja

Za područje istraživanja odabrano je područje Švicarske Konfederacije (slika 3). To područje odabrano je jer postoji mogućnost usporedbe digitalne karte

s originalnim kartama na kojima je primijenjen postupak sjenčanja reljefa u švicarskom stilu. Reljef Švicarske sastoji se od tri različita geografska dijela: Jure na sjeverozapadu (obuhvaća 10% površine), visoravni u srednjem dijelu (obuhvaća 30% površine), te Alpe na jugu i jugoistoku (obuhvaća 60% površine). S obzirom na navedeno, može se reći da je reljef Švicarske izrazito pogodan za ovu tehniku sjenčanja.



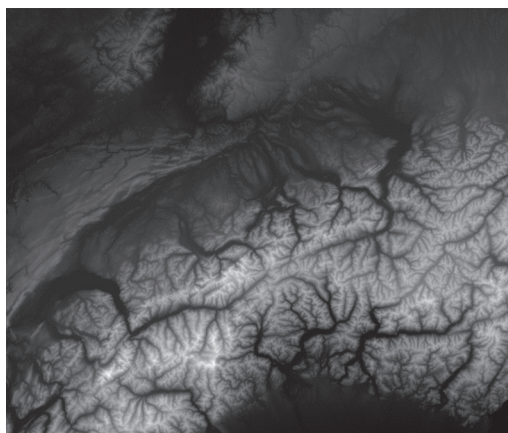
Slika 3. Prikaz lokacije i područja istraživanja – karta Švicarske Konfederacije u mjerilu 1:1 500 000 (višesmjerni sjenčani reljef).

3.2. Proces izrade karte

Kao osnovni sloj za izradu digitalne karte korišten je europski digitalni model reljefa (EU-DEM) koji je javno dostupan (otvoren) izvor podataka programa Copernicus kojim upravlja Europska agencija za okoliš (URL 2). Podaci europskog DMR-a preuzimaju se u obliku 32-bitne Geotiff datoteke te pokrivaju uglavnom europsko područje pri čemu su jedan raster pokriva područje površine 1000x1000 km. Prostorna rezolucija DMR-a iznosi 25x25 m, a vertikalna točnost iznosi ± 7 m. Preuzeti DMR nalazi se u ETRS89-LAEA referentnom koordinatnom sustavu u Lambertovoj azimutalnoj ekvivalentnoj projekciji (EPSG: 3035).

U procesu izrade karte korišten je besplatni geoinformacijski sustav otvorenog koda QGIS 3.14.0. Prvo smo preuzeti rasterski sloj DMR-a izrezali na područje

Švicarske. Prije samog obrezivanja preuzeta je administrativna granica Švicarske u *shapefile* formatu (URL 3) sa mrežne stranice Geofabrik (URL 4). Za potrebe rezanja rastera izrađen je novi vektorski sloj unutar kojeg je iscrtan poligon koji obuhvaća područje Švicarske Konfederacije zajedno s administrativnom granicom. Novi izrezani rasterski sloj (slika 4) ima minimalnu vrijednost nadmorske visine od 63,50 m te maksimalnu vrijednost nadmorske visine od 4517,84 m.



Slika 4. Izrezani raster preuzetog DMR-a za područje Švicarske.

Dobiveni rasterski sloj, koji predstavlja osnovni sloj u izradi karte, umnožen je tri puta i na svakoj kopiji provedena je određena funkcija. Na prvom dupliciranom rasterskom sloju primijenjena je funkcija jednosmjernog sjenčanja reljefa. Primjenom ove funkcije izlazni proizvod je raster s efektom sjenčanog reljefa, što je vrlo korisno za vizualizaciju terena. Funkcija pruža opcije određivanja azimuta i visinskog kuta izvora svjetlosti, faktora vertikalnog izdizanja terena (engl. *vertical exaggeration factor*) i faktora promjene mjerila, tzv. skaliranja (engl. *scaling factor*), kako bi se uzele u obzir razlike između okomitih i vodoravnih jedinica. Algoritam je izveden upotrebom GDAL DEM uslužnog alata (URL 5).

Na drugom dupliciranom rasterskom sloju primijenjena je funkcija višesmjernog sjenčanja (engl. *multidirectional hillshade*). Unutar softvera QGIS funkcija sadrži jednake parametre kao i funkcija jednosmjernog sjenčanja. Tradicionalno jednosmjerno sjenčanje nastaje osvjetljavanjem terena iz jednog smjera, najčešće iz smjera sjeverozapada (azimut 315°). Ograničenje tradicionalne metode je to što najčešće daje previše eksponirane rezultate sa zaklonjenim detaljima na neosvijetljenim stranama. Kako bi se eliminirao taj problem, funkcijom višesmjernog sjenčanja teren je osvjetljen iz nekoliko smjerova (225°, 270°, 315°, 360°). Time se dobiva realniji prikaz terena i poboljšava ravnoteža između previše izloženih i neosvijetljenih područja na karti.





















Treći duplicirani rasterski sloj je topografski sloj koji stvara izgled poput izmaglice. Takav sloj se može usporediti s tehnikom sfumato koju su koris-

tili renesansni slikari. Sfumato je način slikanja, a ime je dobio po talijanskoj riječi *fumo*, što znači dim. Takvim načinom slikanja izbjegavaju se oštri obrisi i granične linije čime se postiže efekt prozirnog vela koji zamagljuje cijelu kompoziciju (URL 6). Korištenje ovakvog topografskog sloja služi kao suptilna neprozirna maska za simuliranje magle i drugih atmosferskih čestica. Postupak izrade topografskog sloja magle unutar QGIS-a se sastoji od provođenja funkcije jednosmjernog sjenčanja te uređivanja atributa sloja kako bi postigli željeni cilj. Potrebno je vrstu prikaza promijeniti u pseudoboju jednog kanala (engl. *singleband pseudocolor*) i upotrijebiti vrijednosti 0 i 3000 za minimalnu i maksimalnu vrijednost čime se ograničava maksimalni opseg magle na 3000 m nadmorske visine. Skala boja navedenog sloja se određuje ručnim upisivanjem vrijednosti boja u HSV modelu boja (engl. *hue, saturation, value* – nijansa, zasićenje, svjetlina):

- lijevi gradijent – HSV: 215°, 15%, 50% i 75% prozirnosti,
- desni gradijent – HSV: 215°, 15%, 50% i 0% prozirnosti.

Treba napomenuti da važan korak pri izradi magle predstavlja promjena načina miješanja sloja u opciju osvjtljivanja (engl. *lighten*).

Prije konačnog preklapanja slojeva na osnovni rasterski sloj primijenjena je skala boja u svrhu vizualizacije reljefa u švicarskom stilu. Prilikom izrade hipsometrijske skale boja korišten je alat dostupan na web-u pod nazivom Image Color Picker (URL 7) kako bismo dobili precizne nijanse pojedinih nadmorskih visina. Alat omogućuje učitavanje slika (ili URL-a slika), a kao izlazni podatak daje HTML kod boje za odabrani piksel. Uz to moguće je preuzeti vrijednost heksadecimalnog (HEX) koda boje, kao i vrijednost u RGB i HSV modelima boja. Na taj način su učitavane karte Eduarda Imhofa, te dobiveni kodovi boja koji su korišteni u QGIS-u za izradu prilagođene hipsometrijske skale boja (slika 5).

	<= 219.40 m		771.74 - 858.60 m
	219.40 - 292.89 m		858.60 - 967.73 m
	292.89 - 370.85 m		967.73 - 1112.50 m
	370.85 - 419.84 m		1112.50 - 1308.49 m
	419.84 - 471.07m		1308.49 - 1528.98 m
	471.07 - 531.20 m		1528.98 - 1771.74 m
	531.20 - 582.43 m		1771.74 - 2021.18 m
	582.43 - 638.11 m		2021.18 - 2283.99 m
	638.11 - 698.24 m		2283.99 - 2593.57 m
	698.24 - 771.74 m		> 2593.57 m

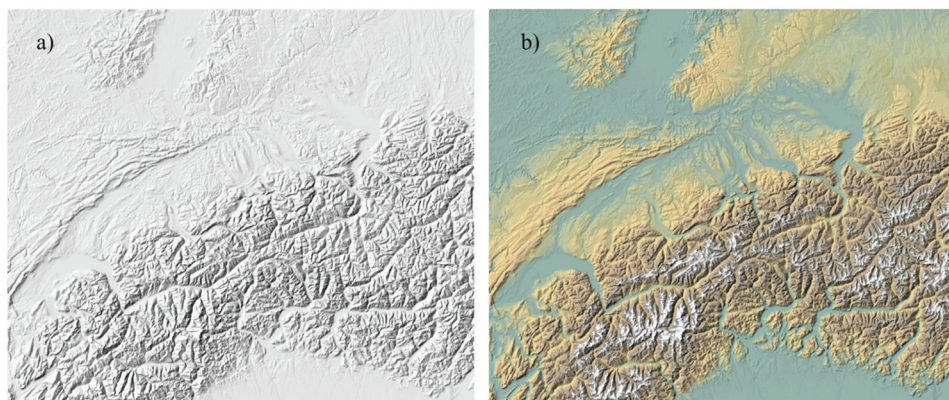
Slika 5. Izrađena skala boja korištena u završnoj izradi karte.

4. Rezultati

Funkcija provedena nad prvim izvedenim rasterskim slojem je funkcija jednosmjernog sjenčanja. Odabrani su sljedeći parametri sjenčanja reljefa:

- visinski kut izvora svjetlosti: 35° ,
- azimut izvora svjetlosti: 300° ,
- z-faktor: 2,
- svjetlina: 20,
- zasićenje 10.

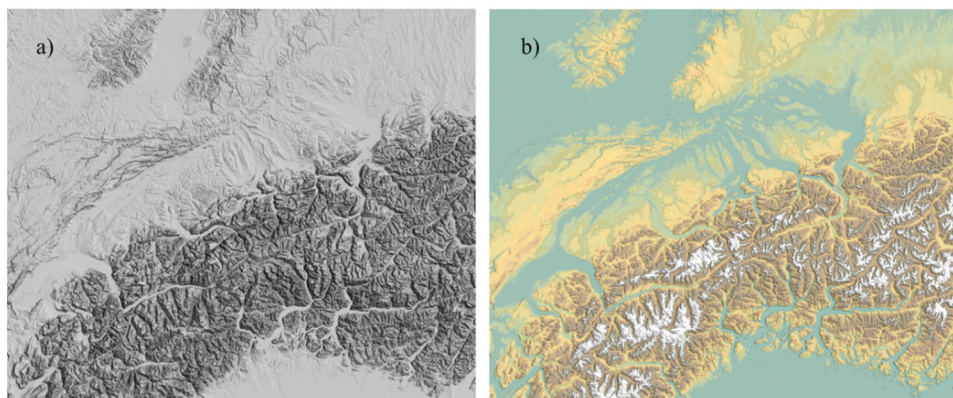
Slika 6a prikazuje rezultat funkcije jednosmjernog sjenčanja vizualiziran u sivoj skali, a na slici 6b je vidljiv sjenčani reljef u prethodno kreiranoj skali boja.



Slika 6. Jednosmjerno sjenčanje upotrebom: a) sive skale, b) skale boja.

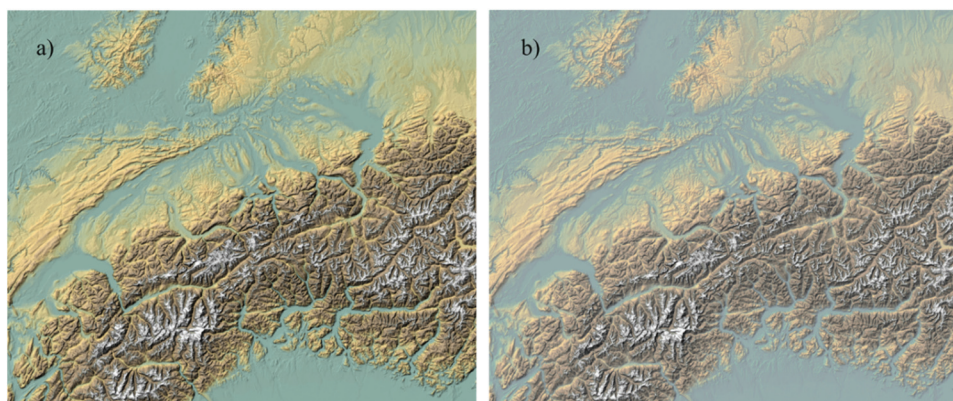
Nad drugim izvedenim rasterskim slojem provedena je funkcija višesmjernog sjenčanja. Rezultat višesmjernog sjenčanja reljefa u sivoj skali vidljiv je na slici 7a, a rezultat višesmjernog sjenčanja reljefa u prethodno kreiranoj skali boja vidljiv je na slici 7b. Postavljeni parametri višesmjernog sjenčanja reljefa su:

- visinski kut izvora svjetlosti: 45° ,
- azimut izvora svjetlosti: 315° ,
- z-faktor: 2,
- svjetlina: 160,
- zasićenje: 10.



Slika 7. Višesmjerno sjenčanje upotrebom: a) sive skale, b) skale boja.

Slika 8a prikazuje kartu nastalu preklapanjem DMR-a, sloja s jednosmjernim sjenčanjem i sloja s višesmjernim sjenčanjem, pri čemu je način miješanja slojeva postavljen na umnažanje (engl. *multiply*). Za usporedbu je na tu kartu uz navedene slojeve dodatno postavljen topografski sloj magle (slika 8b), a način miješanja tog sloja je postavljen na osvjetljivanje.



Slika 8. Prikaz sjenčanog reljefa: a) bez topografskog sloja magle, b) s topografskim slojem magle.

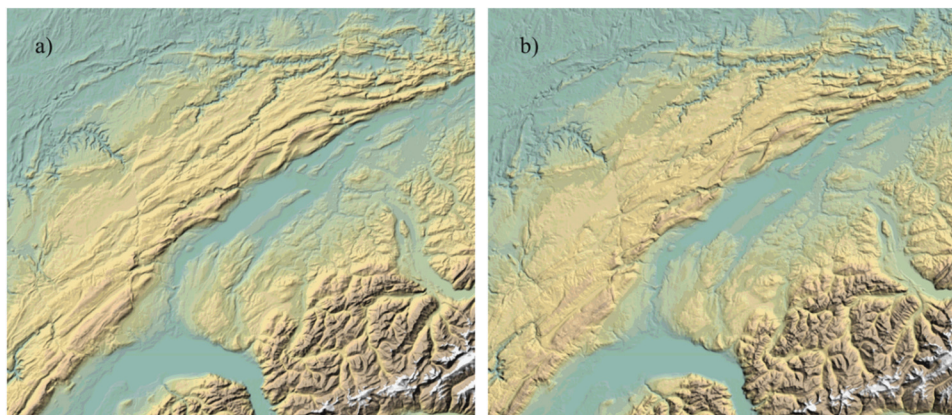
Na isti način kao što je prethodno učitana administrativna granica Švicarske, učitane su i granice susjednih država. Za završnu izradu karte izrađeni su toponimi susjednih država koji su sadržavali samo troslovnu kraticu, zatim toponim švicarske na engleskom jeziku, te dodatan maskirni sloj. Svrha tog vektorskog sloja jest izbljediti područje izvan granice Švicarske, odnosno naglasiti administrativno područje Švicarske koje je u fokusu karte. Konačni izgled izradene karte Švicarske u mjerilu 1:1 500 000 prikazan je na slici 9.



Slika 9. Završna karta Švicarske u mjerilu 1:1 500 000.

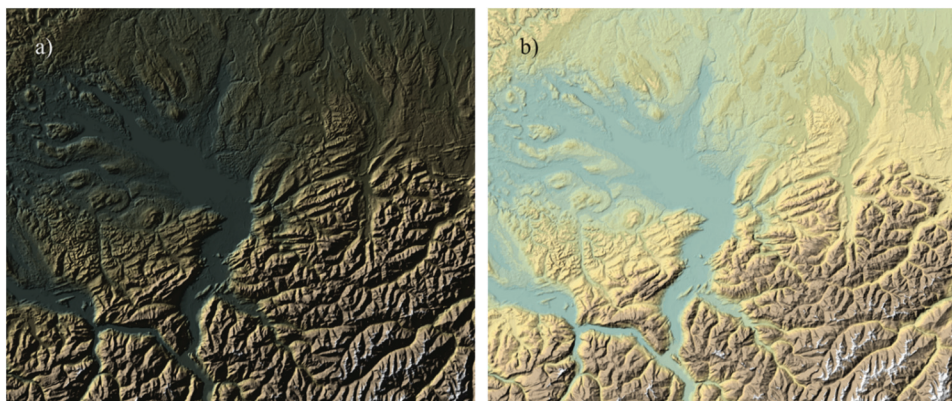
5. Rasprava

Smjer izvora svjetlosti važan je čimbenik za oblikovanje sjenčanog reljefa. Parametri izvora svjetlosti su visinski kut i azimut, odnosno kut i smjer osvjetljenja. Uobičajeni smjer izvora svjetlosti je s gornje lijeve strane, odnosno iz smjera sjeverozapada (slika 10a). Štoviše, istraživanje koje su proveli Biland i Čoltekin (2016) otkriva da kut upada svjetlosti od $337,5^\circ$, odnosno smjer sjever-sjeverozapad, daje najveću točnost ispravne identifikacije reljefnog oblika. Isto istraživanje pokazuje da je raspon azimuta između $337,5^\circ$ i 0° najbolji, a između 315° i 45° prihvatljiv. Manje popularno je osvjetljenje s juga ili istoka koje u ekstremnim slučajevima daje efekt obrnute topografije. Kao rezultat toga planine se pojavljuju kao doline i obrnuto. Ako se pažljivo izvede, sjenčani reljef s južnim osvjetljenjem može prikazati teren u ispravnom i živopisnom obliku. Međutim, karte s južnim osvjetljenjem je općenito teže čitati (slika 10b).



Slika 10. *Primjer sjenčanog reljefa koristeći azimut od: a) 300°, b) 150° (efekt obrnutog reljefa).*

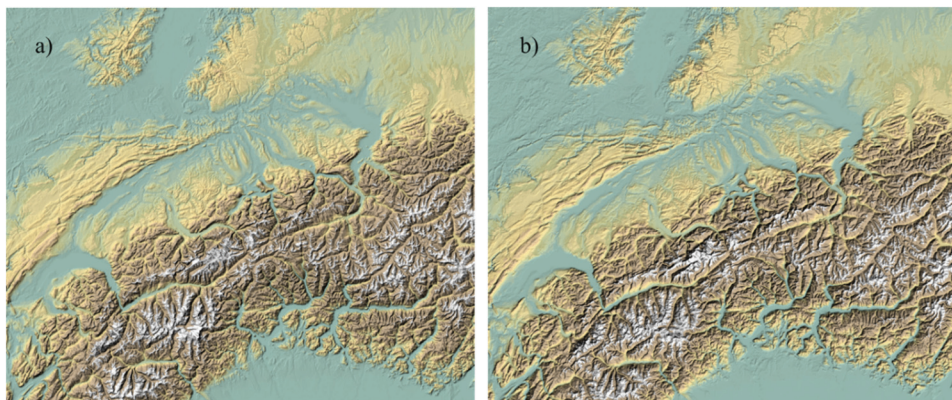
Visinski kut se mjeri u stupnjevima položaja izvora svjetlosti u odnosu na horizont. Vrijednost visinskog kuta izvora osvjetljenja od 0° predstavlja izvor svjetlosti koji je postavljen (smješten) na horizontu, dok vrijednost od 90° postavlja izvor svjetlosti ravno iznad korisnika karte. Ukoliko se odabere vrijednost bliža iznosu od 90° (iznad nas) dobivaju se niski predjeli poput prejako eksponiranih fotografija, eliminirajući bilo kakve detalje u ravnijim regijama. U planinskim područjima, kada svjetlost pada gotovo od vrha prema dolje, svjetlina je ujednačena, ali se određene suptilne značajke terena prikazuju nejasno (slika 11a). Kada je visinski kut postavljen bliže horizontu, kontrast svjetlosti je velik, ali suptilne značajke se jasno prikazuju (slika 11b).



Slika 11. *Primjer sjenčanog reljefa upotrebom visinskog kuta od: a) 80°, b) 30°.*

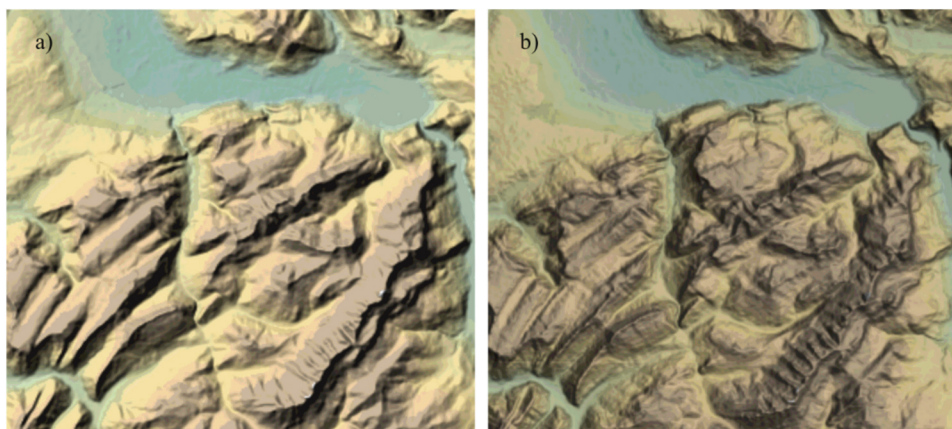
Kada je azimut postavljen na vrijednost od 315° , odnos između izvora svjetlosti i terena je gotovo okomit (slika 12a). Kod takvih postavki moguće je prikazati

više topografskih podataka. Kada je azimut postavljen na 45° , odnos između izvora svjetlosti i terena je skoro paralelan čime se gubi veliki broj topografskih podataka (slika 12b).



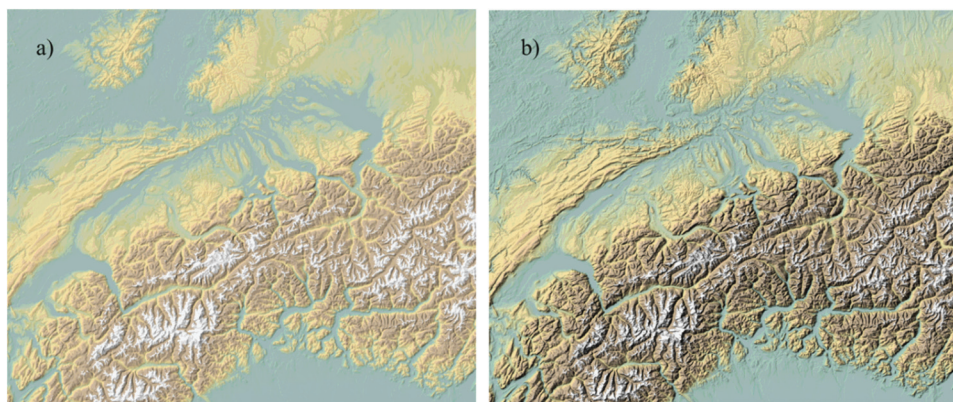
Slika 12. Razlika u izgledu sjenčanog reljefa i količini prikazanih detalja topografskih značajki terena upotrebom azimuta od: a) 315° , b) 45° .

Za razliku od jednosmjernog sjenčanja, višesmjerno sjenčanje predstavlja neusporediv pogled na svjetske planine, visoravni, doline i kanjone koristeći algoritam koji računa sjenčanje iz više različitih izvora svjetlosti. Tradicionalno sjenčanje nastaje osvjetljenjem iz jednog smjera, najčešće sjeverozapada. To često daje za rezultat da su osvijetljene padine presvijetle, a detalji terena na neosvijetljenim stranama su zamagljeni. Ovaj problem je izraženiji u područjima srednjih do visokih padina (slika 13a). Međutim, promjenom smjera svjetlosti iz više različitih izvora, reljef je prikazan realnije, a previše osvijetljena i neosvijetljena područja karte su uravnotežena (slika 13b).



Slika 13. Detalj prikaza: a) jednosmjernog sjenčanja, b) višesmjerno sjenčanje.

Okomito izdizanje reljefa je parametar koji može biti koristan u slučaju kada se jedinice Z razlikuju od jedinica X i Y (npr. stope i metri). Zadana vrijednost je 1, a povećanjem ili smanjenjem vrijednosti parametra dolazi do tzv. prenaplašenog izdizanja, odnosno prenaplašenog izravnavanja terena. Na taj način moguće je izmijeniti krajnji rezultat prikaza čineći reljef više ili manje brdovitim nego što on u stvarnosti je. Podešavanje ovog parametra može biti naročito korisno u područjima gdje reljefni oblici nisu dovoljno naglašeni, kao što su npr. nizine (vidljivo u gornjem lijevom dijelu slike 14b). Slika 14 prikazuje utjecaj različitih vrijednosti z -faktora na krajnji izgled reljefa.



Slika 14. *Primjer sjenčanog reljefa upotrebom z -faktora od: a) 1, b) 4.*

6. Zaključak

Na temelju provedenog istraživanja prikazano je da je moguće izraditi digitalnu kartu Švicarske isključivo upotrebom besplatnog GIS softvera slijedeći načela sjenčanja reljefa u švicarskom stilu. Implementacijom nekoliko jednostavnih i brzih metoda uspješno je povećana kvaliteta vizualizacije reljefa. Za potrebe izrade karte preuzet je digitalni model reljefa za područje Europe (EU-DEM) i nad njime su provedene funkcije jednosmjernog i višesmjernog sjenčanja. Za što bolju i vjerodostojniju vizualizaciju planinskog terena specifičnog za područje Švicarske izrađena je posebna skala boja. Pregledom tehnološkog razvoja, počevši od kromolitografije, preko fotomehaničke reprodukcije do suvremenih digitalnih tehnika, može se primijetiti da je na shemu boja uvijek utjecala suvremena tehnologija.

Sjenčanje reljefa ima snažnu vezu sa smjerom izvora svjetlosti. Različiti položaji izvora svjetlosti utječu na prikaz topografskih podataka i raspodjelu sjena. Kako bi se postigao umjetnički učinak ručno sjenčanog reljefa, potrebno je koristiti različite smjerove izvora svjetlosti za različite kartografske regije. Broj i raspodjela izvora svjetlosti utječe na prikaz višesmjernog sjenčanja reljefa. Više izvora svjetlosti može smanjiti maskiranje sjena i prikazati informacije

o reljefu u potpunosti. Ravnomjerno i centralizirano usmjerenje izvora svjetlosti dovodi do toga da su pojedini dijelovi karte presvijetli čime se gube neke informacije o reljefu. Kod prikazivanja sjenčanog reljefa za planinska područja težina izvora svjetlosti trebala bi biti postavljena na vrijednost azimuta od 315° , a ukoliko se odabire drugi iznos azimuta treba uzeti u obzir da postoji određena doza privida pri određivanju vrhova i dolina. Ipak, treba uzeti u obzir da istraživanja koje se bave vizualnom percepcijom terena sadrže izvjesnu subjektivnost koju se teško može izraziti mjerljivim parametrima.

Geoinformacijski sustav otvorenog koda QGIS te javno dostupni i besplatni digitalni model reljefa omogućuju stvaranje sjenčanog reljefa u iznimno kratkom vremenu i uz minimalnu razinu predznanja. Upotrebom dostupnih digitalnih alata danas može se postići sličan ili čak bolji izgled sjenčanog reljefa, nego u analogno doba. Topografski parametri izvedeni iz DMR-a mogu se prikazati na dvodimenzionalnim kartama ili upotrijebiti kao kartografska podloga. Njihovom upotrebom ističe se raznolikost značajki terena prilikom vizualizacije reljefa. Pri tome treba naglasiti da svaki topografski parametar ima različite karakteristike, a primjena i vrijednosti pojedinog parametra ovisi o zahtjevima korisnika te utječe na konačni rezultat prikaza karte.

Literatura

- Biland, J., Çöltekin, A. (2016): An empirical assessment of the impact of the light direction on the relief inversion effect in shaded relief maps: NNW is better than NW, *Cartography and Geographic Information Science*, 44, 4, 358–372.
- Farmakis-Serebryakova, M., Hurni, L. (2019): Analysis of Relief Shading Tools and Methods for Terrain Representation, *Abstracts of the International Cartographic Association*, 1, 29th International Cartographic Conference, Tokyo.
- Frančula, N. (2004): Digitalna kartografija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Guo, Q. S., Wang, X. Y. (2003): The Technique of Relief Shading with Multi-directional Lights, *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*, Durban.
- Gurtner, M. (2008): The Swiss Alpine Club SAC and its role in national mapping, *Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop*, Lenk, 81–84.
- Imhof, E. (1982): *Cartographic Relief Presentation*, Walter de Gruyter, Berlin, 2015, 389.
- Jenny, B., Hurni, L. (2006): Swiss-Style Colour Relief Shading Modulated by Elevation and by Exposure to Illumination, *The Cartographic Journal*, 43, 3, 198–207.
- Jenny, B., Patterson, T. (2021): Aerial Perspective for Shaded Relief, *Cartography and Geographic Information Science*, 48, 1, 21–28.

- Kretschmer, I. (2000): Naturnahe Farben kontra Farbhypsometrie, *Cartographica Helvetica*, 21, 39–48.
- Loisios, D., Tzelepis, N., Nakos, B. (2007): A methodology for creating analytical hill-shading by combining different lighting directions, *Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference, Moscow*, 78.
- Maune, D. F. (2007): *Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda.
- Räber, S., Jenny, B., Hurni, L. (2009): Swiss Style Relief Shading Methodology: Knowledge base for further development and application in digital cartography, *Proceeding for the 24th International Cartographic Conference, Santiago*.
- Tzvetkov, J. (2018): Relief Visualization Techniques Using Free and Open Source GIS Tools, *Polish Cartographical Review*, 50, 2, 61–71.
- Vinković, A., Župan, R., Frangeš, S., Medak, D. (2021): Combining multiple shaded reliefs with hypsometric colouring and digital orthophotos using free and open-source software, *Proceedings of the International Cartographic Association*, 4, 111.
- Wang, Y. H., Tseng, Y. H. (2015): Raster mapping of topographic parameters derived from high resolution Digital Elevation Models, *ACRS 2015 – 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia*, *Proceedings, Quezon City*.

Mrežne adrese

- URL 1: QGIS, <https://www.qgis.org/>, (2. 3. 2022.).
- URL 2: Copernicus EU-DEM, <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=download>, (2. 6. 2021.).
- URL 3: Shapefile – ArcGIS Online Help, Documentation, <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/shapefiles.htm>, (3. 3. 2022.).
- URL 4: Geofabrik, <https://www.geofabrik.de/>, (3. 3. 2022.).
- URL 5: GDAL Tools Plugin, https://docs.qgis.org/2.2/en/docs/user_manual/plugins/plugins_gdaltools.html, (2. 8. 2021.).
- URL 6: Sfumato Wikipedia, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Sfumato>, (4. 8. 2021.).
- URL 7: Image Color Picker, <https://imagecolorpicker.com/>, (4. 8. 2021.).

Creating a Map of Switzerland Using Swiss Style Relief Shading

ABSTRACT. Swiss style relief shading is an efficient and visually eye-catching method of presenting the third dimension of relief on a two-dimensional map. This method is used for presenting the terrain in a natural, discerning and intuitive way. When using that kind of relief shading an important element is the use of a modified colour scale and the effect of aerial perspective. In the first part of this paper the graphic and technical developments as well as the basic principles of Swiss style relief shading were described. The second part of the paper was based on the production of the shaded relief automatically derived from the digital elevation model using free GIS software. Inspired by the work of Eduard Imhof in the field of cartographic relief representation, I created a digital map of Switzerland by applying the classic Swiss school techniques. The process of creating a map consists of overlapping of multiple layers (hillshade, multidirectional hillshade and aerial perspective) derived from the digital elevation model within the Quantum GIS software.

Keywords: relief shading, digital elevation model, GIS, aerial perspective.

Primljeno / Received: 2022-03-04

Prihvaćeno / Accepted: 2022-03-18