

UDK 528.93:623.64:528.915:004.6
Stručni članak

Ispitivanje točnosti Topografske karte u mjerilu 1:25 000 u izdanju Vojnogeografskog instituta u Beogradu

Branko PUCEKOVIĆ – Zagreb¹

SAŽETAK. Prikazani su postupci i metode u procjeni kvalitete Topografske karte u mjerilu 1:25 000 (TK25) u izdanju Vojnogeografskog instituta (VGI) u Beogradu, koji se odnose na prvo izdanje te karte. Sva mjerenja i ispitivanja točnosti obavili su stručnjaci iz VGI-a. Karta kao konačni proizvod bila je otisnuta na papiru na kojem su obavljena mjerenja; izračunata su odstupanja i srednje pogreške za ocjenu točnosti. Obradene su tri komponente karte: geografska, matematička i likovna. Ispitana je stvarna položajna točnost koordinatne mreže, osnovnih i detaljnih točaka, te visinska točnost reljefa prikazanog izohipsama i kotama. U današnje digitalno doba definirani su elementi kvalitete prostornih podataka o položaju, svojstvima i odnosima pojava u prostoru. Nakon definicije slijedi mjerenje kvalitete prostornih podataka da bi se konačno pristupilo njihovoj analizi i vizualizaciji.

Ključne riječi: topografska karta, VGI, kvaliteta, pogreška, prostorni podaci, točnost.

1. Uvod

Topografske karte mjerila 1:25 000 i sitnijega (1:50 000, 1:100 000, 1: 200 000, 1:500 000 i 1:1 000 000) izdao je nakon II. svjetskog rata Vojnogeografski institut u Beogradu (VGI). VGI je obnovljen odmah nakon oslobođenja Beograda 1944. Osim te vojne ustanove, ubrzo se osnivaju nove civilne kartografske ustanove: Učila u Zagrebu (Tlos od 1972. godine) i Geokarta u Beogradu. U kartografskim zavodima na fakultetima u Ljubljani i Zagrebu širi se kartografska djelatnost te se izdaju općegeografske, tematske i školske karte. Jugoslavenski leksikografski zavod radio je velike atlase i karte za svoja izdanja (Peterca i dr. 1974).

Sva ispitivanja točnosti koja se navode u ovom prikazu odnose se na prvo izdanje topografske karte u mjerilu 1:25 000 (TK25). Izrada prvog izdanja započela je izmjerom 1947. godine, a završila tiskanjem zadnjeg lista 1968. godine. Nakon 1968. godine pristupilo se sustavnom ispitivanju točnosti TK25 (Grašić i dr. 1971). Ob-

¹ mr. sc. Branko Puceković, Državna geodetska uprava, Gruška 20, HR-10000 Zagreb, e-mail: branko.pucekovic@dgu.hr.

nova prvog izdanja TK25 započela je 1968. godine, a završila je drugim izdanjem te karte (Buder 1979).

Definicija topografske karte dana je u 2. poglavlju. U 3. poglavlju navedeni su pokušaji definicije kvalitete karte koji se u literaturi često susreću kao neodređeni pojmovi. Kartografi su teorijski obradili tri osnovne komponente karte: geografsku, matematičku i likovnu (Milisavljević 1971), da bi se njihovom analizom došlo do elemenata kvalitete karte. Jedino se analizom matematičke komponente došlo do konkretnih metoda za ocjenu položajne točnosti. Druge dvije komponente karte, geografska i likovna, samo su teorijski obrađene, ali bez stvarne ocjene točnosti.

Osnovni pojmovi o vrstama pogrešaka navedeni su u 4. poglavlju, kao i rezultati konkretnih ispitivanja točnosti TK25. Rezultati se odnose samo na ispitivanje položajne točnosti, koja ima dvije komponente: horizontalnu i vertikalnu točnost.

1.1. Opći podaci o Vojnogeografskom institutu

U VGI-u je u 1970-im godinama bila najveća koncentracija najsuvremenije opreme za izradu geografskih karata. Osoblje VGI-a činile su aktivne vojne osobe – oficiri koji su se od 1945. godine školovali na Vojnom geodetskom učilištu, a nakon 1964. godine na Geodetskoj vojnoj akademiji (Petrović 1974). Svoje znanje iz kartografije usavršavali su na studiju kartografije i fotogrametrije na drugim fakultetima. Na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu neki su izradili i obranili svoje magistarske radove i disertacije: Svetislav Lazić, Miodrag Nikolić, Dragiša Nikolić, Filip Racetin, Miodrag Vlajković, Stipan Pleić, Miroslav Peterca i Ivan Buder (Frangeš 2007). Filip Racetin i Stipan Pleić neko su vrijeme radili u Hidrografskom institutu u Splitu.

Ulaganje u kadrove i opremu bilo je u interesu obrane tadašnje države, te je samo jedna vojna ustanova, kao što je VGI, mogla odgovoriti na velike potrebe za kartama u navedenim mjerilima.

Razvoj fotogrametrije i primjena novih autografa, na primjer *Wild A-5* i *A-6* (montirani su u prostorijama Hidrografskog instituta u Splitu), označili su prekretnicu u izradi karata. Samostalno aerofotosnimanje započelo je 19. 5. 1952. godine iz zračne luke Pleso (Buder 1984). VGI je obavljao niz teorijskih i praktičnih radova i analiza iz područja geodezije, fotogrametrije, topografije, kartografije, geofizike i geografije.

1.2. Povijest izrade TK25 u VGI-u

Topografska izmjera u mjerilu 1:25 000 započela je 1947. i trajala je do 1968. godine. Bio je to mukotrpan i spor posao jer se radilo grafičko-tahimetrijskom metodom (Frangeš 2012). Za ilustraciju spomenimo da je 1956. godine u topografsku izmjeru bilo uključeno oko 200 geodetskih časnika, 1118 vojnika, 315 konja, 41 dvoosovinska kola i 23 motorna vozila. Prvi list TK25 izašao je iz tiska 1951. godine, a zadnji, 3029-i, krajem 1968. godine. Drugo izdanje TK25 radilo se u razdoblju od 1968. do 1980. godine (VGI 1984). Fotogrametrijskom metodom kartiranja je 83 % od ukupnog broja listova TK25 (Buder 1984).

SR Hrvatska bila je u sastavu SFRJ sve do njezina raspada 1991. godine. Do tada su sva izdanja TK25 za teritorij Republike Hrvatske bila otisnuta u VGI-u u Beogradu. Ispitivanje točnosti listova TK25, koje je započelo je 1970-ih godina, izvedeno je tada najsvremenijim metodama s obzirom na raspoloživu opremu, mjerne instrumente i znanstvena dostignuća.

Svjedoci smo gotovo svakodnevnih promjena te korištenja novih tehnologija i softverskih rješenja u svim znanostima, pa tako i u geodeziji, kartografiji i geografiji. Iako su ispitivanja točnosti listova TK25 izvedena prije četrdesetak godina, ona su aktualna i danas jer su principi i metode ispitivanja ostali isti; osim toga, to su jedina ispitivanja točnosti tog izdanja karte. Iz te činjenice proizlazi i vrijednost takvih ispitivanja. Podsjetimo se da tada još nije bilo digitalno doba, svi listovi karte bili su otisnuti samo na papiru i autor kartograf mogao je pratiti cijeli tijek izrade karte od početka do kraja, do finalnog proizvoda, jer nisu postojali GIS alati niti baze podataka. Pojam kvalitete karte bio je izveden na drugačiji način jer su ispitivani listovi karte samo u analognom obliku, a točnost, kao jedan od elemenata kvalitete karte, bila je svedena samo na geometrijsku točnost.

2. Definicija topografske karte

Topografska karta opća je geografska karta s velikim brojem informacija o mjesnim prilikama prikazanog područja, koje se odnose na naselja, prometnice, vode, vegetaciju, oblike reljefa Zemlje i granice teritorijalnih područja, sve dopunjeno opisom karte. Svi navedeni objekti prikazuju se na topografskoj karti s jednakom važnošću (Frangješ 2003). Svaka karta može biti vidljiva kao otisak na papiru ili kao slika na zaslonu monitora. Virtualna karta ne može se opipati, a da bi bila vidljiva mora se iz datoteke kartografskih proizvoda transformirati u stanje izravne vidljivosti (URL 1).

Svakomu kartografu njegov je proizvod, a to je karta, dragocjen i vrijedan. Osim osobne, subjektivne procjene treba odgovoriti na pitanje je li karta ispunila sva očekivanja koja se odnose na njezinu uporabnu vrijednost, i konačno, koliko je kvalitetna.

3. Pojam kvalitete karte

U literaturi je teško naći definiciju za kvalitetu karte; ona se često javlja kao neodređen pojam. Za objašnjenje kvalitete koriste se razni pojmovi: *nedvosmislena jasnoća*, *jednoliko opterećenje karte* ili *estetski dobro riješena karta*. Ti neodređeni izrazi, bez dodatnog objašnjenja, ne znače puno (Milisavljević 1971).

O kvaliteti karte Eckert kaže: „Ako istaknemo sve dobre karakteristike karte, loše će se pojaviti same od sebe... Od karte se traži da je točna, potpuna, jasna i razumljiva, čitljiva, lijepog vanjskog izgleda i pogodna za uporabu“ (Eckert 1921–25). Eckert stavlja naglasak na točnost, a potom spominje potpunost i lijepi izgled.

Sovjetski kartografi u svojim analizama i procjenama karte nastojali su odgovoriti na mnoga pitanja: je li karta geometrijski točna, geografski vjerna, sadržajno potpuna, suvremena? Milisavljević (1971) navodi da sovjetska kartografinja

L. S. Garajevskaja u postupku procjene kvalitete najprije ispituje popunjenost, a zatim točnost i suvremenost.

Kvaliteta se može izraziti i odgovorima na ova pitanja:

Je li, i u kojem stupnju zadovoljena namjena karte? Jesu li pravilno iskorištene sve mogućnosti koje dopušta mjerilo karte? U kojoj su mjeri prikazane geografske karakteristike za područje kartiranja? Odgovori na ta opća pitanja ne mogu nas zadovoljiti; potrebno je sustavno analizirati sve elemente kvalitete karte (Milisavljević 1971).

Kartu možemo promatrati kroz njezine tri osnovne komponente, koje proizlaze iz same definicije, a to su:

- geografska komponenta
- matematička komponenta i
- likovna (estetska) komponenta.

Ako bismo zanemarili bilo koju od tih komponenti, tada ne bismo imali kartu nego neki prikaz Zemljine površine: skicu, crtež, snimku ili umjetničku sliku. Velika je razlika između snimke i karte, jer „snimka daje sve, ne daje ništa“ (Eckert 1921–25). Na snimci ništa nije naglašeno, izdvojeno; fotosloj prima sve važno i nevažno. Naš mozak nije u stanju primiti sve, više mu odgovara karta koja je pregledna i na kojoj je istaknuto ono što je tipično. Karta zbog sažetih pojmova i činjenica olakšava psihičkom mehanizmu čitanje njezina sadržaja i tako daje korisniku veliku uštedu u vremenu. Zbog te činjenice karta će, za korisnika, uvijek biti vrednija od snimke.

Današnji korisnici preuzimaju ulogu kartografa i oni će teško, bez informacije o kvaliteti prostornih podataka, odabrati najpogodniji skup podataka. Poznavanje kvalitete prostornih podataka u digitalnim datotekama obuhvaća puno više detalja od položajne točnosti iz analognog doba. Povjerenstvo za kvalitetu prostornih podataka Međunarodnoga kartografskoga društva (*International Cartographic Association*, ICA) definira pet elemenata kvalitete prostornih podataka: podrijetlo, položajnu točnost, točnost atributa, potpunost i logičku konzistentnost, a zatim uzima u obzir još dva dodatna elementa: semantičku točnost i vremensku informaciju. Kartografi današnjice trebali bi se baviti metodama mjerenja svakog elementa kvalitete, njihovom vizualizacijom i postupcima za analizu skupova prostornih podataka.

3.1. Geografska komponenta

Tu komponentu čini geografski sadržaj kao skup svih podataka na Zemljinoj površini: objekti sa svojim vidljivim oblicima i pojave, koje nemaju oblika, ali imaju svoje prostiranje. Na taj način geografski sadržaj odražava geografsku stvarnost. Važno je objasniti tu transformaciju. Geodet kartograf proučava geografske objekte u prirodi, mjeri ih, snima i registrira po posebnim kodovima. Pojedine elemente razlikuje po njihovim svojstvima, klasificira ih i diferencira. Nakon odabira i uopćavanja unosi na kartu geografske elemente pomoću uvjetnih znakova. Tako se dobije geografski sadržaj karte koji nije ekvivalent geografske stvarnosti, već njezina aproksimacija.

Tu transformaciju Eckert naziva “kartografskom indukcijom”. Kartografija je indukcijska znanost jer se temelji na promatranju i iskustvu (Eckert 1921–25).

Objekt istraživanja geografije je izgled, sadržaj i značenje pojedinih dijelova Zemljine površine (Lovrić 1988). Te pojedine dijelove zovemo topografski ili općegeografski objekti: reljef, hidrografija, tlo i vegetacija, komunikacije, naselja, geografski nazivi, područja i granice, koji se na topografskim kartama prikazuju s jednakom važnošću. Topografiju čine svi prikupljeni podaci i atributi topografskih objekata (Frangić 2003).

3.1.1. Geografska vjernost karte

Svaki znanstvenik, pa tako i kartograf, u svojim istraživanjima teži k istini. U ovom slučaju kartograf nastoji što vjernije prikazati geografsku stvarnost. Čim je veći stupanj približenja istini, tim je karta geografski vjernija. Iz toga se može zaključiti da je geografska vjernost element kvalitete karte kojim se može ocijeniti geografska komponenta.

Geografska vjernost je stupanj podudarnosti između geografske stvarnosti i geografskog sadržaja karte. Ne možemo je direktno mjeriti nego samo procijeniti pomoću geografskih elemenata: jesu li svi geografski elementi prikazani i na koji način, jesu li nakon generalizacije zadržali svoje geografske karakteristike. Procjena ovisi o vrsti karte, mjerilu i području kartiranja.

Geografska vjernost nastaje iz dva odvojena procesa: prvi proces sadrži geografsko proučavanje odabranog područja, dok se drugi koristi metodama kartografske generalizacije. Dakle, da bi karta bila autorsko djelo, potrebno je za svaku kartu posebno provesti geografsko proučavanje područja kartiranja, rezultati kojega bi se koristili za kartografsku generalizaciju. Upravo geografskim proučavanjem i kartografskom generalizacijom nastaje kvaliteta karte koju nazivamo geografska vjernost karte (Milisavljević 1971).

Budući da na karti nema mjesta za prikaz svih geografskih karakteristika, kartograf temeljem geografskog proučavanja stječe znanja o geografskoj stvarnosti, koju zatim transformira u sadržaj karte. Dakle, kartograf će odlučiti što i kako će prikazati, pazeći pritom da geografska vjernost bude što potpunija. Eckert je rekao da je izraditi dobru kartu teže nego napisati dobru knjigu (Eckert 1921–25).

U suvremenoj literaturi (Bačarner 2002) spominje se objektna i modelna generalizacija. Objektna generalizacija, značenje koje je slično geografskom proučavanju, započinje već prikupljanjem podataka za originalnu bazu podataka. U digitalnim sustavima generalizacija ne utječe samo na grafiku karte, nego i na digitalne podatke. Cilj je modelne generalizacije kontrolirano smanjenje digitalnih podataka za različite svrhe (povećanje brzine računanja i prijenosa podataka, oslobođenje memorije računala). Kartografska generalizacija svojim postupcima pridonosi boljoj geografskoj vjernosti, ali ima negativan utjecaj na geometrijsku točnost.

Autori koji su se bavili kvalitetom topografskih karata: Grašić i dr. (1971), Peterca i dr. (1974), Milisavljević (1971), u svojim radovima nisu dali konkretne postupke koji bi rezultirali ocjenom geografske vjernosti karte.

Suvremeni autori (Guptil i Morrison 2001) za procjenu kvalitete prostornih podataka ne spominju geografsku vjernost karte. *Potpunost* kao jedna od osnovnih

komponenti kvalitete prostornih podataka nije sinonim za geografsku vjernost, ali je novi pojam koji opisuje odnos između svih objekata u skupu podataka i apstraktnog univerzuma svih objekata.

Apstraktni univerzum je podskup stvarnosti koji možemo opažati, a njegovo je značenje blisko značenju geografske stvarnosti. Razlikujemo potpunost podataka i potpunost modela. Procjena potpunosti podataka može se podijeliti na procjenu formalne potpunosti, potpunosti objekata i atributa.

3.2. Matematička komponenta

Primjenom matematičkih zakona preslikava se Zemljina površina u ravninu. Geometrija karte omogućava mjerenja na njoj: položaje točaka, udaljenosti, kutove nagiba terena, veličine objekata. Matematički su elementi karte:

- kartografska projekcija
- mjerilo karte
- okvir karte i
- točke geodetske osnove.

Kartografska projekcija određuje zakon preslikavanja i raspored deformacija sa zakrivljene površine (kugle ili elipsoida) u ravninu projekcije. Pomoću matematičkih elemenata karte ispitana je geometrijska točnost prvog izdanja topografske karte u mjerilu 1:25 000 (Peterca i dr. 1974, Grašić i dr. 1971). Postupak ispitivanja detaljno je opisan u 4. poglavlju.

3.3. Likovna (estetska) komponenta

Likovni su elementi karte: točka, linija, obojena površina, brojevi i slova. Njihovom kombinacijom dolazimo do oblika i veličine znaka, a kombinacijom znakova ostvaruje se crtež na karti. Na likovnu komponentu utječu još kvaliteta i vrsta reprodukciskog materijala (papir, boje), te kvaliteta i vrsta otiska.

Estetsku komponentu možemo nazvati i vanjskim izgledom karte (Milisavljević 1971). Vanjski izgled karte obuhvaća umjetničku, vizualno-psihološku i praktičnu stranu karte. Veliki kartografi bili su i priznati estetičari, stoga je poželjno pri izradi karte poslušati i savjet estetičara.

Karakteristika je dobre karte: *da odmah izdvojimo glavno od sporednog, lako i nesmetano promatramo sadržaj karte*, dok je karakteristika loše karte: *nedovoljno izdiferenciran i nepregledan sadržaj*. Ispunjenje uvjeta: lako i nesmetano primanje sadržaja s karte, spada u kompleksno rješavanje likovne komponente.

Estetika znači osjećaj za lijepo, profinjenost, ukus, a estetično je ono što sadrži obilježje ljepote, uljepšano, oplemenjeno. Kartografika ili grafika karte tipičan je način grafičkog prikazivanja objekata na karti. Estetičnost, kao jedan od zahtjeva koje mora zadovoljiti bilo koji grafički prikaz, pa tako i kartografika, detaljno je obradio Frangeš (1998) u svojoj disertaciji. Estetske komponente cjelokupne kartografike koje povećavaju uporabnu vrijednost karte jesu harmoničnost ili sklad te ljepota. Harmoničnost općenito znači sklad dijelova cjeline, a nalazi se između dviju suprotnosti: monotonije i kontrasta. Ljepota je kartografike u potpunosti subjektivan pojam: nešto lijepo jednoj osobi ne mora biti lijepo drugoj, i obrnuto.

Komponente kojima kartograf daje svoj subjektivni grafički izraz ljepote kartografske jesu: simbolika i izbor boja te pismo ili tekst na karti koje nazivamo tipografija. Estetske komponente drugog izdanja TK25 (od 1968. do 1980. godine) Frankeš (1998) je procijenio dobrima. Kao vrlo dobre komponente istaknuo je harmoničnost boja i ljepotu signatura.

U radovima Lovrića (1988), Peterce i dr. (1974), Milisavljevića (1971), Eckerta (1924–26), Guptila i Morrisona (2001) nisu navedene metode procjene estetske komponente karte.

3.4. Uporabna vrijednost karte

Milisavljević (1971) navodi da uporabna vrijednost karte ovisi o više elemenata:

- vrsti karte
- području kartiranja
- mjerilu kartiranja
- epohi i
- općoj kvaliteti karte.

Ne može se tražiti ista kvaliteta za karte koje se razlikuju po svojoj namjeni, području kartiranja ili mjerilu. Sve karte ne zastarijevaju jednako brzo, kao ni svi elementi karte. Najbrže zastarijevaju karte krupnijih mjerila i područja na Zemlji na kojima je vidljiva čovjekova aktivnost: naselja i prometnice. Nešto sporije zastarijevaju karte sitnijih mjerila i prikazi reljefa i hidrografije, jer je utjecaj čovjekove aktivnosti na njih manji.

Umjesto uporabne vrijednosti današnji autori (Guptil i Morrison 2001) koriste pojam *pogodnost za uporabu*. Definira se kao potpunost skupa koji treba zadovoljiti zahtjeve određene primjene.

4. Ocjena točnosti topografske karte

Pojmovi pogreške i kvalitete u kartografiji nisu potpuno identični i jednoznačni kao pri geodetskim mjerenjima i opažanjima. Razlog su za to vrijednosti koje se ne mogu egzaktno mjeriti i procjena kvalitete nije oslobođena subjektivne ocjene (Peterca i dr. 1974).

Točnost je kvaliteta o kojoj ovisi uporabna vrijednost karte. Možemo je promatrati kao točnost općih informacija i geometrijska točnost.

Nemoguće je naći matematički izraz za točnost općih informacija. Na primjer, pogrešna lokacija naziva ili kote, pogrešna klasa puta, pogreška generalizacije ili pogrešni nazivi objekata. Te pogreške ne utječu na geometrijsku točnost karte.

Gdje leže uzroci subjektivizma pri ocjenjivanju točnosti nekih kartografskih operacija? Oni leže u činjenici da rješenje matematičkog zadatka može biti ispravno ili pogrešno, dok rješenje kartografskog zadatka može biti samo dobro ili loše (Peterca i dr. 1974).

Važnost točnosti prostornih podataka u kartografiji

U Međunarodnoj normi za kvalitetu ISO9000 osnovno je pravilo „ne daj ni više ni manje kvalitete nego što je korisnik traži“ (Guptil i Morrison 2001). To je pravilo u potpunoj suprotnosti pokušaju profesionalnih kartografa iz analognog doba da izrade najtočnije karte koje su bile višenamjenski proizvodi. Tada je zanimanje bilo isključivo za položajnu točnost u ravnini kartiranog objekta u odnosu na njegov položaj na Zemlji.

Pojam pogreške

Prava pogreška ili samo pogreška je razlika između prave i mjerene vrijednosti. Prava vrijednost općenito nije poznata. Umjesto prave vrijednosti može se koristiti tzv. *kvaziprava vrijednost*, koja može biti rezultat mjerenja visoke točnosti, računanja ili neke kartografske operacije. Važno je naglasiti da je prava vrijednost uvijek *višeg stupnja točnosti* od one vrijednosti koja se procjenjuje (Feil 1989).

4.1. Klasifikacija pogrešaka

Grube pogreške u kartografiji nazivamo propustima. Najčešći su uzroci njihova nastanka umor i nepažnja opažaća. Grube pogreške mjerenja lako se otkrivaju ponovljenim mjerenjem i ne upotrebljavamo ih za ocjenu točnosti.

Sustavne pogreške sustavno mijenjaju rezultat mjerenja i istog su predznaka. Poznavaњem uzroka nastanka sustavnih pogrešaka, računamo njihove veličine i njima ispravljamo mjerenja, ili podešavamo izvođenje mjerenja kako bismo te pogreške eliminirali ili ih sveli na najmanju mjeru.

Slučajne pogreške javljaju se iz nepoznatih uzroka, njihova je pojava slučajna i imaju svojstva slučajnih događaja. Mogu biti pozitivne i negativne, ponajviše male. Uzroci nastanka tih pogrešaka takvog su karaktera da ih ne možemo ispitati, a još manje odrediti veličinu njihova utjecaja. Osnovne su zakonitosti slučajnih pogrešaka:

- po apsolutnoj vrijednosti ne prelaze maksimalnu vrijednost
- male pogreške po apsolutnoj vrijednosti javljaju se češće nego velike
- kod velikog broja mjerenja podjednaka je vjerojatnost pojave pozitivnih i negativnih pogrešaka istih apsolutnih vrijednosti. To svojstvo može se prikazati izrazom:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n} = 0 \quad (1)$$

gdje su ε_i slučajne pogreške, a n je broj mjerenja.

Mjerila točnosti

Ako su u mjerenjima ostale samo slučajne pogreške, kao mjerila točnosti upotrebljavamo prosječne i srednje pogreške. Prema Čubraniću (1980) prosječna pogreška t aritmetička je sredina apsolutne vrijednosti pravih pogrešaka:

$$t = \frac{1}{n} \sum |\varepsilon| \quad \text{za } n \rightarrow \infty, \text{ izražena pravim pogreškama } \varepsilon. \quad (2)$$

Srednja pogreška je najviše korišteniji kriterij za ocjenu točnosti, čiji naziv potječe još od Gaussa, a teorijski se definira kao:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}} \quad \text{za } n \rightarrow \infty, \text{ izražena pravim pogreškama } \varepsilon, \quad (3)$$

ili se upotrebljava približna vrijednost:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}} \quad \text{za } n \neq \infty, \text{ gdje je } n \text{ broj mjerenja.} \quad (4)$$

4.2. Geometrijska točnost topografske karte

Geometrijska točnost element je kvalitete karte kojim kartograf ispituje međusobni geometrijski položaj objekata (Milisavljević 1971).

Tijekom izrade karte dolazi do malih pomaka točaka, linija i kontura koji narušavaju geometrijsku točnost karte. Uzroci su tih pomaka kvaliteta geodetske osnove, korišteniji instrumentarij, način kartografske obrade, postupak reprodukcijске pripreme i otiska karte, deformacija papira i drugo (Peterca i dr. 1974).

Osnovne su komponente geometrijske točnosti karte:

- horizontalna (položajna) točnost točaka, linija i kontura objekata
- vertikalna (visinska) točnost izohipsi i kotiranih točaka.

Guptil i Morrison (2001) definiraju položajnu točnost kao približavanje onim vrijednostima koje su prave (istinite) vrijednosti položaja.

Karta se može ocijeniti, s obzirom na način pristupa i svrhu ocjenjivanja, na dva načina: kao prethodna ocjena točnosti i kao stvarna ocjena točnosti (Peterca i dr. 1974).

Prethodna ocjena točnosti

Uzimajući u obzir pogreške svih operacija u procesu izrade karte, njihovom detaljnom analizom i njihovim sumiranjem, dobivamo veličinu pogreške koja bi se mogla očekivati na gotovoj karti. Svaka operacija podložna je pojavi različitih pogrešaka, a čitav proces izrade karte nije moguće prikazati jednom shemom; zbog toga nije moguće dati jednu konkretnu prethodnu ocjenu točnosti. Rezultati koji se dobiju prethodnom analizom u obliku kvadratnih pogrešaka, mogu poslužiti kao uputa (specifikacija) za izradu karte. Ta ocjena točnosti ima aproksimativni karakter i može se dobiti kao srednja kvadratna pogreška iz sume slučajnih pogrešaka:

$$m = \pm \sqrt{\sum_1^n m_i^2}, \quad (5)$$

m = srednja kvadratna pogreška cijelog procesa izrade

m_i = srednja kvadratna pogreška jedne operacije

n = broj operacija u cijelom procesu.

Peterca i dr. (1974) daju ukupnu prethodnu srednju pogrešku, za TK25, ako je izvornik izrađen fotogrametrijskom metodom, a odnosi se na horizontalnu točnost karte.

Stvarna ocjena točnosti

Položaj neke točke T određen je koordinatama X , Y i Z u prostornom pravokutnom koordinatnom sustavu. Za tu istu točku mogu se grafički očitati koordinate x i y u projekciji, a visina z dobije se interpolacijom pomoću izohipsi.

Prave (istinite) vrijednosti parametara X , Y i Z mogu se dobiti:

- iz terenskih mjerenja uz uvjet da su veće točnosti nego pri originalnoj izmjeri
- fotogrametrijski (preciznijim metodama) ili
- I karata višeg stupnja točnosti (za ocjenu točnosti TK25 upotrebljava se karta 1:5000).

Postupak je sljedeći: formiraju se odstupanja, kao razlike između vrijednosti veličina izmjerenih na karti i pravih vrijednosti, te se računaju pogreške.

Za ocjenu točnosti upotrebljavaju se srednje pogreške ako su pogreške slučajnoga karaktera i ako su distribuirane po normalnoj razdiobi.

Točnost karte može se odrediti ovim veličinama:

m_x, m_y = srednje pogreške položaja u ravnini projekcije

m_z = srednja pogreška visine dobivene pomoću izohipse

m_q = srednja pogreška kote.

4.2.1. Stvarna ocjena horizontalne točnosti

Grafički se očitaju koordinate unutar kvadrata koordinatne mreže. Pravi položaj točaka određen je jednim od tri prethodno spomenuta načina. Razlikom mjerenih i pravih veličina formiraju se odstupanja i računaju pogreške.

Za ocjenu točnosti upotrebljava se srednja kvadratna pogreška po koordinatnim osima: m_x i m_y te prosječna pogreška θ :

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_x^2}{n}} \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_y^2}{n}} \quad \theta = \pm \frac{\sum |\varepsilon|}{n} \quad (6)$$

Grafička točnost najmanja je veličina točke koja se može nanijeti na kartu ili iz nje očitati bez pomagala, a iznosi 0,1–0,2 mm. U mjerilu 1:25 000 iznosi 2,5 do 5 m. Sve pogreške manje od te veličine mogu se zanemariti (za tu kartu).

U VGI-u je izvedeno ispitivanje točnosti TK25 (Grašić i dr. 1971):

- pravokutne koordinatne mreže; mjerene se vrijednosti uspoređuju s teorijskim (istinitim) vrijednostima
- trigonometrijskih točaka
- detaljnih točaka.

Za ispitivanje točnosti najviše je korištena 1:5000.

Ispitivanjem je obuhvaćena:

- koordinatna mreža ispitana na 22 lista karte
- geodetska osnova ispitana na 58 listova s 2420 točaka
- detaljne točke u crnoj boji s 2545 točaka, u zelenoj boji sa 115 točaka i u plavoj boji s 37 točaka.

U tablici 1 listovi karte razvrstani su prema metodi izmjere, vremenu izrade i vrsti ispitivanog materijala u sljedeće grupe: A – listovi nastali topografskom izmjerom, korišteni pantografirani planovi 1:2500, B – potpuna topografska izmjera, C – dopunjena topografska izmjera, D – fotogrametrijska izmjera (početno razdoblje), E – fotogrametrijska izmjera (od 1957. do završetka radova), F – pantografirane karte 1:10 000 izrađene fotogrametrijskom izmjerom, G – detalj u zelenoj boji, H – geodetska osnova i detalj u plavoj boji, I – samo geodetska osnova.

Rezultati ispitivanja geodetske osnove i detalja (vidi tablicu 1):

- Prosječna je pogreška geodetske osnove 2 do 3 m, a ukupna srednja kvadratna pogreška ne prelazi ± 5 m
- Prosječna je pogreška detaljnih točaka 5 do 8 m, a ukupna srednja kvadratna pogreška ne prelazi ± 12 m.

Tablica 1. Ispitivanje točnosti geodetske osnove i detalja (Grašić i dr. 1971).

Grupa	Broj ispitanih listova karte	Geodetska osnova					Detalj				
		Broj ispitanih točaka	Prosječna pogreška	Srednja kvadratna pogreška			Broj ispitanih točaka	Prosječna pogreška	Srednja kvadratna pogreška		
				m_x	m_y	M			m_x	m_y	M
A	6	123	2,35	$\pm 3,06$	$\pm 3,11$	$\pm 4,36$	853	5,91	$\pm 8,11$	$\pm 8,17$	$\pm 11,51$
B	1						26	5,03	$\pm 6,29$	$\pm 6,84$	$\pm 9,29$
C	1	14	1,86	$\pm 2,26$	$\pm 2,04$	$\pm 3,04$	46	7,12	$\pm 8,81$	$\pm 8,26$	$\pm 12,07$
D	7	207	2,59	$\pm 2,97$	$\pm 3,70$	$\pm 4,75$	670	6,71	$\pm 8,54$	$\pm 8,24$	$\pm 11,87$
E	15	192	2,08	$\pm 2,53$	$\pm 2,75$	$\pm 3,74$	827	5,97	$\pm 7,11$	$\pm 7,24$	$\pm 10,14$
F	3						295	5,94	$\pm 7,35$	$\pm 7,21$	$\pm 10,30$
G	3						79	10,27	$\pm 12,23$	$\pm 8,07$	$\pm 14,65$
H	1	17	2,12	$\pm 2,55$	$\pm 2,31$	$\pm 3,44$	37	4,6	$\pm 5,03$	$\pm 6,19$	$\pm 7,98$
I	25	1429	3,01								

4.2.2. Stvarna ocjena visinske točnosti

Visinska točnost izvedena je po istim principima kao i položajna točnost.

Iz objektivnih razloga javljaju se poteškoće pri ispitivanju točnosti reljefa:

- jer se površina Zemlje ne može egzaktno definirati
- pravolinijski nagib terena između izohipsa ne postoji i
- izohipse su pogrešne po položaju i po visini.

Empirička formula Kopea (Peterca i dr. 1974):

$$m_H = \pm(A + B \tan \alpha) \quad (7)$$

m_H = srednja pogreška visine točke čija je visina dobivena interpolacijom na karti

A, B = empirički elementi; A je neovisan o nagibu terena, a B je ovisan o nagibu

α = kut nagiba terena u ispitivanoj točki.

Koeficijenti A, B mogu se odrediti rješavanjem jednadžbi po metodi najmanjih kvadrata ili grafički:

$$m_p = \pm(B + A \cot \alpha) \quad (8)$$

m_p je srednja položajna pogreška izohipse jer je:

$$\tan \alpha = \frac{m_H}{m_p}. \quad (9)$$

Prema (Grašić i dr. 1971) izvedeno je ispitivanje TK25:

- reljefa prikazanog izohipsama: 5236 točaka na 50 listova
- 197 kotiranih točaka na 12 listova.

Rezultati ispitivanja:

- Kopeova jednadžba za topografsku izmjeru $m_H = \pm(1,66 + 4,69 \tan \alpha)$
- Kopeova jednadžba za fotogrametrijsku izmjeru $m_H = \pm(1,45 + 4,14 \tan \alpha)$.

Kotirane točke:

- kotirane točke (60 kom.) za planinski teren (900 m nad. visine) $m_H = \pm 3,5\text{m}$
- kotirane točke (65 kom.) za blago nagnuti teren (100 m nad. visine) $m_H = \pm 0,47\text{m}$.

Kao istinite vrijednosti služile su visine identičnih točaka na kartama 1:5000.

Može se utvrditi da je za prvo izdanje TK25 (od 1947. do 1968. godine):

- Visinski prikaz terena približno iste točnosti bez obzira na razdoblje izrade karte.
- Ovisno o nagibu terena, srednje su pogreške visina u intervalu od 1 do 5 m. Iz Kopeovih jednadžbi visinska je pogreška izohipsa od 0,5 do 6 m, a pogreška izohipse po položaju je između 5 i 15 m.
- U ravninama je visinska pogreška manja od 1 m.

5. Zaključak

U VGI-u izvedena je kontrola položajne i visinske točnosti prvog izdanja TK25, koja je nastala topografskom i fotogrametrijskom izmjerom. Detaljno su obrađene geografska, matematička i likovna komponenta kvalitete karte. Geografska vjernost je složen proces koji se ne može izravno mjeriti jer ne postoje konkretni

postupci za njezinu procjenu. Njezina procjena ovisi o vrsti karte, mjerilu i području kartiranja. Suvremeni autori u procjeni kvalitete ne spominju geografsku vjernost karte. Potpunost nije sinonim za geografsku vjernost. Umjesto pojmova *kvaliteta karte, uporabna vrijednost i geografska stvarnost*, danas se primjenjuju pojmovi: *kvaliteta prostornih podataka, pogodnost za uporabu i apstraktni univerzum kao podskup (opažane stvarnosti)*. U današnje vrijeme, korištenjem suvremenih alata za obradu digitalnih prostornih podataka, moguće je izvesti njihovu kvalitativnu i kvantitativnu procjenu. Kvalitetu analogne, a tako i digitalne karte, potrebno je izraziti prethodnom i stvarnom ocjenom točnosti. Danas, kao i prije 40-ak godina, ne postoje konkretne metode za procjenu estetske komponente karte.

Literatura

- Başaraner, M. (2002): Model generalization in GIS, International Symposium on GIS, September 23–26, Istanbul, Turkey.
- Buder, I. (1979): Obnova topografskih karata izdanja VGI i primjena fotogrametrije, Zbornik radova, VGI, Beograd.
- Buder, I. (1984): Utjecaj vojnih činilaca na razvoj fotogrametrije, Zbornik radova, VGI, Beograd.
- Čubranić, N. (1980): Teorija pogrešaka s računom izjednačenja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Eckert, M. (1921–25): Die Kartenwissenschaft, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Berlin, Leipzig.
- Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja, prvi dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frangeš, S. (1998): Grafika karte u digitalnoj kartografiji, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frangeš, S. (2003): Topografska kartografija, predavanja (rukopis), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frangeš, S. (ur., 2007): Spomenica Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frangeš, S. (ur., 2012): Topografske karte na području Hrvatske, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Zagreb.
- Grašić, M., Kompoš, S., Nikolić, M. (1971): Ispitivanje tačnosti karte 1:25 000, SGITJ, Savetovanje o kartografiji, Beograd, 181–192.
- Guptil, S. C., Morrison, J. L. (2001): Elementi kvalitete prostornih podataka (prijevod), Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Zagreb.
- Lovrić, P. (1988): Opća kartografija, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.
- Milislavljević, S. (1971): Pojam kvalitete geografske karte, SGITJ, Savetovanje o kartografiji, Beograd, 45–62.
- Peterca, M., Radošević, N., Milislavljević, S., Racetin, F. (1974): Kartografija, Vojnogeografski institut, Beograd.

Petrović, D. (1974): Trideset godina rada Vojnogeografskog instituta, Zbornik radova, VGI, Beograd.

VGI (1984): Četrdeset godina rada i razvoja Vojnogeografskog instituta u socijalističkoj Jugoslaviji, Zbornik radova, VGI, Beograd.

Mrežne adrese

URL 1: Lapaine, M. (2007): Kartografske projekcije, www.kartografija.hr/old_hkd/projekcije_dugo.pdf, (10. 4. 2012.).

Testing the Accuracy of Topographic Maps at the Scale of 1:25000 published by the Military Geographical Institute, Belgrade

ABSTRACT. This paper presents the procedures and methods used in assessing the quality of topographic maps at a scale of 1:25000 (TK25), published by the Military Geographical Institute (VGI) from Belgrade, which refer to the first edition of this map. All measurements and test accuracy was performed by experts from VGI's. Map as the final product was printed on the paper on which they made measurements, calculate the deviations and mean errors to assess the accuracy. Three components of the map are handled: geographical, mathematical and artistic, and examined the actual positional accuracy of the grid, basic and detailed points, and the vertical accuracy of elevation contour lines and elevations shown. In today's digital era are defined elements in the quality of spatial data on the location, characteristics and the relations phenomena in space. Measuring the quality of spatial data following after definitions, in order to finally approached to their analysis and visualization.

Keywords: topographical map, VGI, quality, error, spatial data, accuracy.

Primljeno: 2013-07-10

Prihvaćeno: 2013-12-02