

UDK 528.914:528.232.22(497.5):004.92
Izvorni znanstveni članak

Primjena AutoCAD Mapa u kartografskoj generalizaciji linija

Nada VUČETIĆ, Miljenko LAPAINE – Zagreb*

SAŽETAK. Daju se rezultati izvornih istraživanja o primjeni AutoCAD Mapa u kartografskoj generalizaciji linija. Ustanovljene su osnovne karakteristike algoritma koji je ugrađen u AutoCAD Map i služi pojednostavljivanju linija. Utvrđene su i navedene neke netočnosti iz AutoCAD Mapova priručnika koje se odnose na generalizaciju linija. Primjena AutoCAD Mapa za pojednostavljivanje linija ilustrirana je na primjerima obalne linije Istre i dijela državne granice za različita mjerila prikaza. Razmatra se utjecaj izbora tolerancije, odnosno širine koridora na dobrotu generalizacije. Istraživanje je pokazalo da za izabranu debljinu linije kvocijent tolerancije i mjerila karte pri dobivanju najboljih rezultata poprima konstantnu vrijednost.

Ključne riječi: AutoCAD Map, generalizacija linija, metoda pojednostavljivanja, kartografija.

1. Uvod

AutoCAD Map namijenjen je inženjerima, tehničarima, planerima i drugim osobama koje kreiraju, izrađuju, održavaju ili analiziraju karte. Može se reći da je to kartografska verzija AutoCAD-a jer se temelji na AutoCAD-u zadržavajući pritom svu njegovu funkcionalnost uz dodatak posebnih alata usmjerenih na kartografske primjene i GIS. Upotrebom AutoCAD Mapa mogu se oblikovati, održavati i analizirati kartografske informacije u višestrukim AutoCAD-ovim crtežima i s njima povezanim vanjskim bazama podataka.

U nastavi pojedinih predmeta na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu već se više godina upotrebljava AutoCAD kao jedan od alata za crtanje s pomoću računala. AutoCAD Map uveden je akad. god. 1997/98. u kolegij *Digitalna kartografija II* (sada *Kartografija i GIS*), a kao pomoć studentima izrađen je odgovarajući priručnik (Lapaine i dr. 2001). Oba softvera, AutoCAD i AutoCAD Map, studenti imaju prilike još bolje upoznati izradom seminarских i diplomskih radova.

*Dr. sc. Nada Vučetić, prof. dr. sc. Miljenko Lapaine, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, 10000 Zagreb, Kačićeva 26, e-mail: nvucetic@geof.hr, mlapaine@geof.hr

U prethodnim radovima Lapainea (1999, 2000) te Lapainea i Tutića (1998, 1999) objašnjena je primjena AutoCAD Mapa na različitim primjerima izrade tematskih karata, analiziranja mrežne topologije radi pronalaženja najkraćeg puta te konstruiranja koridora oko polazne crte radi određivanja državne granice na moru. U ovome radu bavimo se problemima vezanima uz primjenu AutoCAD Mapa u kartografskoj generalizaciji linija.

Već tridesetak godina pojedine znanstvene institucije i proizvođači softvera u svijetu provode istraživanja automatizacije kartografske generalizacije, no još uvijek nisu nađena definitivna rješenja ne samo za cjeloviti problem nego ni za parcijalne probleme kao što je generalizacija linijskih elemenata karte, iako postoje rješenja koja zaslužuju pozornost (João 1998, Lechthaler, Kasyk 1999a-b). Koliki je to problem govori i sama činjenica da je unutar Međunarodnoga kartografskog društva osnovana radna grupa koja je prerasla u Povjerenstvo za kartografsku generalizaciju (ICA Commission on Map Generalization, URL). Istraživanja automatizacije generalizacije linijskih elemenata karte provode se i u Zavodu za kartografiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Frančula 1997).

U literaturi nailazimo na mnoštvo algoritama za automatsko pojednostavljenje linija (Cromley 1991, Douglas, Peucker 1973, Ivanov 1965, Ramer 1972, Visvalingam, Whyatt 1993, Wang, Müller 1998, ...). Pitanje koji bi od njih bio općenito najbolji, ili najbolji za određenu vrstu linija, nije definitivno riješeno. Jedno od rješenja nudi i tvrtka Autodesk u svom programu AutoCAD Map.

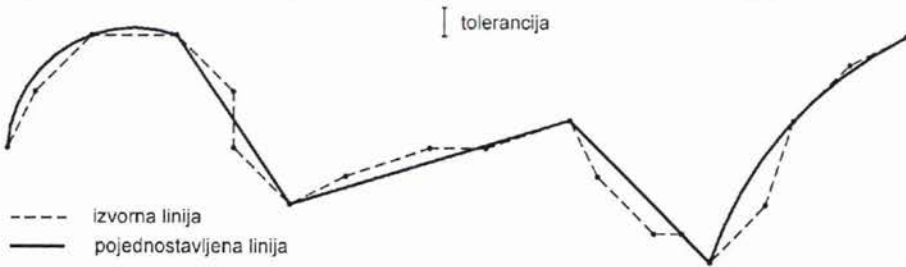
2. Generalizacija s pomoću AutoCAD Mapa

AutoCAD Map nudi poseban alat za pojednostavljivanje linijskih objekata. Iako se u AutoCAD-u pod pojmom linijski objekti podrazumijevaju linije, polilinije i kružni lukovi (Autodesk 1997, str. 195), s pomoću AutoCAD Mapa mogu se pojednostaviti samo polilinije. Ukoliko se neka složena linija koja se želi pojednostaviti sastoji od AutoCAD-ovih linijskih objekata – linija, kružnih lukova, polilinija – tada taj skup treba najprije pretvoriti u jednostruku poliliniju.

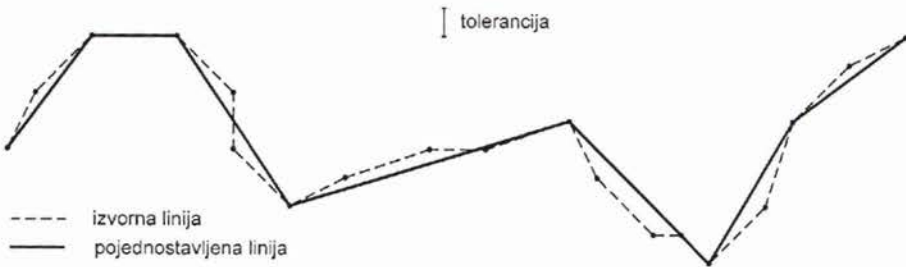
Postupak pojednostavljenja reducira broj točaka složene linije zadavanjem vrijednosti tolerancije, odnosno širine koridora.

Ispitivanjima je utvrđeno (Vučetić 2000) da se postupak pojednostavljivanja linija koji je ugrađen u AutoCAD Map temelji na Douglas-Peuckerovu algoritmu (Douglas, Peucker 1973). Metoda počinje definiranjem prve točke na liniji kao fiksne i zadnje kao pomične. Te dvije točke definiraju pravolinijski segment (tetivu). Među točke uzduž linije ispituju se tako da se nađe ona čija je udaljenost između nje i pravolinijskog segmenta definiranoga fiksnom i pomičnom točkom najveća. Ako je ta udaljenost manja od zadane tolerancije, tada je ta tetiva pogodna za prikaz cijele linije. U slučaju kada uvjet nije zadovoljen, točka koja se nalazi najdalje od tetive postaje novom pomičnom točkom. Ponavljanjem tog postupka pomična se točka približava fiksnoj. Kada se zahtjev maksimalne udaljenosti zadovolji, fiksna se točka pomakne na pomičnu, a posljednja točka linije postaje nova pomična te se isti postupak ponovi. Točke koje su bile proglašene fiksnima čine generaliziranu liniju.

Razlika između Douglas-Peuckerove metode i metode ugrađene u AutoCAD Map je u tome što se kod ove druge još ispituje može li se definirati kružni luk s pomoću



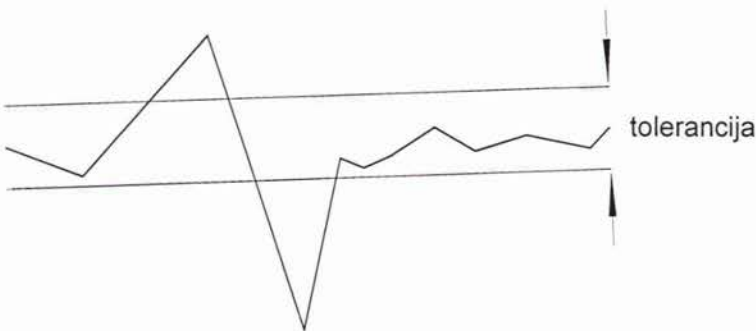
Slika 1. Linija pojednostavljena s pomoću AutoCAD Mapa



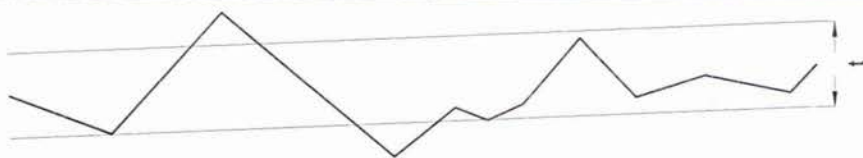
Slika 2. Linija pojednostavljena Douglas-Peuckerovom metodom

tri uzastopno zadržane točke izvorne linije, uz uvjet da udaljenost ostalih međutočaka od kružnog luka na tom dijelu linije bude unutar tolerancije (vidi lijevi i desni kraj na sl. 1 i 2). Usporedbom sl. 1 i 2 može se uočiti razlika tih dviju metoda.

Vratimo se sada toleranciji. U opisu postupka rečeno je da ako je udaljenost najdalje međutočke od pravolinijskog segmenta (spojnice prve i zadnje točke linije) manja od zadane tolerancije, tada je taj segment pogodan za prikaz cijele linije. Prema objašnjenjima na str. 42 i 210 priručnika User's Guide (Autodesk 1997) koridor čine dva paralelna pravca koji su paralelni sa spojnicom prve i zadnje točke linije koja se pojednostavljuje (sl. 3).



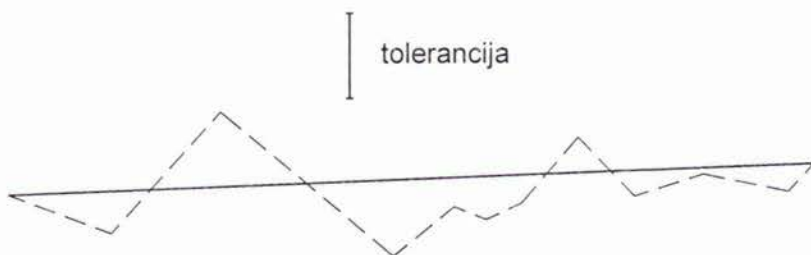
Slika 3. Vrijednost tolerancije za pojednostavljenje (Autodesk 1997)



Slika 4. Koridor i tolerancija (prema Autodesku 1997)

Kada bi koridor bio postavljen na taj način, izvorna linija na slici 4 ne bi cijela padala unutar koridora zadane širine, pa spojnica prve i zadnje točke ne bi bila pogodna za prikaz cijele linije.

Budući da rezultat pojednostavljivanja AutoCAD Mapom izgleda kao na slici 5 (pravac), nameće se zaključak da je širina koridora jednaka dvostrukoj toleranciji kao što je prikazano na slici 6.



Slika 5. Linija pojednostavljena AutoCAD Mapom



Slika 6. Koridor i tolerancija za pojednostavljivanje linija s pomoću AutoCAD Mapa

Na temelju provedenih istraživanja, detaljno opisanih u seminarskom radu N. Vučetić (2000), u vezi s primjenom AutoCAD Mapa u generalizaciji linija može se zaključiti i preporučiti još i sljedeće:

- Objašnjenje širine koridora na način opisan u priručniku (Autodesk 1997) nije ispravno. Širina koridora zapravo je jednaka dvostrukoj toleranciji.
- Podatak iz priručnika (Autodesk 1997) da se pri pojednostavljivanju linija uklanja njihova širina nije točan. Pojednostavljena linija ima istu širinu kao i izvorna.
- Iako u priručniku (Autodesk 1997) piše da se opcija za uklanjanje pseudočvorova može upotrebljavati zajedno s pojednostavljivanjem linijskih objekata, to ipak

nije preporučljivo. Naime, ako se te dvije mogućnosti uzmu istodobno onda će AutoCAD Map ukloniti pseudočvorove, ali će pojednostaviti samo onaj dio linije koji je nacrtan s pomoću naredbe *pline*.

- Rezultat primjene ugrađenog algoritma za pojednostavljivanje ovisi o redosljedu točaka koje prikazuju liniju. Zbog toga prije uklanjanja pseudočvorova treba znati da taj postupak katkad zapisuje vrijednosti koordinata točaka u obrnutom redosljedu, tj. od zadnje točke izvorne linije k prvoj.

3. Primjena AutoCAD Mapa za prikaze dijela obalne linije i granice

Za ilustraciju generalizacije linija uz pomoć AutoCAD Mapa izabrana je obalna linija Istre i dio hrvatske kopnene granice s Republikom Slovenijom. Upotrijebljeni podaci dobiveni su digitalizacijom s pomoću digitalizatora CalComp 9100 Zavoda za kartografiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, i to u lokalnom sustavu (Čipčić 1991, Rukavina 1992), te poslije Helmertovom transformacijom transformirani u koordinatni sustav Gauss-Krügerove projekcije (Radetić 1992, Poslončec 1992). Digitalizirano je s karte teritorijalne podjele Republike Hrvatske u mjerilu 1:1 000 000, izrađene u Zavodu za kartografiju Geodetskog fakulteta 1979. godine u Gauss-Krügerovoj projekciji sa srednjim meridijanom $\lambda_0=16^{\circ}30'$. Na sl. 7 je izvorni prikaz.



Slika 7. Obalna linija Istre i dio kopnene granice u mjerilu 1:1 000 000

Na sljedećih nekoliko slika dani su izvedeni prikazi obalne linije Istre i dio kopnene granice s Republikom Slovenijom u različitim mjerilima. Za svako je mjerilo dan izvorni prikaz smanjen na to mjerilo, prikazi dobiveni generalizacijom s pomoću AutoCAD Mapa s različitim tolerancijama, te prikazi dobiveni ručnom generalizacijom. Ručnu generalizaciju proveo je Igor Birin, dipl. ing., iz Zavoda za kartografiju Geodetskog fakulteta. Svi prikazi dobiveni ručnom generalizacijom prevedeni su u digitalni oblik skeniranjem s pomoću valjkastog skenera CalComp SCANPlus III 1800T u rezoluciji 800×800 dpi.

Prije analize prikaza osvrnimo se na toleranciju, točnije na jedinice kojima se ona izražava. AutoCAD poznaje jedino svoju jedinicu duljine, a ona se usvaja unaprijed. Kako AutoCAD Map sadrži AutoCAD-ovu jezgru, prethodno rečeno vrijedi i za sam AutoCAD Map.

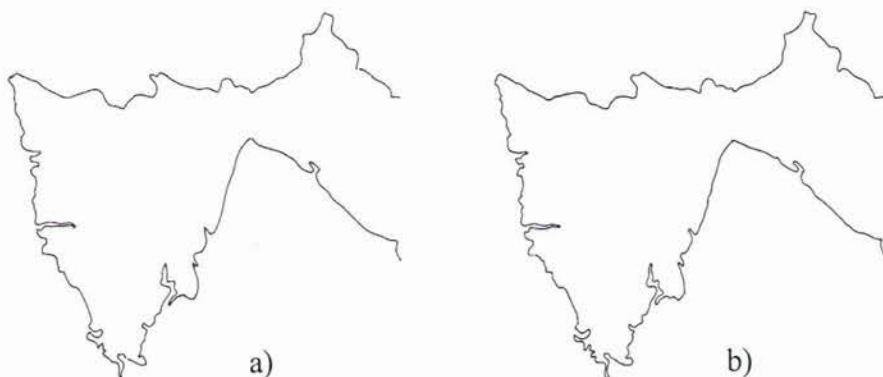
Upotrijebljeni su podaci, tj. koordinate točaka obalne linije Istre i dio kopnene granice s Republikom Slovenijom, u metrima, pa jedna AutoCAD-ova jedinica odgovara jednom metru. Kako se vrijednost tolerancije zadaje u AutoCAD-ovim jedinicama, proizlazi da je ona u ovom slučaju u metrima.

Na sl. 8 i 9 prikazi su u mjerilu 1:2 000 000. Na sl. 8 su prikazi dobiveni ručnom generalizacijom.

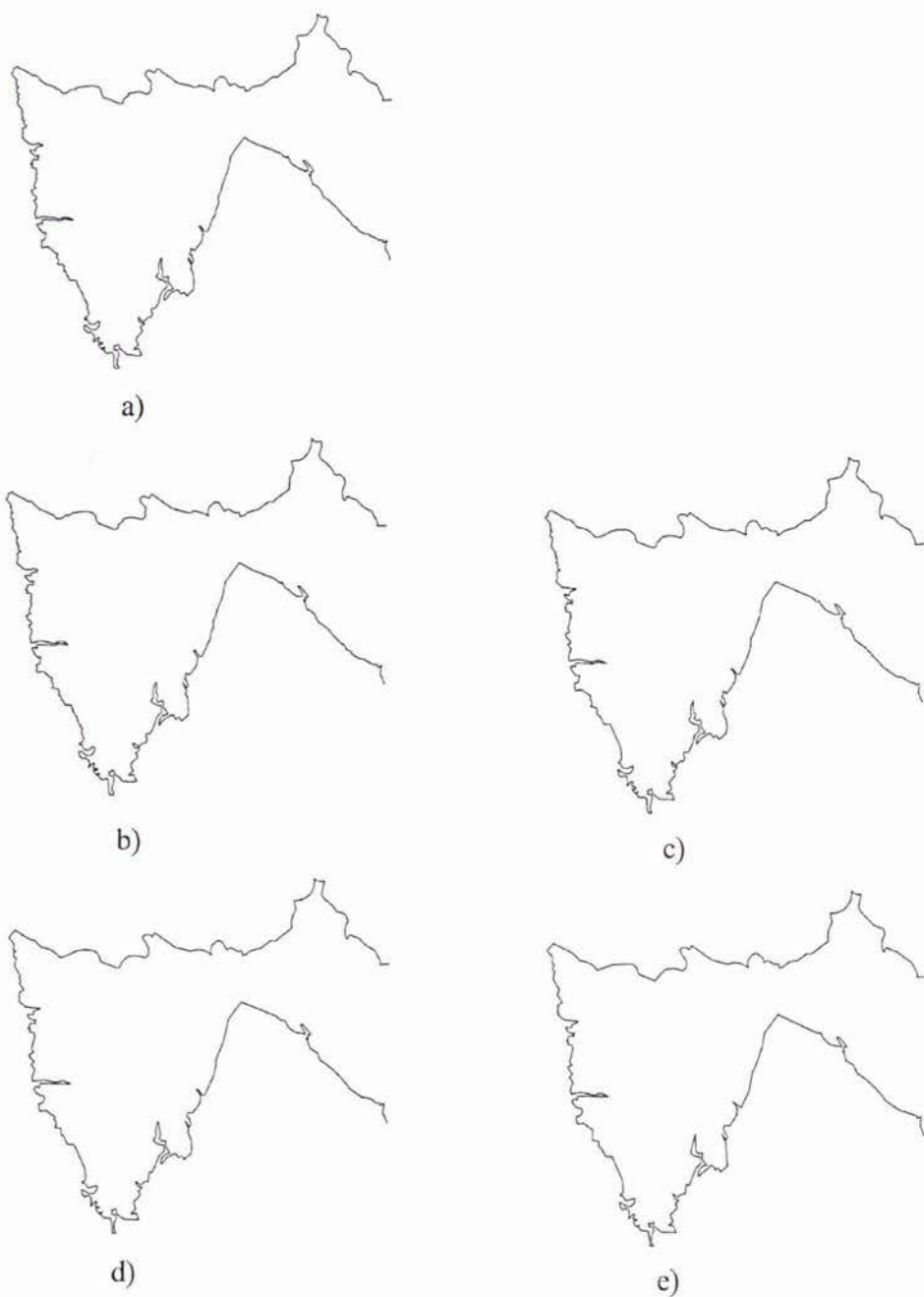
Dobrota pojednostavljena linija s pomoću AutoCAD Mapa ispitana je na liniji debljine 0,13 mm.

Najbolji prikaz u mjerilu 1:2 000 000 koji se može postići s pomoću AutoCAD Mapa je za toleranciju $t=350$ (sl. 9d). Iako je linija na nekim mjestima izlomljena, taj se prikaz može smatrati dobrom osnovom iz kojeg će se uz malu intervenciju kartografa moći dobiti dobro generalizirani prikaz. U prikazima dobivenima za $t=200$ i $t=300$ (sl. 9b i c) linija je suviše drhtava, dok je za $t=400$ (sl. 9e) jako izlomljena.

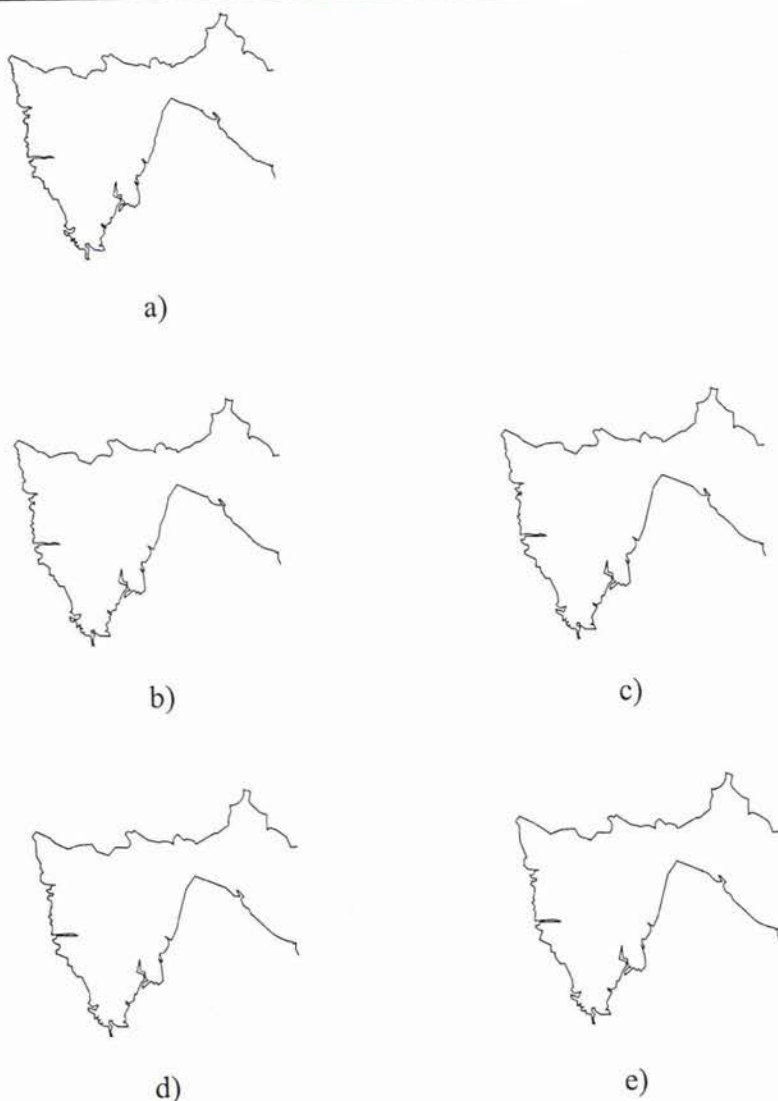
Uspoređujući sl. 8 sa sl. 9d dolazi se do istog zaključka, tj. da se prikaz na sl. 9d može smatrati dobrom osnovom iz koje će se malim intervencijama kartografa dobiti dobro generalizirani prikaz.



Slika 8. Ručna generalizacija: a) izvorni prikaz smanjen u mjerilo 1:2 000 000 pa generaliziran, b) izvorni prikaz generaliziran za mjerilo 1:2 000 000 potom fotografski smanjen u mjerilo 1:2 000 000



Slika 9. Obalna linija Istre i dio kopnene granice u mjerilu 1:2 000 000: a) smanjeni izvorni prikaz; generalizirani prikazi pomoću AutoCAD Mapa: b) $t=200$, c) $t=300$, d) $t=350$, e) $t=400$

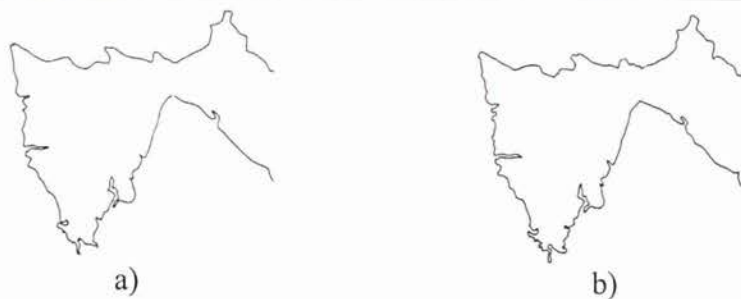


Slika 10. Obalna linija Istre i dio kopnene granice u mjerilu 1:3 000 000:
 a) smanjeni izvorni prikaz; generalizirani prikazi pomoću AutoCAD Mapa:
 b) $t=400$, c) $t=500$, d) $t=525$, e) $t=550$

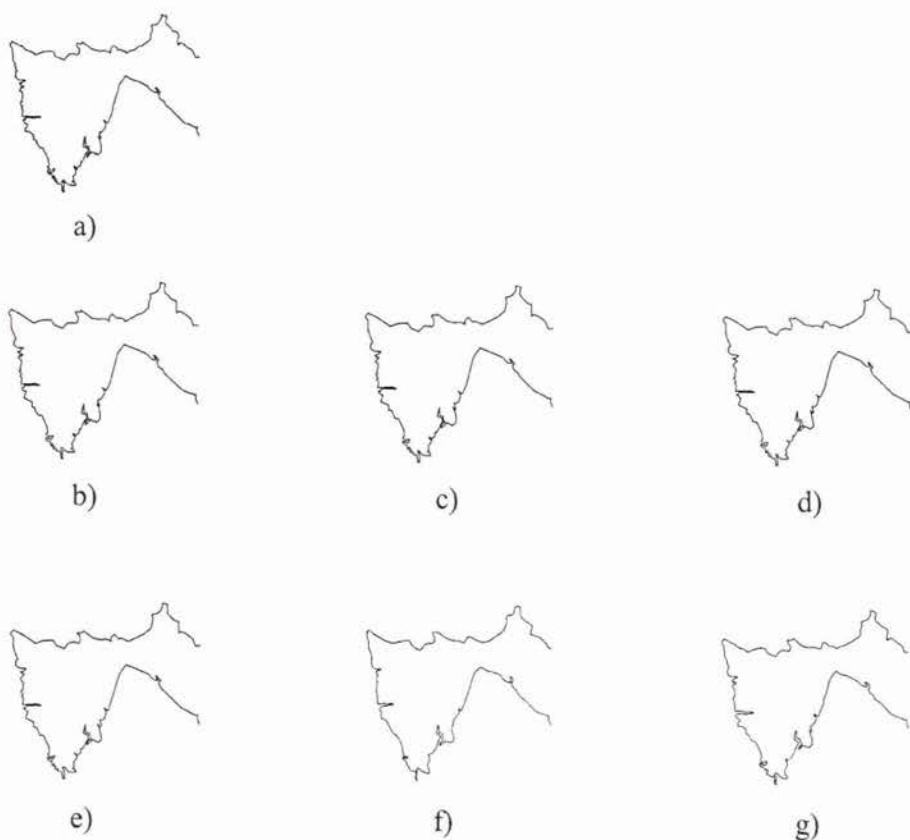
Za mjerilo 1:3 000 000 najbolji mogući prikaz dobiva se za toleranciju $t=500$ (sl. 10c). Smanjenjem te vrijednosti linija postaje drhtava (vidi sl. 10b), dok se povećavanjem gube karakteristični detalji (vidi Bakarski zaljev na sl. 10d i e).

Radi usporedbe, na slici 11 dani su prikazi dobiveni ručnom generalizacijom.

Prikazi u mjerilu 1:4 000 000 dani su na slici 12. Ako se promotre prikazi generalizirani s pomoću AutoCAD Mapa, uočava se da su linije na pojedinim dijelovima do-



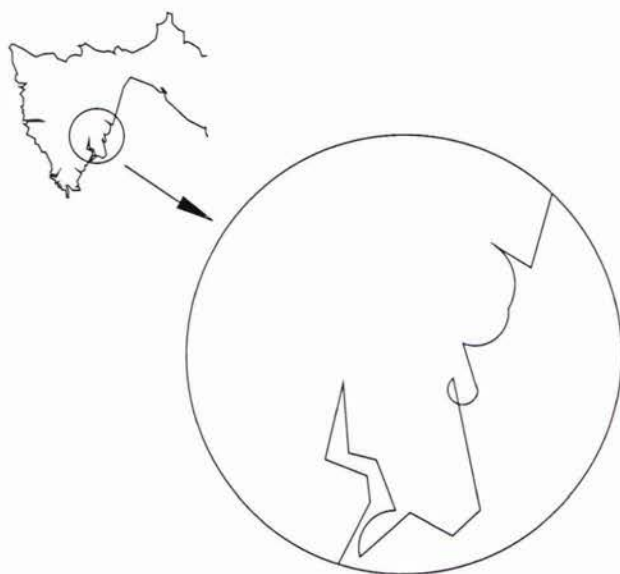
Slika 11. Ručna generalizacija: a) izvorni prikaz smanjen u mjerilo 1:3 000 000 pa generaliziran, b) izvorni prikaz generaliziran za mjerilo 1:3 000 000 potom foto-grafski smanjen u mjerilo 1:3 000 000



Slika 12. Obalna linija Istre i dio kopnene granice u mjerilu 1:4 000 000: a) smanjeni izvorni prikaz; generalizirani prikazi pomoću AutoCAD Mapa: b) $t=550$, c) $t=600$, d) $t=650$, e) $t=700$; ručna generalizacija: f) izvorni prikaz smanjen pa generaliziran, g) izvorni prikaz smanjen za mjerilo 1:4 000 000 potom fotografski smanjen

sta grube i da se izgubio karakterističan oblik nekih udubina i izbočina. No, ipak bi se kao najbolji mogao izdvojiti prikaz na sl. 12c ($t=600$).

Promatrajući prikaz na sl. 12e ne uočava se ništa neobično što bi taj prikaz odvajalo od ostalih. Međutim, na uvećanom dijelu toga prikaza (vidi sl. 13) vidljivo je da se kod ugrađene metode može pojaviti problem presijecanja linija, koji se mora rješavati dodatnom obradom.



Slika 13. Sječenje linija

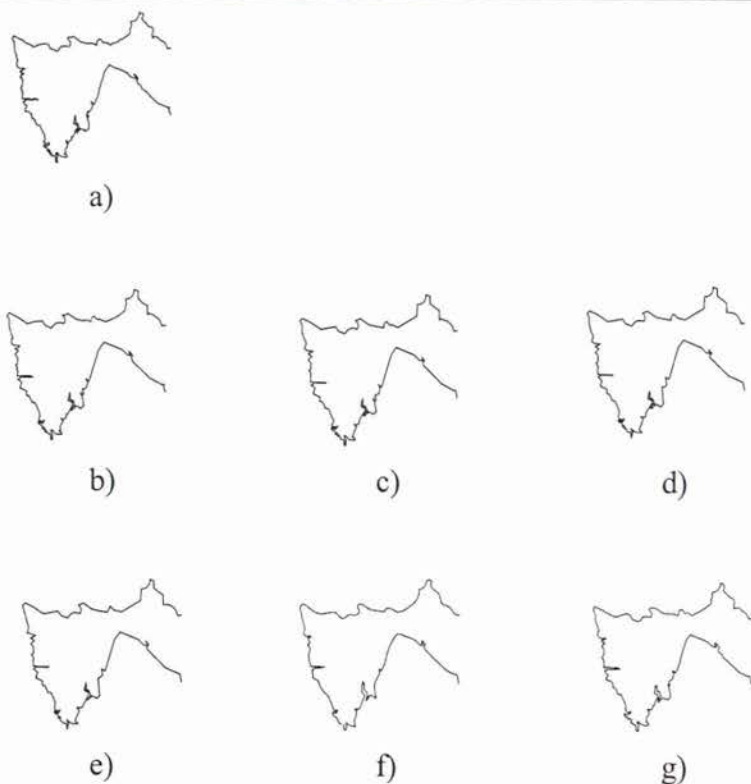
Najbolji prikaz u mjerilu 1:5 000 000 postignut je pri $t=800$ (sl. 14c), premda se i u njemu javlja problem prikazan na sl. 13. Isti se problem javlja i za $t=1000$ (vidi sl. 15).

Sa sl. 14 vidljivo je da smanjenjem vrijednosti tolerancije linija postaje drhtavija, a njezinim povećanjem sve grublja.

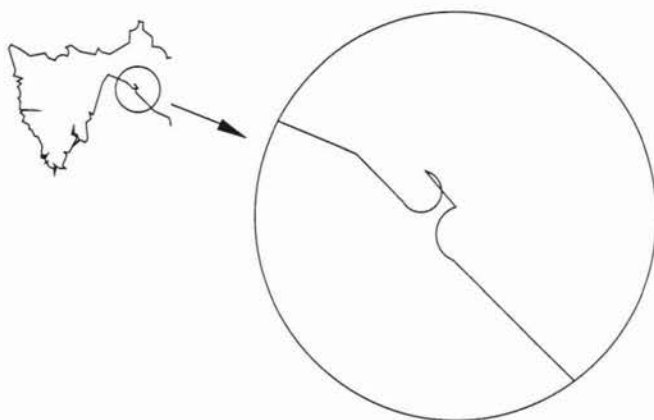
4. Izbor tolerancije pri pojednostavljivanju linija

Čimbenici koji, osim mjerila karte, utječu na generalizaciju su minimalne veličine, značajke krajolika te namjena karte (Frančula 1997). Ovdje ćemo se osvrnuti na minimalne veličine.

Minimalne su veličine granične veličine uz koje se neki objekti još mogu raspoznati po obliku i veličini. Za liniju debljine 0,1 mm minimalna je dubina 0,4 mm, a minimalna duljina 0,8 mm za jako vijugave linije, 1,0 mm za normalno vijugave linije i 1,5 mm za slabo vijugave linije (Töpfer 1974, Frančula 2000).



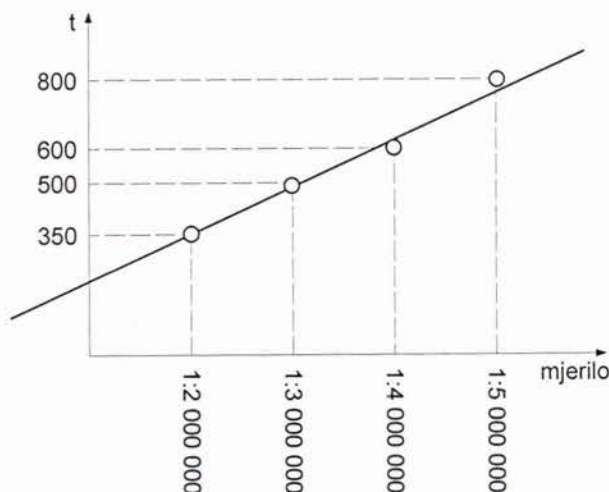
Slika 14. Obalna linija Istre i dio kopnene granice u mjerilu 1:5 000 000:
 a) smanjeni izvorni prikaz; generalizirani prikazi pomoću AutoCAD Mapa:
 b) $t=700$, c) $t=800$, d) $t=900$, e) $t=1000$; ručna generalizacija: f) izvorni prikaz smanjen pa generaliziran, g) izvorni prikaz generaliziran za mjerilo 1:5 000 000 potom fotografski smanjen



Slika 15. Bakarski zaljev – sječanje linija

U poglavlju 2 zaključeno je da je širina koridora jednaka dvostrukoj vrijednosti tolerancije. Ako se zatim pogledaju vrijednosti tolerancije za najbolje dobivene prikaze s pomoću AutoCAD Mapa u različitim mjerilima (sl. 16) i uvaži naprijed navedeno, dolazimo do zaključka da se najbolji mogući prikaz u odabranome mjerilu za pretpostavljenu debljinu linije 0,13 mm može postići za širinu koridora (u mjerilu izvedene karte) od 0,3 do 0,4 mm (vidi četvrti stupac u tablici 1). To bi približno odgovaralo minimalnoj veličini udubine i izbočine.

Iz slike 16 i tablice 1 može se također zaključiti da za izabranu debljinu linije kvocijent između tolerancije i mjerila karte pri dobivanju najboljih rezultata poprima konstantnu vrijednost.



Slika 16. Vrijednosti tolerancije (t) za najbolje dobivene prikaze u različitim mjerilima

Tablica 1. Vrijednosti tolerancija i širine koridora za najbolje dobivene prikaze u različitim mjerilima

mjerilo (1:M)	tolerancija (t)	širina koridora ($2t$)	$2t / M$
1:2 000 000	350	700	0,00035
1:3 000 000	500	1000	0,00033
1:4 000 000	600	1200	0,00030
1:5 000 000	800	1600	0,00032

5. Zaključci

Pri upotrebi nekog aplikacijskog softvera ne treba vjerovati svemu što piše u odgovarajućem priručniku. Ilustracija te tvrdnje dana je na primjeru AutoCAD Mapa i originalnog priručnika User's Guide (Autodesk 1997).

Postupak pojednostavljivanja linija koji je ugrađen u AutoCAD Map temelji se na jednoj inačici Douglas-Peuckerova algoritma, a rezultat dobiven njegovom primjenom uz odgovarajući izbor parametara (širine koridora, odnosno tolerancije) može se smatrati dobrom osnovom iz koje će se uz malu intervenciju kartografa moći dobiti dobro generalizirani prikaz.

Iz svega navedenoga proizlazi da pri generalizaciji linija s pomoću AutoCAD Mapa kartograf sa svojim znanjem i iskustvom ima odlučujuću ulogu.

Literatura

- Autodesk (1997): AutoCAD Map Release 2 – User's Guide.
- Cromley, R. G. (1991): Hierarchical methods of line simplification, *Cartography and Geographic Information Systems*, Vol. 18, No. 2, 125–131.
- Čipčić, T. (1991): Primjena programskog paketa AutoCAD u kartografiji (diplomski rad), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Douglas, D. H., Peucker, T. K. (1973): Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *The Canadian Cartographer*, Vol. 10, No. 2, 112–122.
- Frančula, N. (1997, 2000): Kartografska generalizacija, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Ivanov, V. V. (1965): O nekotoryh vozmožnostjah avtomatizacii topografičeskih kart, *Geodezija i kartografija*, 1, 62–66.
- João, E. M. (1998): Causes and Consequences of Map Generalisation, Taylor & Francis, London.
- Lapaine, M. (1999): Primjene AutoCAD Mapa, *KoG* 4, 43–50.
- Lapaine, M. (2000): Primjene AutoCAD Mapa, 4. multidisciplinarni simpozij Modeliranje u znanosti, tehnici i društvu, Rijeka, 26–27. 6. 2000. Zbornik radova "Kreativno rješavanje zadataka" (urednici J. Božičević, A. Caharija), Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Hrvatsko društvo za sustave, Zagreb, 111–117.
- Lapaine, M., Vučetić, N., Tutić, D. (2001): Kartografija i AutoCAD Map, 2. izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Lapaine, M., Tutić, D. (1998): Analiza prolaženjem mrežom i AutoCAD Map, *Geodetski list* 4, 261–271.
- Lapaine, M., Tutić, D. (1999): Određivanje ulaska u teritorijalno more u realnom vremenu, *Automatizacija u prometu '99, Pula-Trst*, Zbornik radova (ur. Ž. Šakić), 101–104.
- Lechthaler, M., Kasyk, S. (1999a): Theoretical and Practical Deliberations with regard to Semi-Automated Cartographic Generalization, *The Cartographic Journal*, Vol. 36, No. 1, 59–65.
- Lechthaler, M., Kasyk, S. (1999b): Systemunterstützte kartographische Generalisierung linearer Kartenobjekte, *Kartographische Nachrichten*, No. 2, 52–59.
- Poslončec, V. (1992): Sređivanje datoteke koordinata točaka teritorijalnih jedinica Republike Hrvatske (seminarski rad), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Radetić, T. (1992): Datoteka koordinata točaka teritorijalnih jedinica Republike Hrvatske (diplomski rad), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

- Ramer, U. (1972): An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves, *Computer Graphics and Image Processing*, 1, 244-256.
- Rukavina, D. (1992): Obnavljanje datoteke teritorijalnih jedinica Hrvatske (seminarski rad), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Töpfer, F. (1974): *Kartographische Generalisierung*, VEB Hermann Haack, Leipzig.
URL: <http://www.geo.unizh.ch/ICA/Documents>
- Visvalingam, M., Whyatt, J. D. (1993): Line generalization by repeated elimination of points, *The Cartographical Journal*, Vol. 30, No. 1, 46-51.
- Vučetić, N. (2000): Kartografska generalizacija i AutoCAD Map (seminarski rad), Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Wang, Z., Müller, J.-C. (1998): Line generalization based on analysis of shape characteristics, *Cartography and Geographic Information Systems*, Vol. 25, No. 1, 3-15.

Application of AutoCAD Map to Generalization of Map Line Elements

ABSTRACT. The results of original research on the use of AutoCAD Map in cartographic line generalization are given. Basic characteristics of the algorithm that is installed in AutoCAD Map and that serves line simplification have been established. Some errors in AutoCAD Map's manual that refer to line generalization have been identified. The use of AutoCAD Map for line simplification in different scales is illustrated on examples of coastal line of Istria and a part of land boundary. The influence of the choice of tolerance to the results of generalisation is considered. Research has shown that for the chosen line width the ratio of tolerance and map scale acquires a constant value by getting the best results.

Keywords: AutoCAD Map, line generalization, simplification method, cartography.

Primljeno: 2001-6-4