

**ПОЛОЖАЈНА ТАЧНОСТ ГЕОГРАФСКИХ ИНФОРМАЦИЈА
И САВРЕМЕНИ СТАНДАРДИ ЗА ЊЕНО ОЦЕЊИВАЊЕ**

СТЕВАН РАДОЈЧИЋ^{1*}, МИРКО БОРИСОВ¹, БРАНКО БОЖИЋ²

¹Војногеографски институт, 11000 Београд

²Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра, 11000 Београд, Србија

Сажетак: Положајна (геометријска) тачност географских информација је важан квантитативни елемент њиховог квалитета, независно од тога да ли су оне у дигиталном или аналогном облику. У раду се указује на значај и потребу оцењивања положајне тачности географских информација у савременим условима, описују два актуелна стандарда за оцењивање тачности и приказују резултати њихове примене на растерској топографској карти Војногеографског института у размеру 1: 50.000.

Кључне речи: Географске информације, Квалитет, Положајна тачност, *NSSDA*, *STANAG 2215*.

Увод

Коришћење географских (геопросторних) информација у процесу доношења одлука у војсци, привреди, државној администрацији и другим областима непрекидно расте, посебно од појаве и широке примене дигиталних технологија. Упоредо с тим, расте и значај познавања квалитета тих података, јер ако одлуке почивају на подацима чији је квалитет недовољан – или је непознат – последице могу бити значајне (Борисов, 2001). Ово се посебно односи на географске информације на основу којих се доносе одлуке које се тичу живота и здравља људи, које утичу на локалну економију или имају одређене правне импликације (Радојчић, 2008).

Према стандарду *ISO 19113 Quality principles - Принципи квалитета (ISO, 2000)*, квалитет географских (геореференцираних) информација се описује на квантитативан начин помоћу пет елемената: потпуности, логичке доследности, положајне тачности, временске тачности и тематске тачности. Заједно са елементима који описују квалитет на неквантитативан начин, као што су: намена (*purpose*), употреба (*usage*) и порекло (*lineage*), овај приступ на целовит и свеобухватан начин дефинише квалитет географских информација.

Под положајном тачношћу се подразумева подударност положаја неке тачке у скупу географских информација (односно моделу геопростора - карти, бази података, ортофотоу и др.) са стварним положајем те тачке у простору. Може бити апсолутна (спољашња) или релативна (унутрашња), у зависности од тога да ли се подударност положаја утврђује у односу на координатни систем (апсолутна тачност) или у односу на друге тачке скупа (релативна тачност)

* E-mail: stradojcc@sezampro.rs

Треба приметити да се положајна тачност, иако само један од елемената квалитета, посебно издваја у односу на остале елементе, како по свом утицају на употребну вредност готовог производа, тако и по егзактности утврђивања и квантификовања. У класичној картографији, она је била готово синоним за квалитет карте (Peterca i др, 1974).

За оцењивање квалитета географских информација данас се користе бројне и различите методе. Стандард ISO 19114 *Quality evaluation procedures - Процедуре оцене квалитета* (ISO, 2003) дели методе оцене квалитета у две основне класе, на директне и индиректне. Директним методама се квалитет оцењује поређењем с одговарајућим интерним и/или екстерним референтним информацијама. У зависности од извора информација неопходних за оцењивање, директне методе се даље деле на интерне и екстерне. Интерне методе су оне које користе податке који се већ садрже у скупу који се оцењује, док екстерне методе захтевају податке које скуп који се оцењује не садржи.

Индиректним методама се квалитет података утврђује или оцењује на основу одређених сазнања о скупу података, као што су њихово порекло, произвођач и слично.

Стандарди за оцену положајне тачности

Када је реч о оцени положајне тачности географских информација, фамилија ISO стандарда дефинише само основне принципе и опште процедуре. Њима се не утврђују посебне мере тачности, као ни статистике које треба користити приликом оцењивања или извештавања о квалитету (као што су, на пример, стандардно одступање или вероватна грешка), нити прописује минимална методологија коју треба применити за добијање оцене квалитета. То је остављено корисницима ISO стандарда, који наведено дефинишу у складу с постављеним циљевима и о томе извештавају на одговарајући начин (Радојчић, 2008).

Ситуација није боља ни када се ради о „индустријским“ или „*de facto*“ стандардима на глобалном нивоу. Тек на националном нивоу јављају се поједини стандарди који ближе уређују ову проблематику, мада су земље с оваквим стандардима још увек ретке. Снажан утицај на стандардизацију у овој области имају два америчка стандарда: Национални стандард тачности карата (*United States National Map Accuracy Standards - NMAS*) из 1947. године и Национални стандард за тачност података о простору (*National Standard for Spatial Data Accuracy- NSSDA*) из 1998. године. Први се односи на испитивање положајне тачности аналогних (понекад и дигиталних) карата и није сасвим погодан за коришћење у савременим условима, док се други, актуелан и савремено применљив, односи на све дигиталне геопросторне податке (у растерском и у векторском облику).

Овим стандардима свакако треба додати и веома детаљан и одлично разрађен NATO стандард *STANAG¹ 2215 - Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data* (Оцена копнених и ваздухопловних карата и дигиталних топографских података) из 2002. године.

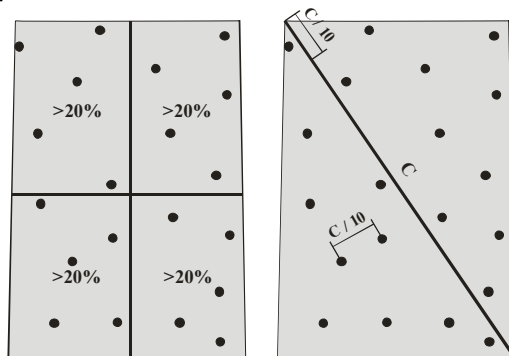
Амерички Национални стандард за тачност података о простору

Оцењивање положајне тачности помоћу *NSSDA (FDGC, 1998)* почива на упоређењу координата тачака измерених у скупу чија се тачност оцењује и одговарајућих референтних („истинитих“) координата. Тачке чије се координате

¹ скраћеница од *Standardization Agreement - Споразум о стандардизацији*

упоређују треба бирати тако да се могу лако и недвосмислено идентификовати и у скупу који се оцењује и у референтном скупу (најчешће, у природи). Обично су то пресечне тачке линијских објеката (путева, пруга, канала итд) који се секу под углом од око 90° , усамљено дрвеће, споменици, и сл.

Стандард прописује да одабране тачке морају бити равномерно распоређене у скупу података и дефинише критеријуме за тај распоред за скуп података о простору који покрива подручје облика правоугаоника (попут листа карте), уз претпоставку да је положајна тачност на разматраном подручју униформна. Према том критеријуму, у сваком квадранту разматраног подручја мора бити бар 20% од укупног броја тачака, при чему се оне налазе на међусобном растојању које износи бар 10% дужине дијагонале (слика 1).



Слика 1. Критеријуми распореда тачака за тестирање

Положајна тачност скупова података који су тродимензионално геореференцирани утврђује се комбиновањем резултата испитивања тзв. *хоризонталне тачности* (тачност положаја у односу на хоризонтални датум, тј. дводимензионалне координате) и тзв. *вертикалне тачности* (тачност положаја у односу на вертикални датум, тј. једнодимензионалне координате).

Стандард *NSSDA* за оцену положајне тачности као полазну основу користи корен средње квадратне грешке, која се означава као *RMSE* (*Root Mean Squared Error*). Грешка *RMSE* је други корен средње вредности збира квадрата разлика координата тачака измерених у скупу чија се тачност оцењује и одговарајућих референтних („истинитих“) координата. Тачност се саопштава у оним јединицама у којим су изражене координате у природи (метар или стопа), што омогућава директно упоређење различитих производа, независно од разлика у размеру или резолуцији. За ниво поверења саопштене тачности користи се 95%.

Оцењивање хоризонталне тачности

Нека је:

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dy^2} \quad \text{и} \quad RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dx^2}$$

где су dy и dx разлике мерених и референтних координата у правцу координатних оса y и x .

Хоризонтална грешка у тачки i је:

$$RMSE_i = \sqrt{dy_i^2 + dx_i^2}$$

па је хоризонтална $RMSE$ целог узорка:

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dy^2 + \frac{1}{n} \sum_1^n dx^2} = \sqrt{RMSE_y^2 + RMSE_x^2}$$

Уколико је $RMSE_y = RMSE_x$, важи:

$$RMSE_r = \sqrt{2RMSE_y^2} = \sqrt{2}RMSE_x = 1,4142RMSE_y = 1,4142RMSE_x$$

Ако су грешке међусобно независне и имају нормалан распоред, хоризонтална тачност са нивоом поверења од 95% се рачуна према:

$$Accuracy_r = 1,7308 \cdot RMSE_r$$

С друге стране, уколико је $RMSE_y \neq RMSE_x$, тада је:

$$Accuracy_r = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (RMSE_y + RMSE_x)$$

Оцењивање вертикалне тачности

Нека је:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dz^2}$$

где су dz разлике мерених и референтних вертикалних координата (висина).

Ако су грешке међусобно независне и имају нормалан распоред, вертикална тачност са нивоом поверења од 95% се рачуна према:

$$Accuracy_z = 1,9600 \cdot RMSE_z$$

NATO STANAG 2215

Овај стандард (*NATO, 2002*) дефинише апсолутну и релативну (*point-to-point*) тачност. Под апсолутном тачношћу стандард подразумева несигурност тродимензионалног положаја тачке у односу на датум *WGS84* и модел геоида *EGM96* (који се у *NATO* користе према *STANAG-у 2211*). Апсолутна хоризонтална тачност представља несигурност дводимензионалног положаја (у односу на хоризонтални датум) и изражава се као круг грешке с 90%-тним нивоом поверења. Апсолутна вертикална тачност је несигурност висине тачке у односу на вертикални датум и изражава се као линеарна грешка с 90%-тним нивоом поверења. Релативна хоризонтална (вертикална) тачност представља несигурност разлике положаја (висина) две тачке, а изражава се као круг грешке (односно као линеарна грешка) с 90%-тним нивоом поверења.

Оцењивање хоризонталне тачности

За ово оцењивање стандард захтева узорак од најмање 167 тачака по испитиваном скупу. Као и код *NSSDA*, бирају се јасно дефинисане тачке које морају бити равномерно распоређене на подручју испитивања. Када се ради о штампаним

картама, стандард захтева да узорком буду обухваћене тачке у свим коришћеним бојама.

У поступку оцене хоризонталне тачности, најпре се рачуна круг стандардног одступања (грешке) σ_c , на основу линеарних стандардних одступања по y -оси (у стандарду означене са E , од *Easting*) и x -оси (у стандарду означене са N , од *Northing*), тј.:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{\sum (\delta E_i - \overline{\delta E})^2 + \sum (\delta N_i - \overline{\delta N})^2}{n-1} \right]}$$

где су:

δE_i , δN_i – појединачне разлике мерених и референтних координата по осама E и N , и $\overline{\delta E}$, $\overline{\delta N}$ – аритметичке средине разлика по координатним осама.

Затим се приступа тестирању скупа података на присуство грубих грешака. Тестирају се поправке (резидуали) R чија је вредност већа од граничне вредности $M_2 \cdot \sigma_c$, тј.:

$$R = \sqrt{(\delta E_i - \overline{\delta E})^2 + (\delta N_i - \overline{\delta N})^2} > M_2 \cdot \sigma_c$$

при чему се вредност M_2 рачуна у зависности од величине узорка (односно степена слободе, $n-1$) према:

$$M_2 = \sqrt{2,5055 + 4,6052 \cdot \log_{10}(n-1)}$$

За разлику од претходног стандарда, *STANAG 2215* прописује и одређено тестирање присуства систематских грешака, односно утврђивање да ли се средње вредности разлика координата $\overline{\delta E}$ и $\overline{\delta N}$ значајно разликују од нуле. Разлика се сматра значајном уколико је нула изван интервала $(\bar{x} - t_{10\%} \cdot \sigma_x)$ и $(\bar{x} + t_{10\%} \cdot \sigma_x)$, где су:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_c}{\sqrt{n}}$$

\bar{x} – средња вредност у правцу једне или друге осе, тј. $\overline{\delta E}$ или $\overline{\delta N}$

σ_x – корен средње квадратне грешке по одговарајућој координатној оси, E или N

$t_{10\%}$ – вредност која се узима из таблица за Студентов (t) распоред

с нивоом значајности од 10%, за $n-1$ степена слободе

На крају се рачуна круг грешке с 90%-тним нивоом поверења, у англосаксонској литератури традиционално означен као *CMAS* (скраћеница од *Circular Map Accuracy Standard*). Уколико тестирање покаже да се $\overline{\delta E}$ и $\overline{\delta N}$ не разликују значајно од нуле, *CMAS* се рачуна према:

$$CMAS = 2,1460 \cdot \sigma_c$$

а у супротном према:

$$CMAS = \sigma_c \cdot \left[1,2943 + \sqrt{\left(\frac{d}{\sigma_c} \right)^2 + 0,7254} \right]$$

где је:

$$d = \sqrt{(\overline{\delta E})^2 + (\overline{\delta N})^2}$$

На основу вредности *CMAS*, картографски производи се, према овом стандарду, сврставају у једну од пет класа (табела 1).

Табела 1. Класификација картографских производа по хоризонталној тачности

Класа	<i>CMAS</i>	Размер карте или еквивалентна резолуција				
		1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:250 000
<i>A</i>	0,5 mm	12,5 m	25 m	50 m	100 m	125 m
<i>B</i>	1,0 mm	25 m	50 m	100 m	200 m	250 m
<i>C</i>	2,0 mm	50 m	100 m	200 m	400 m	400 m
<i>D</i>	>2,0 mm	Лошије од класе <i>C</i>				
<i>E</i>		Без оцене				

Оцењивање вертикалне тачности

За ово оцењивање се такође захтева узорак од најмање 167 тачака и дефинишу слични услови и принципи као и за оцењивање хоризонталне тачности. Овде је, међутим, потребно водити рачуна да је узорак репрезентативан и у висинском смислу, тако да треба да обухвати тачке са различитим висинама, а посебно тачке са екстремним вредностима висина на разматраном подручју.

У поступку оцене апсолутне вертикалне тачности, најпре се формирају разлике мерених и референтних висина δH_i и разлике од средње вредности свих разлика $\overline{\delta H}$, а затим рачуна линеарно стандардно одступање, према:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum (\delta H_i - \overline{\delta H})^2}{n - 1}}$$

Затим се на исти начин као и код апсолутне хоризонталне тачности, скуп тестира на постојање грубих и систематских грешака.

На крају се рачуна линеарна грешка с 90%-тним нивоом поверења, у англосаксонској литератури традиционално означена као *LMAS* (скраћеница од *Linear Map Accuracy Standard*). Уколико тестирање покаже да се $\overline{\delta H}$ не разликује значајно од нуле, *LMAS* се рачуна према:

$$LMAS = 1,645 \cdot \sigma_M,$$

а у супротном према:

$$LMAS = \sigma_M \left[1,645 + 0,92 \cdot \left(\frac{|\overline{\delta H}|}{\sigma_M} \right)^2 - 0,98 \cdot \left(\frac{|\overline{\delta H}|}{\sigma_M} \right)^2 \right].$$

На основу вредности *LMAS*, картографски производи се, према овом стандарду, сврставају у једну од пет класа (табела 2).

Табела 2. Класификација картографских производа по тачности висина

Класа	Размер карте или еквивалентна резолуција				
	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:250 000
0	2,5 m	5 m	10 m	20 m	25 m
1	5 m	10 m	20 m	40 m	50 m
2	10 m	20 m	40 m	80 m	100 m
3	Лошије од класе 2				
4	Без оцене				

Наша искуства у примени разматраних стандарда

Стандарди *NSSDA* и *STANAG 2215* су коришћени при испитивању хоризонталне положајне тачности дигиталне (растерске) топографске карте 1: 50.000 Србије издања Војногеографског института (ДТК50). Хоризонтална положајна тачност је анализирана на узорку од 48 листова, што је око 25% укупног броја листова. Као контролне тачке су узете, највећим делом, тригонометријске тачке. За шест листова из истог узорка оцењивање је извршено и помоћу јасно дефинисаних тачака, чије су координате мерене на терену *GPS* методом. Укупан број тачака на основу којих је вршено испитивање и оцењивање износи око 8.500 (више од 170 тачака по листу).

Применом *NSSDA* утврђено је да се вредност мере *Accuracy_r* (95%-тни ниво поверења) налази у интервалу од 10,9m до 23,6m (0,22mm до 0,47mm), односно да је њена просечна вредност 15,8 m (0,32mm). С друге стране, применом *STANAG-a 2215*, добијена је вредност мере *CMAS* (90%-тни ниво поверења) у границама од 9,6m до 20,5m (0,19mm до 0,41mm), односно у просеку 14,0m (0,28mm). Наведени подаци се односе на анализу хоризонталне положајне тачности рађену на основу тригонометријских тачака. Показатељи добијени на основу јасно дефинисаних тачака су, наравно, нешто лошији: просечна вредност мере *Accuracy_r* износи 23,6m (0,47mm), а мере *CMAS* 24,4m (0,49mm). Ипак, према класификацији коју даје *STANAG 2215* (табела 1), тестирани листови ДТК50 припадају најбољој класи, класи А (*Bozic & Radojicic, 2011*). О високој положајној тачности сведоче и вредности *RMSE_r*, које за тачке геодетске основе, према претходној оцени тачности (*Peterca и др, 1974*), треба да износе око 0,1 до 0,2 mm. Уз занемарљив број изузетака, овде је то и постигнуто.

Разлике мерених и референтних координата су искоришћене и за бројне друге анализе које нису предвиђене наведеним стандардима. Тако је, нпр., анализирано да ли су разлике у вредностима показатеља положајне тачности између листова хомогене, да ли је однос вредности *Accuracy_r* и *CMAS* по испитиваним листовима саглан теоријском односу, сваки лист је тестиран осим са свим тачкама (око 170) и са 20 тачака из истог скупа (минимални захтев *NSSDA*), ради упоређења добијених резултата, итд.

То је рађено са циљем да се не само боље испита и оцени хоризонтална положајна тачност ДТК50, већ и да се дође до што егзактнијих параметара за утврђивање оптималне методологије испитивања положајне тачности топографских карата и других скупова географских информација, који ће се примењивати убудуће, на најновијим производима ВГИ.

Имајући у виду обим послова, трошкове испитивања и ниво поузданости оцене, утврђено је да положајну тачност треба испитивати на свим листовима (а не на репрезентативном узорку) и то по стандарду *NSSDA*, уз допуну која се односи на захтев да јасно дефинисане тачке на основу којих се оцењује тачност морају репрезентовати све елементе географског садржаја карте. Показало се да је овај захтев

који, иначе, није у супротности са стандардом, веома важан за објективно оцењивање хоризонталне положајне тачности, па се стога инсистира на његовом испуњењу. Такође, разлике мерених и референтних координата треба, одмах по њиховом формирању, подвргнути тестирању на грубе и систематске грешке, иако *NSSDA* то не захтева експлицитно. Због могућности да неке разлике не прођу тест, потребно је да број контролних тачака буде мало већ од минималног и да износи око 25 до 30 по листу.

Уочено је и то да се испитивање положајне тачности карте треба ускладити са динамиком њене израде (обнове), тако да се одмах по публикавању листа – а најкасније у току наредне године – изврши и испитивање његове тачности.

Закључак

Географске информације имају све већи значај у процесу доношења одлука, праћењу ситуација и планирању у привреди, државној администрацији, војсци и другим сегментима живота и развоја. Примена дигиталних технологија је увећала тржиште географских информација до неслућених размера и непрекидно га увећава, како на страни корисника, тако и на страни произвођача и даваоца услуга.

У тим околностима, расте и значај познавања квалитета тих информација, као и потреба да се показатељи квалитета утврђују и саопштавају на стандардизовани начин, како би корисници могли одабрати баш онај производ који ће сигурно задовољити њихове потребе.

Положајна тачност, као традиционално најзначајнији елемент квалитета географских информација, задржава велики значај и у савременим условима. Стога је већи део савремених националних, регионалних и интернационалних стандарда – иначе, још релативно малобројних – претежно посвећено испитивању и саопштавању положајне тачности карата и/или других скупова географских информација.

Стога и Војногеографски институт, једини издавач топографских карата у Србији, овом питању посвећује пуну пажњу и предузима одговарајуће мере ради потпуне примене контроле квалитета својих картографских и географских производа.

Литература

- Борисов, М. (2001): Математичка основа и тачност дигиталних карата, *Геодетска служба*, бр. 88, (стр. 5-15), Београд.
- Борисов, М. (2004): Модел и организација геопросторних података за размеру 1:50.000, докторска дисертација, Грађевински факултет – Одсек за геодезију, Београд.
- Борисов, М. Радојчић, С., Иконовић, В. (2010): Актуелни картографски радови Војногеографског института, Гласник Српског географског друштва, св. XC, бр. 3, (207-218), Српско географско друштво, Београд.
- Bozic, S., Radojic, S. (2011): Horizontal accuracy of 1:50 000 digital topographic maps, *Survey Review*, 43, (94-104), Bristol (United Kingdom).
- Federal Geographic Data Committee / Subcommittee for Base Cartographic Data (1998): Geospatial Positioning Accuracy Standards: Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy, FGDC, Reston (Virginia, USA).
- ISO (2000): The International Organization for Standardization, ISO19113: Geographic information – Quality principles, Geneva.
- ISO (2003): The International Organization for Standardization, ISO19114: Geographic information – Quality evaluation procedures, Geneva.
- NATO (2002): Standardization Agreement (STANAG) 2215 : Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data, NATO Standardization Agency, NATO Standardization Agency, Brussels.
- Peterca, M., Radošević, N., Milisavljević S., Racetin, F. (1974): Kartografija, Vojnogeografski institut, Beograd.
- Радојчић, С. (2008): Анализа хоризонталне положајне тачности Дигиталне топографске карте 1: 50.000 издања ВГИ, докторска дисертација, Војна академија, Београд.

POSITIONAL ACCURACY OF GEOGRAPHICAL INFORMATION AND RECENT STANDARDS FOR ITS EVALUATION

STEVAN RADOJČIĆ^{1*}, MIRKO BORISOV¹, BRANKO BOŽIĆ²

¹*Military Geographical Institute*

²*Faculty of Civil Engineering*

Abstract: Positional accuracy is important quantity element of quality of geographical information in digital as well as in analoguos form. This paper points to importance and necessity of evaluation of positional accuracy in recent conditions, describes two modern standards for positional accuracy evaluation and shows the results of its implementation on raster topographic map at scale 1:50.000 made by Military Geographical Institute.

Key words: Geographical information, Quality, Positional accuracy, NSSDA, STANAG 2215.

Introduction

Using geographical information within the decision making process in armed forces, economy, state administration and other areas is permanently increasing, specially from appearance and wide application of digital based tehnology. At the same time, the importance of knowing its quality is also increasing; if decisions are based on information with insufficient – or unknown – quality, the consequences could be huge (Borisov, 2001). This is particularly true when geographic information are related to decision which are associated to people life and health, local economy or some legal consequences (Радојчић, 2008).

According to ISO 19 113 standard *Quality principles (ISO, 2000)*, quality of geographical information is described in quantitative way with five elements: completeness, logical consistency, positional accuracy, temporal accuracy and thematic accuracy. Together with unquantitative elements (i.e. purpose, usage and lineage), this approach defines quality of geographical information in an universal and complete way.

The term *positional accuracy* means compliance the position of a point belong to some space model to its throe position in space. The positional accuracy may be absolute (external) or relative (internal), depending if compliance is established related to the coordinate system (absolute accuracy) or to other points of space model (relative accuracy).

It has to be noted that the positional accuracy, although just one of the quality elements, is specially distinguished among them, by this influence to the final product utility as well as by its manner of evaluation and quantification. In classical cartography, the positional accuracy was almost a synonym for map quality (Peterca at al, 1974).

Nowadays, there are a lot of different methods for geographical information quality evaluation and assessment. The ISO 19114 standard *Quality evaluation procedures* divides those methods into two main classes: direct and indirect. Direct methods determine data quality through the comparison of the data with internal and/or external reference information. The direct evaluation methods are further subclassified by the source of the information needed to perform the evaluation to internal and external. The internal method uses data incorporated into space model, while external model uses external data.

* E-mail: stradojcic@sezampro.rs

Indirect methods infer or estimate data quality using information on the data, such as lineage, manufacturer, etc.

Standards for positional accuracy evaluation

The family of ISO standards defines just basic principle and procedures for positional accuracy assessments and evaluation. There are no particular measure of accuracy, neither statistics for calculations or quality reports (such as, i.e. standard deviation or probable error). It is a matter of ISO standards user who those things defines according his objectives and about positional accuracy reports as they wish (Радюжний, 2008).

The same is valid for "industrial" or "de facto" standards on international level. Just on national level there are some standards which detail elaborate this matter, although there are only few such countries. The two America's national standards have strong influence on standardization in this area: the United States National Map Accuracy Standards (NMAS) from 1947., and the National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) from 1998. The first one is related to assessments of mainly analogous maps (sometimes of digital maps, too) and is not quite appropriate for using in nowadays conditions, while the second one, modern and nowadays usable, is related to all digital spatial data (in raster as well as in vector form).

To those standards one have to attach very detailed and excellent elaborated NATO standard STANAG² 2215 - *Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data* from the year of 2002.

US National Standard for Spatial Data Accuracy

Assessment of positional accuracy with NSSDA (FDGC, 1998) is based on comparison the coordinates of the several points within the data set to the reference ("true") coordinates of the same points. Those points are chosen in that way that it can be easily visible or recoverable into the data set and into the source of reference coordinates (usually on the ground). Suitable well-defined points represent right-angle intersections of roads, railroads, canals, etc, then lonely trees, monuments and so on.

The standard prescribes that check points have to be equally distributed and defines criterion for distribution, for a dataset covering a rectangular area that is believed to have uniform positional accuracy. According to this criterion, check points may be distributed so that points are spaced at intervals of at least 10 percent of the diagonal distance across the dataset *and* at least 20 percent of the points are located in each quadrant of the dataset (Fig. 1).

Positional accuracy of data sets with 3D coordinates is determined by combining results of *horizontal accuracy* assessments (accuracy related to horizontal geodetic datum, i.e. 2D coordinates) and *vertical accuracy* assessments (accuracy related to vertical geodetic datum, i.e. 1D coordinates).

Fig. 1. Criterion for check points distribution

The NSSDA uses root-mean-square error (RMSE) to estimate positional accuracy. RMSE is the square root of the average of the set of squared differences between dataset coordinate values and reference coordinate values for identical points. Positional accuracy values are reported in ground distances (metric units or feet), what allows users to directly

² *Standardization Agreement*

compare datasets of differing scales or resolutions. Accuracy is reported at the 95% confidence level.

Horizontal accuracy

Let:

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dy^2} \quad \text{and} \quad RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dx^2}$$

where dy and dx are the differences between measured and reference coordinates along y and x axes.

Horizontal error at point i is defined as:

$$RMSE_i = \sqrt{dy_i^2 + dx_i^2}$$

so, horizontal RMSE is:

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dy^2 + \frac{1}{n} \sum_1^n dx^2} = \sqrt{RMSE_y^2 + RMSE_x^2}$$

If $RMSE_y = RMSE_x$,

$$RMSE_r = \sqrt{2RMSE_y^2} = \sqrt{2}RMSE_x = 1,4142RMSE_y = 1,4142RMSE_x$$

Supposed that errors are normally distributed and independent in each the x - and y -component, the horizontal accuracy at the 95% confidence level is:

$$Accuracy_r = 1,7308 \cdot RMSE_r$$

On the other hand, if $RMSE_y \neq RMSE_x$, then:

$$Accuracy_r = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (RMSE_y + RMSE_x)$$

Vertical accuracy

Let:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n dz^2}$$

where dz are the differences between measured and reference vertical coordinates (heights).

Supposed that errors are normally distributed and independent in each the x - and y -component, the vertical accuracy at the 95% confidence level is:

$$Accuracy_z = 1,9600 \cdot RMSE_z$$

NATO STANAG 2215

This standard (*NATO, 2002*) defines absolute and relative (*point-to-point*) accuracy. Under the absolute accuracy standard assumes the uncertainty in the 3-dimensional position of a point with respect to the WGS84 reference system, combined with EGM96 geoid model (which are used in NATO according to STANAG 2211). Absolute horizontal accuracy is uncertainty in the horizontal position of a point with respect to the

horizontal datum and it is expressed as a circular error at the 90% confidence level. Absolute vertical accuracy is uncertainty in the height of a point with respect to the vertical datum and it is expressed as a linear error at the 90% confidence level.

Horizontal accuracy

For horizontal accuracy evaluation, STANAG 2215 expects at least 167 check points per data set. Like NSSDA, the STANAG 2215 uses well-defined points with even distribution within data set. In the case of maps, the sample should include a representative selection of features from each colour plate.

In evaluation procedure, the first step is to calculate the circular error σ_c , from the linear standard deviations among x (or E , from *easting*) and y (or N , from *northing*) axes:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{\sum (\delta E_i - \overline{\delta E})^2 + \sum (\delta N_i - \overline{\delta N})^2}{n-1} \right]}$$

where:

$\delta E_i, \delta N_i$ – discrepancies of i -th check point in the E and N directions respectively, and
 $\overline{\delta E}, \overline{\delta N}$ – arithmetic means of all discrepancies per axes.

Then the outlier detection is performed. The residuals R with value higher of $M_2 \cdot \sigma_c$, should be tested according to:

$$R = \sqrt{(\delta E_i - \overline{\delta E})^2 + (\delta N_i - \overline{\delta N})^2} > M_2 \cdot \sigma_c$$

where M_2 is computed depends on size of sample (i.e. degree of freedom, $n-1$):

$$M_2 = \sqrt{2,5055 + 4,6052 \cdot \log_{10}(n-1)}$$

In contrast to the previous standard, the STANAG 2215 regulates a test to determine whether or not a computed bias is significant, by compare values of $\overline{\delta E}$ and $\overline{\delta N}$ with zero. The bias should be considered to be significant at the 90% confidence level if zero does not lie in the range $(\bar{x} - t_{10\%} \cdot \sigma_x^-)$ и $(\bar{x} + t_{10\%} \cdot \sigma_x^-)$, where

$$\sigma_x^- = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

\bar{x} – mean value along axis E or N , $\overline{\delta E}$ and $\overline{\delta N}$

σ_x^- – root-mean-square error per coordinate axis, E or N

$t_{10\%}$ – value which ensures a confidence level of 90% based on a t distribution for $n-1$ degrees of freedom.

Finally, one have to evaluate circular error with 90% confidence level, in English language traditional noted as CMAS (Circular Map Accuracy Standard). If $\overline{\delta E}$ and $\overline{\delta N}$ are not significantly differ from zero value, CMAS is:

$$CMAS = 2,1460 \cdot \sigma_c$$

and in opposite case:

$$CMAS = \sigma_c \cdot \left[1,2943 + \sqrt{\left(\frac{d}{\sigma_c}\right)^2 + 0,7254} \right]$$

where:

$$d = \sqrt{(\overline{\delta E})^2 + (\overline{\delta N})^2}$$

By the value of CMAS, the STANAG 2215 divide all cartographic product in five classes (Table 1).

Table 1. The cartographic products classification by horizontal accuracy

Vertical accuracy

For vertical accuracy evaluation, STANAG 2215 demands at least 167 check points per data set, like for horizontal accuracy evaluation. In this case, however, the sample have to be representative not only in planar sense, then in vertical sense, too. It means that there have to be check points with different heights, specially points with extreme heights within data set.

In vertical accuracy evaluation procedure, the first step is to calculate the height differences between measured and reference height δH_i , then its differences from mean value of all differences $\overline{\delta H}$ and calculate the lineare standard deviation:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum (\delta H_i - \overline{\delta H})^2}{n-1}}$$

Then, the tests for blunders and sistematic errors is performed, in the same way as for horizontal accuracy evaluation.

Finally, one have to evaluate linear error with 90% confidence level, in English language traditional noted as LMAS (Linear Map Accuracy Standard). If $\overline{\delta H}$ is not significantly differ from zero value, LMAS is calculate as:

$$LMAS = 1,645 \cdot \sigma_M,$$

and in opposite case:

$$LMAS = \sigma_M \left[1,645 + 0,92 \cdot \left(\frac{|\overline{\delta H}|}{\sigma_M}\right)^2 - 0,98 \cdot \left(\frac{|\overline{\delta H}|}{\sigma_M}\right)^3 \right].$$

By the value of LMAS, the STANAG 2215 divide all cartographic product in five classes (Table 2).

Table 2. The cartographic products classification by vertical accuracy

Our experiences in those standards implementations

The NSSDA and STANAG 2215 standards were used for horizontal accuracy assessment of digital (raster) topographic map of Serbia at scale 1: 50.000, issued by Military Geographical Institute (DTK50). The horizontal accuracy evaluated for 48 sheets of DTK50, i.e. approximately 25% of total sheets number. The check point were mainly trigonometric points. For six sheets from same sample, the evaluation was done by well-defined points, with coordinates measured in the field by GPS method. The total number of

check point for assesment and evaluation were about 8.500 (more than 170 points per sheet).

Using NSSDA, it founded that *Accuracy_r* (95% confidence level) were within an interval from 10,9m to 23,6m (from 0,22mm to 0,47mm) and that its average value was 15,8 m (0,32mm). On the other hand, using STANAG 2215, it founded that CMAS (90% confidence level) was within an interval from 9,6m to 20,5m (from 0,19mm to 0,41mm), and that its average value was 14,0m (0,28mm).

Mentioned data are related to horizontal accuracy evaluated with trigonometrical points. The data got from well-defined points are, of course, some worse: the average value for *Accuracy_r* was 23,6 m (0,47mm) and for CMAS was 24,4m (0,49mm). But, according to STANAG 2215 classification (Table 1), the tested sheets belong to the best class, class A. The same could also conclude from RMSE_r values based on trigonometric points, which should be about 0,1mm to 0,2mm (Peterca et al, 1974). With minor exception, those values are realized.

The differences between measured and reference coordinates were used for a lot of other analyses which are not parts of those two standards. For example, it was analised if the differences of *Accuracy_r* and CMAS were homogeneous from sheet to sheet, if the computed relation between *Accuracy_r* and CMAS were equal to the teoretical values, each sheet is evaluated not only with all check pooints (around 170) but with only 20 points (minimum request of NSSDA) because of results comparations, etc.

It was done not only in order to assesment and evaluate horizontal accuracy of DTK50 as better as possible, but also to get parameters for establishing an optimal methodology for evaluation horizontal accuracy of topographic map and other space data sets, usable in future investigations.

Having in mind lasting and costing as well as the reliability level of evaluation, it found that horizontal accuracy is to be evaluated for every single sheet of map and using just NSSDA, supplemented with demand that well-defined points have to represent all geographic elements. This demand is very important for objective evaluation, and it has to be implemented. Also, the differences between measured and reference coordinates have to be tested for blunders and sistematic errors. Finally, the number of check-points per sheet should be slightly larger, about 25-30 instead of 20. It was notices that horizontal accuracy evaluation has to be done parallel with map making, within an time interval of maximum one year after printing a sheet.

Conclusion

Geographical information have more and more importance within decision making, monitoring and planning processes in armed forces, economy, state administration and other areas of public life. Using of dogital tehnologies is significantly increased geographical information marketplace, and still increase it, on the side of user as well as on the side of producer. Under those circumstances, the importance of knowing quality of geographical information permanently rising, as well as needs to assesment, evaluate and report the quality in a standardized way, in order to help users to make proper selection and to choose an adequate product. Positional accuracy, the most important element of quality in cartographic tradition, nowadays has still very large importance. This is why the most modern national, regional and international cartographic quality standards are – which are, by the way, still poorly adopted – mainly oriented to assesment and report justpositional accuracy of data sets.

Because of that, the Military Geographical Institute, as the single topographic maps maker in Serbia, pays great attention to this question and takes proper measures to fully implement quality assesment of its cartographic and geographical products.

References

See References on page 106