

ОБЕЛЕЖАВАЊА ПРОЈЕКТОВАНИХ ГРАНИЦА ПРИРОДНОГ ДОБРА ВРШАЧКЕ ПЛАНИНЕ УПОТРЕБОМ МЕТОДЕ RTK GPS/GLONASS

ЈЕЛЕНА ГУЧЕВИЋ^{1*}, ВУКАН ОГРИЗОВИЋ¹, ОЛИВЕРА ВАСОВИЋ², СИНИША ДЕЛЧЕВ¹

¹Универзитет у Београду – Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73/1, Београд, Србија

²Висока градевинско - геодетска школа, Хајдук Станкова 2, Београд, Србија

Сажетак: Постојеће топографске карте и геодетски планови бивших република Југославије налазе се у Гаус-Кригеровој пројекцији Беселовог елипсоида. Да би се подаци прикупљени ГПС технологијом, усагласили са постојећим картографским материјалом, потребно је обезбедити трансформационе параметре са елипсоида WGS84 на елипсоид Бесела и, према принципима картографског пресликавања, извршити пресликавање у раван Државног координатног система (ДКС). Циљ овог истраживања јесте приказ неопходних геодетских активности потребних за успостављање и одржавање дигиталних картографских подлога у јединственом геодетском референтном систему, са посебним освртом на методологију и могућности примене ГПС технологије у обележавању пројектованих шумских полигона и снимању карактеристичних детаљних тачака. Анализа ове проблематике је приказана на тест подручју предела изузетних одлика "ВРШАЧКЕ ПЛАНИНЕ". Да би се успоставила веза између постојећих података који су прикупљени класичним терестричким методама и података добијених ГПС мерењима потребно је, најпре, израчунати параметре трансформације система WGS84 у ДКС. Након векторизације пројектованих граница са постојећих подлога које су урађене у ДКС, врши се трансформација векторизованих координата граничних линија из ДКС у систем WGS84 и прелази на обележавање граница. Да би се разумела суштинска разлика у методологији и приступу код употребе ГПС пријемника, потребно је истаћи да се концепт одређивања координата тачака, применом ГПС техника, генерално дели на: апсолутно и релативно позиционирање. Разлика између две методе позиционирања може износити и до 200 m, у зависности од услова окружења. Изведени су закључци о избору методе обележавања, с обзиром на примењен инструментариј и конкретне теренске услове. Дате су процедуре за обележавање у складу са принципима геодетског позиционирања.

Кључне речи: RTK (Real Time Kinematic), границе шумских подручја, обележавање, трансформација координата

Увод

До 1960. године стратегија уређења и газдовања шумским подручјем искључиво је била заснована на плановима размере 1:5000 и топографским картама размере 1:10000 до 1:50000 (Кићовић Д. и Драговић Р. 2000). Снимања и обележавања граница шумског привредног подручја, шумских газдинстава, одсека и одељења вршена су у виду полигонских влакова који нису повезивани са геодетским мрежама трајно стабилованих тачака. Почетком деведесетих година прошлога века ГИС постаје незаобилазно средство за приказ, оцену стања и доношење одлука за

* Email: jgucevic@grf.bg.ac.rs

Рад представља резултат истраживања у оквиру пројеката 043007 "Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање", Назив потпројекта: "Утицај климатских промена на планирање урбаног и руралног развоја у циљу очувања животне средине" које финансира Министарство науке и технолошког развоја Републике Србије

управљање простором (Алексић и др. 2010.). Да би управљање било конзистентно, потребно је све геопросторне податке приказати у оквиру ДКС за хоризонтално и вертикално позиционирање. Дефинисање ДКС је делатност геодетске струке која се врши на нивоу државе и прати нове технологије и стандарде. Појава технологије ГПС, изазвала је засигурно највећи скок у геодетском позиционирању, али и довела до низа проблема уклапања постојећих података и евиденција премера шумског подручја са подацима који се прикупљају применом ГПС-технологије.

Постојеће топографске карте и геодетски планови, бивших република Југославије налазе се у Гаус-Кригеровој пројекцији Беселовог елипсоида, која је усвојена марта 1924 (Борисов и др. 2011.). Применом ГПС техника мерења одређују се координате унутар референтног система WGS84. ГПС-методе мерења, са аспекта геодетске примене, деле се на статичку и кинематичку методу (Борисов и др. 2010.). Статичка метода се искључиво користи при реализацији геодетских мрежа а кинематичком методом се одређују координате детаљних тачака. Кинематичка метода подразумева: кинематичку методу у реалном времену (RTK-Real Time Kinematic) и кинематичке методом са накнадном обрадом података (PPK-Post Processed Kinematic). Опрема која подржава RTK даје могућност директног читавања координата и података за праћење и контролу мерења (Hoffman-Wellenhof i dr., 2008). RTK метода мерења се може реализовати у комплету опреме база-и-ровер или у систему активне ГПС мреже која се развија на нивоу државе (Божић и др., 2005). Комплет опреме база-и-ровер у себи има интегрисан радио модем или GSM модем којим је омогућена комуникација између базног и покретног пријемника. Комуникација између покретног ГПС пријемника и активне ГПС мреже је омогућена интегрисаним GSM модемом. Захваљујући чињеници да су тренутне координате исписане на контролеру покретног пријемника, опрема RTK може се користити и у фази геодетског обележавања, тј. преношења пројектованих објеката на терен. Опрема која подржава PPK нема могућност добијања резултата мерења одмах на терену, већ у канцеларији после њихове накнадне обраде.

Да би се прикупљени ГПС подаци усагласили са постојећим картографским материјалом, потребно је обезбедити трансформационе параметре са елипсоида WGS84 на елипсоид Бесела и по принципима картографског пресликавања извршити пресликавање у раван ДКС.

Проблематика истраживања

Планирање и анализа унутар шумског газдинства, врши се непосредним мерењем на терену и употребом векторизованих графичких подлога. Векторизоване границе шумских одсека и одељења се геодетским техникама и методама обележавају на терену у виду полигонских влакова. ГПС технике, се уз поштовње услова при раду и уз адекватну методу рада, користе за преношење пројектованих граница шумских одсека и одељења у шумском подручју. Проблем обележавања представља чињеница да се подаци постојећих картографских материјала и подаци прикупљени ГПС техникама налазе у различитим референтним системима за хоризонтално и вертикално позиционирање. Трансформацију координата из система WGS84 у ДКС и обрнуто, није могуће урадити без претходно одређених параметара трансформације. Након одређених параметара трансформације за карактеристично подручје, прелази се на израду плана обележавања пројектованих (векторизованих) граница и геодетско снимање.

Услед нехомогене тачности геодетске основе за хоризонтално позиционирање, примена ГПС техника и трансформација координата представља проблем геодетске делатности у свим бившим југословенским републикама.

Циљ и методе истраживања

Имајући у виду значај и вредности шумског привредног подручја, концепт заштите, вредновања, стратешког планирања и управљања не може се остварити без израде јединственог информационог система целог подручја. Основ сваког информационог система чине подаци о простору прикупљени геодетским методама и техникама (Манојловић и др. 2010.). Да би ти подаци били интерпретирани на најбољи начин, потребно је извршити њихово прикупљање у складу са правилима геодетске делатности (Мустафић и др. 2009.).

Циљ овог истраживања јесте приказ неопходних геодетских активности потребних за успостављање и одржавање дигиталних картографских подлога у јединственом геодетском референтном систему, са посебним освртом на методологију и могућности примене ГПС технологије у обележавању пројектованих шумских полигона и снимању карактеристичних детаљних тачака. Да би се успоставила веза између постојећих података који су прикупљени класичним терестричким методама и података добијених ГПС мерењима потребно је предвидети следеће геодетске активности:

1. Одређивање параметара трансформације система WGS84 у ДКС и обрнуто,
2. Векторизацију пројектованих граница са постојећих подлога које су урађене у ДКС.
3. Трансформацију векторизованих координата граничних линија из ДКС у систем WGS84.
4. Обележавање граница шумских газдинстава, одсека и одељења применом ГПС техника

1) Одређивање параметара трансформације система WGS84 у ДКС и обрнуто,

За одређивање седам параметара трансформације (t_x , t_y , t_z - три translације, α , β , γ - три ротације и s - фактор размере) унутар неког локалног подручја потребно је обезбедити најмање три тачке постојеће геодетске основе које имају координате одређене у равни ДКС и у систему елипсоида WGS84.

За сваку тачку i чије су координате познате у систему WGS84 (X_i^{WGS84} , Y_i^{WGS84} , Z_i^{WGS84}) и негеоцентричном Бесел-овом елипсоиду (X_i^{Bessel} , Y_i^{Bessel} , Z_i^{Bessel}), може се написати израз (Leick i van Gelder 1975 i Grafarend, Knickmeyer i Schaffrin 1982):

$$\begin{bmatrix} X_i^{Bessel} \\ Y_i^{Bessel} \\ Z_i^{Bessel} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^{WGS84} \\ Y_i^{WGS84} \\ Z_i^{WGS84} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i^{WGS84} & Y_i^{WGS84} \\ 0 & 1 & 0 & Z_i^{WGS84} & 0 & -X_i^{WGS84} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i^{WGS84} & X_i^{WGS84} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ s \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$i = 1..n, n > 3$$

из кога следе линеарне једначине поправака:

$$\begin{aligned} v_{X_i^{Bessel}} &= t_x - Z_i^{WGS84} \beta + Y_i^{WGS84} \gamma + X_i^{WGS84} s + X_i^{WGS84} - X_i^{Bessel} \\ v_{Y_i^{Bessel}} &= t_y + Z_i^{WGS84} \alpha - X_i^{WGS84} \gamma + Y_i^{WGS84} s + Y_i^{WGS84} - Y_i^{Bessel} \\ v_{Z_i^{Bessel}} &= t_z - Y_i^{WGS84} \alpha + X_i^{WGS84} \beta + Z_i^{WGS84} s + Z_i^{WGS84} - Z_i^{Bessel} \end{aligned} \quad (2)$$

Функционални модел (2) у матричном облику гласи:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f} \quad (3)$$

где су:

– вектор поправака:

$$\mathbf{v}^T = [v_{X_1}^{Bessel} \ v_{Y_1}^{Bessel} \ v_{Z_1}^{Bessel} \ \dots \ v_{X_n}^{Bessel} \ v_{Y_n}^{Bessel} \ v_{Z_n}^{Bessel}]$$

– матрица коефицијената:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_1^{WGS84} & Y_1^{WGS84} & X_1^{WGS84} \\ 0 & 1 & 0 & Z_1^{WGS84} & 0 & -X_1^{WGS84} & Y_1^{WGS84} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_1^{WGS84} & X_1^{WGS84} & 0 & Z_1^{WGS84} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_n^{WGS84} & Y_n^{WGS84} & X_n^{WGS84} \\ 0 & 1 & 0 & Z_n^{WGS84} & 0 & -X_n^{WGS84} & Y_n^{WGS84} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_n^{WGS84} & X_n^{WGS84} & 0 & Z_n^{WGS84} \end{bmatrix}$$

– вектор непознатих параметара:

$$\mathbf{x}^T = [t_x \ t_y \ t_z \ \alpha \ \beta \ \gamma \ s].$$

– Вектор слободних чланова

$$\mathbf{f}^T = [X_1^{WGS84} - X_1^{Bessel} \ Y_1^{WGS84} - Y_1^{Bessel} \ Z_1^{WGS84} - Z_1^{Bessel} \ \dots \\ X_n^{WGS84} - X_n^{Bessel} \ Y_n^{WGS84} - Y_n^{Bessel} \ Z_n^{WGS84} - Z_n^{Bessel}].$$

Метод најмањих квадрата примењује се на функционални модел (3). Оцене вектора непознатих параметара сада се могу добити из једначине:

$$\hat{\mathbf{x}} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{f} \quad (4)$$

Када се оцене $\hat{\mathbf{x}}$ уврсте у једначину (3) добијају се поправке односно одступања, на тачкама за рачунање параметара трансформације:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} + \mathbf{f}. \quad (5)$$

Контрола рачунања може се извршити провером једнакости

$$\mathbf{v}^T \mathbf{v} = \mathbf{f}^T \mathbf{f} + \mathbf{n}^T \hat{\mathbf{x}}. \quad (6)$$

Експериментална вредност референтне стандардне девијације добија се по формули

$$\sigma_0 = \sqrt{\mathbf{v}^T \mathbf{v} / r}, \quad (7)$$

где, број сепени слободе износи $r = 3n - 7$.

Координате у ДКС су одређене класичним терестричким методама и за подручје бивших југословенских република изражавају се у Гаус-Кригеровој пројекцији меридијанских зона, негеоцентричног Беселовог елипсоида. Она представља попречну цилиндричну пројекцију код које се меридијанске зоне елипсоида (ширине 3 степена) пресликавају на раван (Живковић 1972). Да би се избегла рачунања са негативним вредностима у-координате, почетак координатног система има вредност по у у тачки за коју је: број зоне увећан за 500000 m. (нпр. у седмој зони то је 7 500 000 m). Представљање тачака у систему координата у равни пројекције врши се правоуглим координатама у, х. Инверзна Gauss-Krüger-ова пројекција подразумева пројектовање тачке из равни пројекције са координатама (у, х) у тачку на елипсоиду са координатама $(X_i^{Bessel}, Y_i^{Bessel}, Z_i^{Bessel})$ (Живковић 1972).

Координате постојеће геодетске однове у систему WGS84 се могу одредити применом статичке методе опажања и применом RTK сервиса за територију државе у којој је развијена активна ГПС мрежа. Ако је за читаву територију државе реализован сервис RTK у оквиру активне мреже, мерења се врше са најмање једним двофреквентним ГПС пријемником, геодетског типа, са могућношћу истовременог пријема сигнала са најмање осам сателита. Минимално време рада условљено је и

постизањем тачности од 2 cm у хоризонталном и 3 cm у вертикалном смислу. Бројни показатељ квалитета геометријског распореда сателита (PDOP), приликом мерења мора бити мањи од 6.

2) Векторизација пројектованих граница

До појаве дигиталних карата, управљање шумским подручјем вршено је искључиво на аналогним графичким подлогама размере 1:5000, 1: 10000, 1:25000 и 1:50000. Да би се урађени пројекти планирања и газдовања шумама могли реализовати у складу са новим технолошким напретком потребно је извршити њихову векторизацију. Векторизацији претходе скенирање и геореференцирање. Скенирање је претварање графичких планова у дигитални облик. Геореференцирање је поступак постављања претходно скенираних графичких планова у теоријски координатни систем тј. систем у коме је урађена графичка подлога. Последњи корак је векторизација којом се скениране и геореференциране подлоге из растерског преводе у векторски облик. За обраду скенираних планова у употреби су професионални САД алати за израду 2D и 3D модела.

3) Трансформација векторизованих координата из ДКС у систем WGS84

Граничне линије чије су координате векторизоване са постојечих планова у оквиру ДКС, употребом ГПС технологије могу се обележити на терену. За њихово обележавање потребно је извршити трансформацију координата векторизованих граничних линија из ДКС у WGS84. Трансформација се врши на основу одређених параметара трансформације у два корака:

I. Инверзна Гаус-Кригера пројекција (Живковић 1972), којом се тачке са координатама (y, x) у равни Гаус-Кригера пројекције пројектују у тачку са координатама $(X_i^{Bessel}, Y_i^{Bessel}, Z_i^{Bessel})$ на елипсоиду.

II. Рачунање правоуглих Декартових координата одређених у систему WGS84 $(X_i^{WGS84}, Y_i^{WGS84}, Z_i^{WGS84})$, на основу одређених параметара трансформације.

4) Обележавање граница применом ГПС техника

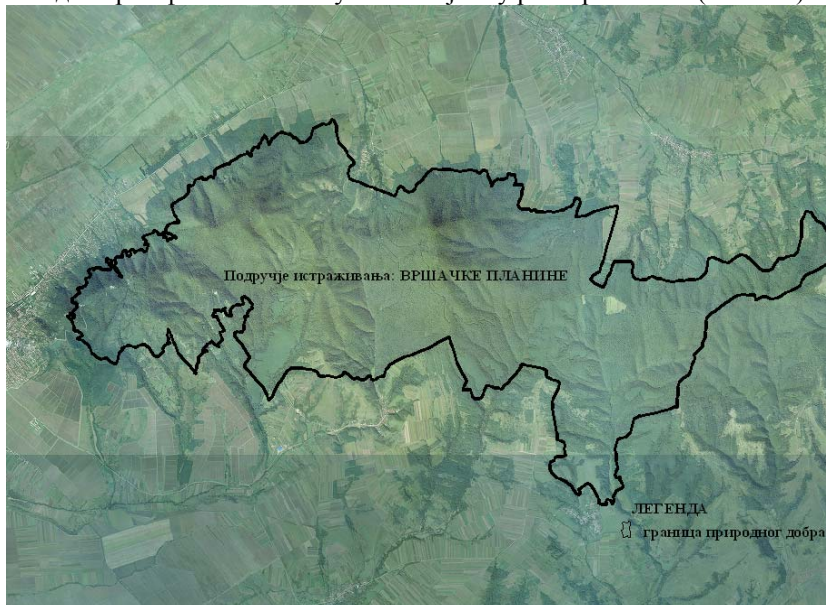
Обележавање пројектованих граница и објеката на терену, обавља се на основу урађеног геодетског пројекта и састоји се од припреме података за обележавање и мерења на терену. Квалитет обележавања зависи од тачности припремљених података и од тачности инструмената и прибора са којом ће се извршити обележавање на терену. Тачност припремљених података је у директној вези са размером у којој је подлога урађена и она се може срачунати као $\pm 0,2 \text{ mm} \cdot M$, где је M - именилац размере. У складу са поменути тачност од 1 m се може очекивати за карте размере 1:5000.

Тачност инструмента и прибора којим се врши обележавање прописана је од стране произвођача и њу дефинишу услови при раду и метода рада. За обележавање употребом ГПС техника, потребно је да на терену постоји поуздана просторно одређена мрежа геодетских тачака. У оквиру ове активности треба предвидети и допуну постојеће геодетске мреже за хоризонтално и вертикално позиционирање собзиром на техничке спецификације инструмента и прибора који ће се користити у процесу обележавања. План геодетских активности у оквиру обележавања се израђује према задатој тачности.

Подручје истраживања

По свом положају, изгледу, карактеристикама као и интересантном биљном и животињском свету Вршачке планине представљају веома специфично подручје Војводине (Р. Србија). Завод за заштиту природе Србије је октобра 2005.године

припремио Студију заштите: Предео изузетних одлика "ВРШАЧКЕ ПЛАНИНЕ", као природно добро од изузетног природног значаја. Студијом заштите је предвиђена израда географског информационог система и успостављање мониторинга ретких биљних врста и заједница. О пределу изузетних одлика "Вршачке планине", стара се Јавно предузеће "Варош". Општина Вршац је 2009. године добила донацију од Европске комисије за израду пројекта заштите шума на Вршачким планинама од пожара. У оквиру пројекта, набављени су и сателитски снимци резолуције 0.6 m, из чега је изведен орто-фото снимак шумског појаса у размери 1:5000 (Слика 1).



Слика 1. Сателитски снимак подручја истраживања "ВРШАЧКЕ ПЛАНИНЕ"

Резултати истраживања

У циљу стављања природног добра у функцију заштите потребно је урадити обележавање спољних граница заштићеног природног добра, као и граница режима заштите I, II и III степена. У подручју под режимом заштите I степена се искључују сви облици коришћења и активности изузев научних истраживања и активности којима се спречава деградација и нестанак осетљивих екосистема. То су подручја значајних шумских екосистема, станишта заштићених биљних и животињских врста са специфичним геолошким, геоморфолошким и другим облицима и појавама. Радове на обележавању пројектованих граница режима заштите, изводи Института за геодезију и геоинформатику, Грађевинског факултета Универзитета у Београду у складу са методологијом извођења геодетских активности и принципима успостављања информационог система.

1) Параметри трансформације система WGS84 - ДКС

На подручју природног добра Вршачке планине, за потребе одређивања параметара трансформације, издвојено је 8 тригонометријских тачака. Координате тачака у ДКС су преузете из техничке документације за градску тригонометријску мрежу К.О. Вршац. ГПС мерења на тачкама за одређивање трансформационих параметара урађена су методом RTK у мрежи перманентних станица Републике Србије (АГРОС). Мерења су реализована пријемницима Тримбле 5700. Опажање на свим тачкама рађено је са центра, у трајању од 30 с за интервал регистрације 1 с у три

повнављања. Дефинитивне вредности координата, (Табела 1) добијене су простом аритметичком средином из три мерења

Табела 1. Координате тачака за рачунање параметара трансформације

К.С.	ДКС			WGS84		
	y [m]	x [m]	H [m]	X^{WGS84} [m]	Y^{WGS84} [m]	Z^{WGS84} [m]
386	7526952.58	4999889.20	93.14	4197538.798	1639696.101	4498671.177
114	7536284.35	5001026.86	158.41	4193454.470	1648125.020	4499487.511
832	7539125.80	4999998.68	183.06	4193121.783	1651041.128	4498767.893
750	7528509.10	4998236.69	348.01	4198237.700	1641632.971	4497681.241
735	7526004.48	4997632.10	399.38	4199576.175	1639463.993	4497298.483
753	7529333.49	4993047.92	160.45	4201248.448	1643671.040	4493882.907
57	7534689.00	4993841.83	219.17	4198825.242	1648478.088	4494466.338
497	7532876.07	4999254.80	640.58	4196177.341	1645522.045	4498592.142

Седам параметара трансформације је одређено по методи МНК за систем од 24 једначина облика (1), у програму GeoTrans програмског пакета WizardSoft BETA 1.0 (Вођинов, 2010). Вредности трансформационих параметара су:

- translација ($t_x = -566,13607$ m, $t_y = -159,12400$ m, $t_z = -761,22731$ m)
- ротација ($\alpha = 5,30343''$, $\beta = 8,60525''$, $\gamma = -9,16316''$)
- размера ($s = 31,73752$ ppm)
- стандард јединице тежине ($\sigma_0 = 0,090$ m).

Срачунати параметри трансформације показује одступања мања од ± 1 dm што је у границама тачности предвиђених геодетских активности у карактеристичном подручју.

2) Векторизација пројектованих граница

Скенирани катастарски планови (размере 1:2500), за природно добро Вршачке планине су преузети од надлезне Катастарске службе. Након преузимања скенираних подлога извршено је геореференцирање и векторизација граничних линија под режимима заштите. Обрада је извршена у софтверском пакету AutoCAD.

3) Трансформација векторизованих граничних линија из ДКС у систем WGS84

За трансформацију координата граничних линија под режимима заштите из ДКС у WGS84, употребљени су претходно срачунати трансформациони параметри. Трансформација је урађена у софтверском пакету WizardSoft BETA 1.0. (Божинов 2011)

4) Обележавање граница применом ГПС техника

План обележавања треба да садржи: избор инструмента и прибора и начин њиховог испитивања; дефинисање критеријума тачности мерења и дефинисање параметара за праћење и контролу обележавања. У складу са ситуацијом на терену и постојећом опремом (која је у власништву Института за геодезију и геоинформатику), одлучено је да се геодетско обележавања изврши ГПС техникама по методи RTK у систему база-и-ровер. Комплет опреме, база-и-ровер је фирме TOPCON и има могућност пријема сигнала GPS/GLONASS. Пре изласка на терен извршено је метролошко испитивање и провера рада свих компоненти система база-и-ровер у акредитованој Метролошкој лабораторији МЛ160 у складу са стандардом ISO 17123-8:2002.

Уз купљену ГПС опрему произвођач је испоручио и софтверски пакет Integrated Controller Software TopSurv, који преко контролера дефинише и прати рад комплета база-и-ровер. Програм има уграђене модуле и процедуре за дефинисање:

- координатног система (елементе елипсоида и картографских пројекција),
- критеријума тачности мерења (Survey Parameters) и

- критеријума за праћење и контролу обележавања- Stakeout Parameters .

Мерење у GPS-RTK режиму зависи и од комуникације између пријемника базе и ровера. Комуникација је успостављена модемом (Pacific Crest PDL, 450-470 MHz) и ограничена је обликом топографије и метролошким условима на растојање до 6 km. С обзиром на техничке спецификације постојеће ГПС опреме, у оквиру ове активности урађена је и допуна постојеће геодетске мреже. На терену су рекогносциране и стабилизоване тачке (B1 и B2). Координате ново пројектованих тачака су одређене ГПС техникама.

План геодетских активности у оквиру обележавања се израђује према задатој тачности. Имајући у виду порекло и тачност координата које треба обележити у шумском подручју ВРШАЧКИХ ПЛАНИНА, дефинисани су следећи:

- Параметри мерења:
 - Прецизност: хоризонтална и вертикална прецизност – 0,5 m,
 - Прикупљање података: коришћење само фиксних фазних мерења са базе и ровера
- Параметри обележавања:
 - Толеранција хоризонталних дужина (прелазак на графички режим обележавања при уласку у круг од 1,0 m од одредишта)

По завршеним припремним радовима направљен је план обележавања граница режима заштите I степена по подручјима (Слика 2):

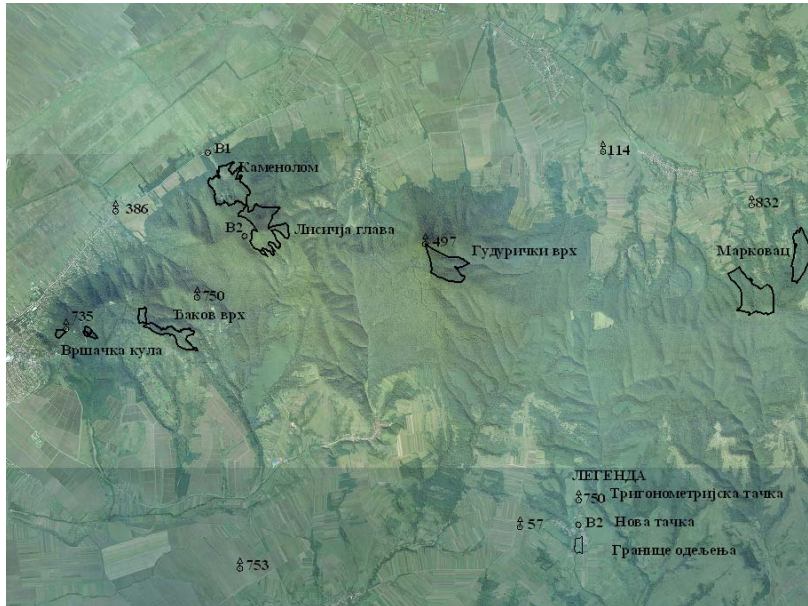
- Каменолом (База:В1),
- Вршачка кула (База: 735),
- Лисичија глава (База:В2),
- Ђаков Врх (База:750),
- Марковац (База:832) и
- Гудурички врх (База:497).

Обележавање је вршено навођењем ГПС ровера у складу са унетим координатама за сваку локацију посебно. Због тешких услова рада, за навигацију тачака у појединим фазама од велике помоћи био је катастарски план и искуство радника ЈП Варош који брину о пределу изузетних одлика Вршачке планине.

У току обележавања нису регистровани недостаци у функционисању радио везе између базног и покретног пријемника. Разлог за то представља чињеница да је њихов међусобни положај био добро пројектован и у складу са условима које захтева радио-комуникација (максимално растојање од базе износило је 2,5 km). Проблем је представљао недовољан број сателита, чији су сигнали у исто време били регистровани у пријемнику базе и ровера. На дисплеју контролера се могла уочити неометана веза са сателитима GLONASS током мерења. Комуникација са ГПС сателитима је била нестабилна. У циљу постизања задатих критеријума тачности обележавања, пријем сигнала са ГПС сателита у већем делу мерења је искључиван.

Да би се разумела суштинска разлика у методологији и приступу код употребе ГПС пријемника, потребно је истаћи да се концепт одређивања координата тачака, применом ГПС техника, генерално дели на: апсолутно и релативно позиционирање.

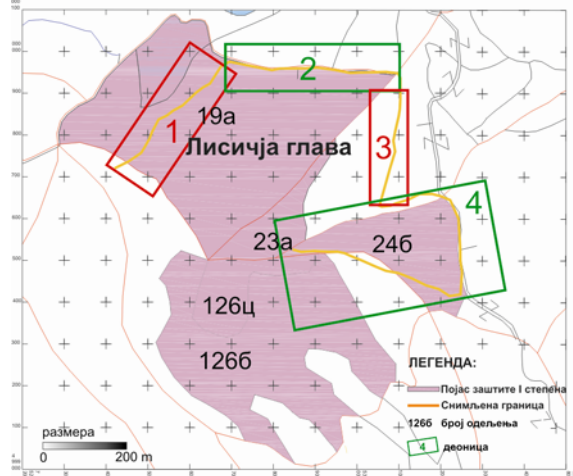
Апсолутно позиционирање подразумева мерење помоћу једног ГПС пријемника. Овај режим рада не задовољава геодетске примене и првенствено је предвиђен за навигацију. У апсолутном позиционирању може се постићи тачност 2 m - 30 m.



Слика 2 Граница режима заштите I степе

Дискусије

Релативним позиционирањем одређује се положај у односу на тачку геодетске основе, која се усваја као почетак. Релативно позиционирање подразумева, мерење у истом временском интервалу на бар два пријемника у комплексу база-и-ровер или у оквиру перманентне ГПС мреже. Уз поштовање услова рада у овом режиму може се постићи центиметарска тачност.



Слика 3. Приказ линије обележене методом апсолутног ГПС позиционирања

Значај предложене методологије обележавања граница, приказаћемо на делу Лисичија глава.

Године 2009, у режиму апсолутног позиционирања извршено је обележавање на основу глобалних параметара трансформације одређених за целу Републику Србију (епоха 2003). Укупна дужина обележене линије је око 2 km.

Наредне године, уз употребу ГПС пријемника геодетске тачности и RTK методе, извршено је обележавање целог појаса, укључујући и део обележен претходне године. Резултати су показали велико неслагање између две епохе мерења. Ова разлика се може уочити на деловима 1, 2, 3 и 4 (Слика 3.). У делу 1 и 3, јасно се уочава груба грешка обележавања, која се може објаснити погрешном оријентацијом особе која је вршила обележавање и која се кретала кроз подручје. Са аспекта геодетског позиционирања, мерења са grubим грешкама се искључују и даље не анализирају. За део 2 и 4, у AutoCAD-у је извршено графичко читавање одступања обележене линије од пројектоване. Неслагање се процењује до 50 m. Ако се узме у обзир тачност геодетских подлога, ово неслагање представља утицај погрешно изабране методе ГПС мерења и утицај неправилно одређених параметара датумске трансформације WGS84-ДКС

Закључак

Природно добро ВРШАЧКЕ ПЛАНИНЕ, са свим својим карактеристикама покрива простор у коме наилазимо на велику разноликост у смислу: морфолошког изгледа, геолошке грађе, изворних животних заједница и очувани фонд аутохтоне флоре и фауне. Шуме на подручју "ВРШАЧКЕ ПЛАНИНЕ" су лишћарске и по пореклу учествују као: високе (1,72%), изданичке (89,54%), вештачки подигнуте (6,12%) и шикаре (2,62%). Високе шуме (Храст (Quercus), Липа (Тилиа), Буква (Фагус), Јавор (Ацер)) као најквалитетније природне шуме су лоциране у режиму заштите I степена, који је требало обележити геодетским методама и техникама. Код прављења плана и програма обележавања на располагању су биле две могућности:

- класичним теренским методама уз помоћ тоталне станице и
- употребом техника ГПС.

У складу са дефинисаним критеријумима тачности, у обе варијанте потребно је обезбедити геодетску основу и направити план обележавања. Пројектовање геодетске основе за потребе мерења класичним теренским методама и за примену техника RTK-GPS/GLONASS се принципијелно разликује.

У случају ако се планира употреба методе RTK, на терену је превасходно потребно сагледати окружење, испитати пријем сателитских сигнала (GPS/GLONASS) и комуникацију између базног и покретног пријемника или комуникацију са контролним центром активне ГПС мреже. Квалитет ГПС позиционирања зависи од читавог низа извора систематских и случајних грешака које утичу на тачност мерења. Њихово порекло може бити у навигационим подацима, средини простирања сигнала, или самом ГПС пријемнику. Ефекти појединих извора грешака веома су различити, и крећу се у распону од неколико дециметара па до неколико десетина метара.

Оно о чему се мора водити рачуна је уклапање прикупљених података са подацима који се налазе на постојећим геодетским подлогама. Ти подаци припадају различитим референтним системима и да би се могли поредити потребно их параметарском трансформацијом довести у исти систем и потом анализирати њихов квалитет (Милановић М. и Мркша М. 2007.). Начин одређивања седам параметара трансформације је изложен на конкретном примеру са циљем да се укаже на потребу поштовања принципа геодетског позиционирања у оквиру успостављања географског информационог система. Нехомоген квалитет постојече геодетске основе на подручју Р. Србије намеће потребу парцијалног одређивања параметара трансформације и сталну проверу усагашености пројектованих и овележених координата.

Када се говори о тачности граничне линије, коју је потребно обележити у шумском окружењу, најпре треба узети у обзир на којим подлогама је она

projektovana. Ako je to шумско природно подручја и представља границу газдинства која је projektovana на топографским картама размере 1:50000, свакако да је за њено обележавање могуће користити методу ГПС апсолутног позиционирања са глобалним параметрима трансформације. Међутим ако се од геодете захтева да на терену обележе границе састојине (форест станд) и границе катастарских парцела одређених са катастарских планова размере 1:2500, онда се морају поштовати процедуре и методологија изложена у трећем поглављу. У супротном, због нехомогене тачности постојећег картографског материјала може се добити одступање и до 200 m. Слика 3). Приказану методологију треба поштовати код успостављања геодетске основе за потребе обележавања граница, планирања шумских путева и других активности у оквиру израде ГИС. У складу са активностима и захтевима тачности, потребно је дефинисати, ГПС методу прикупљања података као и параметре за праћење и контролу мерења и обележавања. Корисник ГПС опреме у шумском окружењу, мора бити припремљен и на друге проблеме који се јављају у функционисању ГПС система, тако да код projektovanja геодетске основе, треба планирати и могућност њене употребе за класичне методе мерења базиране на мерењу угла и дужине.

Савремено газдовање подразумева, анализу могућности примене свих расположивих техника позиционирања, на путу ка успостављање јединственог Географског информационог система за шумско природно подручје (Куртовић-Фолић, 2009). Учињени пропусти на почетку могу произвести велике проблеме у каснијим активностима газдовања.

Литература

- Aleksić, I., Dedić, A., Milenković, S., Pajić, D. (2010). Standardi u oblasti geoinformacija. *Geodetska služba*, 39(113), 43-51.
- Borisov, M., Govedarica, M., Petrović, V. (2011). Kartografske konusne projekcije i njihova primena u državnoj kartografiji. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 91(4), 183-204.
- Borisov, M., Banković, R., Drobnyak, S. (2010). Ažuriranje topografskih baza podataka. *Geodetska služba*, 39(112), 5-9.
- Božić, B., Gučević, J., Vasović, O., Popović, J. (2005). Tehnologije globalnog sistema za pozicioniranje u funkciji geodetskog premera. *Tehnika - Naše građevinarstvo*, 59(3), 11-16.
- Grafarend, E. W., Knickmeyer, E. H., Schaffrin, B. (1982). Geodätische Datum transformationen. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 107, 15-25.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, Galileo and more*. New York: Springer-Verlag.
- ISO 17123-8, (2002). *Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 8*.
- Kićović, D., Dragović, R., (2000). Prirodne odlike i zaštita Komova. *Zaštita prirode*, 52(1), 105-115.
- Luković, J., Manojlović, P., Mustafić, S. (2010). Promene temperature vazduha u svetu i Srbiji i Severno atlantska oscilacija (NAO). *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 90(4), 123-133.
- Kurtović-Folić, N., (2009). Korišćenje novih tehnologija u zaštiti graditeljskog nasleđa. *Tehnika – Naše građevinarstvo*, 63(5), 1-7.
- Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*. New York: 3rd Edition. J. Wiley & Sons.
- Manojlović, P., Nikolić, M., Mustafić S., Luković J., (2010). Sezonska varijabilnost mineralizacije voda u slivu Crvene reke. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 90(4), 9-27.
- Milanović, M., Mrkša M. (2007). Analiza elemenata životne sredine specijalnog rezervata prirode Stari Begej - Carska bara i mere zaštite". *Glasnik srpskog geografskog društva*, LXXXVII(2), 241-246.
- Mustafić, S., Manojlović P., Milinčić M. (2009). Mineralizacija površinskih voda u slivu Visočice, (Mineralization of the surface waters in the Visočica drainage basin: Supplement for the landscape-ecologic analysis). *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 89(4), 141-160.
- ***(2005). *Odluka o zaštiti predela izuzetnih odlika "Vršačke planine"*. Vršac: Službeni list opštine Vršac br.6.
- ***(2005). *Stručno uputstvo o primeni aktivne geodetske referentne osnove Republike Srbije u osnovnim geodetskim radovima i premeru nepokretnosti*. Beograd: Republički geodetski zavod Republike Srbije, 95-83/05.
- ***(2002). *Uredba o primeni tehnologije globalnog pozicionog sistema u okviru premera nepokretnosti*. Beograd: Službeni glasnik RS, 69.
- Živković, A. (1972). *Viša Geodezija*. Beograd: Građevinska knjiga.

STAKING-OUT PROJECTED BOUNDARIES OF NATURAL PROPERTY VRŠAC MOUNTAINS USING THE RTK GPS/GLONASS METHOD

JELENA GUČEVIĆ^{1*}, VUKAN OGRIZOVIĆ¹, OLIVERA VASOVIĆ², SINIŠA DELČEV¹

¹ *University of Belgrad, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, Belgrade, Serbia*

² *University College of Professional Studies for Civil Engineering and Geodesy, Hajduk Stankova 2, Belgrade, Serbia*

Abstract: The existing topographic and cadastral maps of the former Yugoslav republics are in Gauss-Krüger projection on Bessel ellipsoid. For the collected GPS data to comply with the existing cartographic material, it is necessary to provide the transformation parameters from WGS84 to Bessel ellipsoid and according to the principles of cartographic mapping, to make mappings in the plane of the State Coordinate System (SCS). The aim of this research is to present the surveying activities necessary for the establishment and maintenance of digital cartographic basis, which is shown in the test area of “VRŠAC MOUNTAINS”, a Serbian region with outstanding characteristics. In order to establish a connection between the collected data, it is necessary to primarily calculate the parameters of transformation from WGS84 into the SCS. After the vectorisation of projected boundaries from bases made in the SCS, the transformation of vectorised boundary lines from SCS into the WGS84 is carried out, followed by staking the boundaries. To understand the fundamental differences in the methodology of using GPS receivers, it is important to emphasise that the concept of GPS determination of the coordinates is generally divided into absolute and relative positioning. If the correct procedure of GPS positioning, applied to certain environmental conditions, is not followed, the error up to 200 m could be expected. Conclusions are drawn about the selection of staking methods, related to the applied instruments and specific field conditions. The stakeout procedures are given in accordance with the principles of geodetic positioning.

Key words: RTK (Real Time Kinematic), forest boundaries, stakeout, coordinate transformation

Introduction

By 1960, the strategy of designing and managing the forest area was based solely on the cadastral maps at 1:5000 scale and topographic maps at 1:10000 to 1:50000 scale. Surveying and staking the boundaries of forest management areas, forest management units, compartment and sub-compartment were made in the form of traverses that were not associated with the geodetic network of permanently monumented points (Aleksić at all 2010.). In the early nineties of the last century, GIS became an indispensable instrument for reviewing, assessing and decision making related to spatial management. In order for the management to be consistent, all the geospatial data should be presented within the SCS for horizontal and vertical positioning. Defining SCS is the geodetic activity, which is performed at the state level and follows new technologies and standards. The appearance of technology of GPS was certainly the biggest breakthrough in geodetic positioning, but has also led to a series of problems in matching the existing data and forest area survey records with the data collected with the GPS technology.

The existing cadastral and topographic maps of the former Yugoslav republics are in Gauss-Krüger projection on Bessel ellipsoid, which was adopted in March 1924 (Borisov, 2011.). The GPS measurement techniques determine the coordinates in the WGS84 reference system. In terms of geodetic application, the GPS measurement methods are divided into static and kinematic methods (Borisov, 2010.). The static method is exclusively used in the realisation of geodetic networks and the kinematic method is used in

* Email: jgucevic@grf.bg.ac.rs

The paper contains the research results of the project number 043007: “Studying climate change and its influence on environments: impacts, adaptation and mitigation” supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia

surveying. The kinematic method includes Real Time Kinematic (RTK) and Post Processed Kinematic (PPK). The equipment that supports RTK provides the possibility of direct readout of coordinates and data for monitoring and control of measurements (Hoffman-Wellenhof et al., 2008). The RTK method of measurement can be realised in the set of Base&Rover equipment or in the system of active GPS network developed at the state level (Božić et al., 2005). The Base&Rover equipment contains an integrated radio modem or GSM modem, which enables communication between the base and rover. The communication between the mobile GPS receiver and active GPS network is enabled by the integrated GSM modem. Due to the fact that the current coordinates are displayed on the mobile receiver controller, the RTK equipment can be also used in the stakeout phase i.e. transmission of projected objects on the terrain. The equipment that supports PPK cannot obtain the measurement results immediately in the field but later on, after their subsequent processing in the office.

If the collected GPS data complied with the existing maps, it is necessary to provide the transformation parameters from the WGS84 ellipsoid to Bessel ellipsoid and perform mappings in the plane of the state coordinate system (SCS) according to the principles of cartographic mapping.

Research issues

Planning and analysis within the forest management unit is carried out by direct measurement in the field and using the vectorised maps. With the use of surveying techniques, the vectorised boundaries of forest compartments and sub-compartments are marked in the field in the form of traverses. With an adequate work method and in appropriate working conditions, GPS techniques are used for transferring projected boundaries of forest compartments and sub-compartments in the forest environment. The stakeout problem is the fact that the data of the existing cartographic materials and the data collected by GPS techniques are in a different reference frame for horizontal and vertical positioning. The transformation of coordinates from the WGS84 into the SCS and vice versa is not possible without the previously determined parameters of transformation. After the transformation parameters for the characteristic areas are determined, a plan for staking the projected (vectorised) boundaries is developed, followed by the geodetic survey.

Due to the inhomogeneous accuracy of geodetic networks for horizontal positioning, the application of GPS technology and transformation of coordinates is the problem of surveying activities in each former Yugoslav Republic.

Research objective and methods

Given the importance and value of forest economic areas, the concept of care, evaluation, strategic planning and management cannot be achieved without the creation of a single information system of the whole forest area. The basis of any information system consists of spatial data gathered by geodetic methods and techniques (Manojlović, 2010.). In order for these data to be interpreted in the best possible way, it is necessary to perform their collection in accordance with the rules of surveying activities (Mustafić, 2009.).

The aim of this study is to present the surveying activities necessary for the establishment and maintenance of digital cartographic maps in the unique geodetic reference system, with special emphasis on methodology and potential applications of GPS technology in staking the projected forest boundaries and surveying characteristic features. In order to establish a connection between the existing data, collected by classical terrestrial methods, and the data obtained by GPS measurements, it is necessary to provide the following surveying activities:

1. Determining transformation parameters from the WGS84 into the SCS and vice versa,
2. Vectorisation of projected boundaries from the existing maps made in the SCS.
3. Transforming vectorised boundary lines from the SCS to the WGS84.
4. Staking the boundaries of forest management units, compartments and sub-compartments using GPS.

1) *Determining transformation parameters from the WGS84 into the SCS*

In order to determine seven transformation parameters (t_x , t_y , t_z - three translations, α , β , γ - three rotations and s - scale factor) within a local area, it is necessary to provide at least three points of the existing geodetic network that have the coordinates determined in the SCS plane and in the system of the WGS84 ellipsoid.

For each point i with the coordinates known in WGS84 (X_i^{WGS84} , Y_i^{WGS84} , Z_i^{WGS84}) and the non-geocentric Bessel ellipsoid (X_i^{Bessel} , Y_i^{Bessel} , Z_i^{Bessel}), the following expression can be written (Soler, 1976; Leick and van Gelder, 1975 and Grafarend et al., 1982):

$$\begin{bmatrix} X_i^{Bessel} \\ Y_i^{Bessel} \\ Z_i^{Bessel} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^{WGS84} \\ Y_i^{WGS84} \\ Z_i^{WGS84} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i^{WGS84} & Y_i^{WGS84} \\ 0 & 1 & 0 & Z_i^{WGS84} & 0 & -X_i^{WGS84} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i^{WGS84} & X_i^{WGS84} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i^{WGS84} \\ Y_i^{WGS84} \\ Z_i^{WGS84} \\ t_x \\ t_y \\ t_z \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ s \end{bmatrix}$$

(1)

$i = 1..n, n > 3$

followed by the linear equations of adjustment model:

$$\begin{aligned} v_{X_i^{Bessel}} &= t_x - Z_i^{WGS84} \beta + Y_i^{WGS84} \gamma + X_i^{WGS84} s + X_i^{WGS84} - X_i^{Bessel} \\ v_{Y_i^{Bessel}} &= t_y + Z_i^{WGS84} \alpha - X_i^{WGS84} \gamma + Y_i^{WGS84} s + Y_i^{WGS84} - Y_i^{Bessel} \\ v_{Z_i^{Bessel}} &= t_z - Y_i^{WGS84} \alpha + X_i^{WGS84} \beta + Z_i^{WGS84} s + Z_i^{WGS84} - Z_i^{Bessel} \end{aligned}$$

(2)

The functional model (2) in the matrix form is:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}$$

(3)

where:

- Residuals vector:

$$\mathbf{v}^T = [v_{X_1^{Bessel}} \quad v_{Y_1^{Bessel}} \quad v_{Z_1^{Bessel}} \quad \dots \quad v_{X_n^{Bessel}} \quad v_{Y_n^{Bessel}} \quad v_{Z_n^{Bessel}}];$$

- Coefficient matrix:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_1^{WGS84} & Y_1^{WGS84} & X_1^{WGS84} \\ 0 & 1 & 0 & Z_1^{WGS84} & 0 & -X_1^{WGS84} & Y_1^{WGS84} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_1^{WGS84} & X_1^{WGS84} & 0 & Z_1^{WGS84} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_n^{WGS84} & Y_n^{WGS84} & X_n^{WGS84} \\ 0 & 1 & 0 & Z_n^{WGS84} & 0 & -X_n^{WGS84} & Y_n^{WGS84} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_n^{WGS84} & X_n^{WGS84} & 0 & Z_n^{WGS84} \end{bmatrix}$$

- Vector of unknown parameters:

$$\mathbf{x}^T = [t_x \quad t_y \quad t_z \quad \alpha \quad \beta \quad \gamma \quad s];$$

- Vector \mathbf{f} :

$$\mathbf{f}^T = \begin{bmatrix} X_1^{WGS84} - X_1^{Bessel} & Y_1^{WGS84} - Y_1^{Bessel} & Z_1^{WGS84} - Z_1^{Bessel} & \dots \\ X_n^{WGS84} - X_n^{Bessel} & Y_n^{WGS84} - Y_n^{Bessel} & Z_n^{WGS84} - Z_n^{Bessel} \end{bmatrix}.$$

The least square method is applied on the functional model (3). Estimates of vectors of unknown parameters can now be obtained from the following equation:

$$\hat{\mathbf{X}} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{f}. \quad (4)$$

When the estimates $\hat{\mathbf{X}}$ are included in the equation (3) residuals are obtained at the points for calculating transformation parameters:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{X}} + \mathbf{f}. \quad (5)$$

Calculation control can be made by checking the equation

$$\mathbf{v}^T \mathbf{v} = \mathbf{f}^T \mathbf{f} + \mathbf{n}^T \hat{\mathbf{X}}. \quad (6)$$

The experimental value of the reference standard deviation is obtained by the formula

$$\sigma_0 = \sqrt{\mathbf{v}^T \mathbf{v} / r}, \quad (7)$$

Where the number of degrees of freedom is $r = 3n - 7$.

Coordinates in the SCS are determined by classical terrestrial methods and for the area of the former Yugoslav republics they are expressed in Gauss-Krüger projection, on non-geocentric Bessel ellipsoid. It represents the transverse cylindrical projection in which the meridian zones of ellipsoid (width of 3 degrees) are mapped to the plane (Živković, 1972). To avoid calculations with negative values of y -coordinates, the beginning of the coordinate system has the value according to y at the point which: the number of zone is increased by 500.000 m. (e.g. in the seventh zone it is 7.500.000 m). Presentation of the points in the system of coordinates in the plane of projection is done with rectangular coordinates y, x . The inverse Gauss-Krüger projection implies the projection of the point from the projection plane with coordinates (y, x) to the point on the ellipsoid with coordinates $(X_i^{Bessel}, Y_i^{Bessel}, Z_i^{Bessel})$ (Živković, 1972).

The coordinates of the existing geodetic networks in WGS84 can be determined by using the static method of observation and applying the RTK service for the territory of the country in which the active GPS network is developed. If for the entire territory of the country the RTK service is implemented within an active network, the measurements are made with at least one dual frequency GPS receiver of geodetic type, with the simultaneous reception of signals from at least eight satellites. Minimum operating time is also conditioned by achieving accuracy of 2 cm in the horizontal and 3 cm in the vertical sense. Numerical indicator of the quality of the geometric distribution of satellites (PDOP), during measurement must be less than 6.

2) Vectorisation of projected boundaries

Until the development of digital maps, the forest area management was carried out exclusively on analogue maps at 1:5000, 1: 10000, 1:25000 and 1:50000 scales. To realise the projects of planning and forest management, in accordance with new technological development, it is necessary to perform their vectorisation. Vectorisation is preceded by map scanning and georeferencing. Scanning is the conversion of graphical plans into the digital form. Georeferencing is the process of setting up previously scanned graphic plans in a theoretical coordinate system, i.e. the system in which the graphics base was made. The last step is the vectorisation in which the scanned and georeferenced bases are converted from the raster into the vector form. For processing the scanned plans the professional CAD software is used for drafting 2D and 3D models.

3) Transforming vectorised coordinates from the SCS into WGS84

The boundary lines whose coordinates are vectorised from the existing plans within the SCS, using the GPS technology, can be marked on the ground. To stakeout the

boundaries it is necessary to transform coordinates of vectorised boundary lines from SCS to WGS84. The transformation is realised based on certain transformation parameters in two steps:

- I. Inverse Gauss-Krüger projection (Živković, 1972), with which the points with coordinates (y, x) in the plane of Gauss-Krüger projection are projected to the point with coordinates $(X^{Bessel} Y^{Bessel} Z^{Bessel})$ on the ellipsoid.
- II. Calculating the rectangular Cartesian coordinates determined in the WGS84 system $(X^{WGS84} Y^{WGS84} Z^{WGS84})$.

4) Staking the boundaries using GPS

The stakeout of the projected boundaries and objects on the ground is performed according to the surveying project and is comprised of data preparation for the stakeout and measurement in the field. The stakeout quality depends on the accuracy of the prepared data and the accuracy of instruments and tools. The accuracy of the prepared data is directly related to the scale in which the map is made and it can be calculated as $\pm 0,2 \text{ mm} \cdot M$, where M is denominator of the scale. For example, accuracy of 1 m is expected for the map in scale 1:5000.

The accuracy of the instrument and tools is prescribed by the manufacturer and defined by the working conditions and working methods. For the stakeout with the use of GPS technology, a reliable spatial network of surveying points is needed on the field. Within this activity it is necessary to foresee the supplement to the existing geodetic network for horizontal and vertical positioning related to the technical specifications of the instrument and the tools that will be used in the stakeout process. The plan of surveying activities within the stakeout is created according to the given accuracy.

Research area

By their position, appearance, characteristics and interesting flora and fauna Vršac Mountains are a very specific area of Vojvodina (Republic of Serbia). In October 2005, the Department of Environmental Protection of Serbia prepared a Protection Study "Vršac Mountains, the area of outstanding features, a natural property of outstanding natural importance". The protection study foresees the development of geographic information system and establishment of monitoring of rare plant species and communities. The public Enterprise "Varoš" maintains Vršac Mountains. In 2009, the Vršac Municipality received a donation from the European Commission for the project on forest fire protection in Vršac Mountains. Within the project, satellite images with resolution of 0,6 m were obtained, from which an orthophoto image of the forest belt has been derived at 1:5000 scale (Figure 1).

Figure 1 Satellite image of research area "VRŠAC MOUNTAINES"

Research results

In order to protect the natural resource it is necessary to perform stakeout of the external boundaries of the protected area, as well as the boundaries under the protection regime of I, II and III degree. The area under protection regime of the first degree excludes all forms of exploitation and activities except for scientific research and activities to prevent degradation and loss of sensitive ecosystems. These are areas of significant forest ecosystems, habitats of protected plants and animals with specific geological, geomorphological and other forms and manifestations. The works on staking the projected

boundaries under this protection regime are performed by the Institute of Geodesy and Geoinformatics of the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, in accordance with the methodology for conducting surveying activities and principles of establishing the information system.

1) Parameters of WGS84 – SCS transformation

In the area of the natural resource Vršac Mountains, for the purposes of determining transformation parameters, 8 trigonometric points were singled out. Coordinates of the points in the SCS were taken from the technical documentation for the town trigonometric network. GPS measurements at the points for determination of transformation parameters were performed using the RTK method in the active network of GPS permanent stations of the Republic of Serbia (AGROS). Measurements were carried with Trimble 5700 receivers. Observation on all points lasted for 30 s for the registration interval 1 s in three replications. Definite values of coordinates (Table 1.), were obtained by simple arithmetic mean of three measurements.

Seven transformation parameters were determined by the Gauss-Markov model for the system of 24 equations of the form (1), in the GeoTrans programme of the WizardSoft BETA 1.0 software package (Božinov, 2010). The calculated transformation parameters are as followed:

- Translation $t_x = -566,13607$ m, $t_y = -159,12400$ m, $t_z = -761,22731$ m)
- Rotation ($\alpha = 5,30343''$, $\beta = 8,60525''$, $\gamma = -9,16316''$)
- Scale ($s = 31,73752$ ppm)
- Reference standard deviation ($\sigma_0 = 0,090$ m).

Calculated parameters of transformation show deviations of less than ± 1 dm, which is within the limits of accuracy of planned surveying activities in the characteristic area.

Table 1. The coordinates of points to compute the transformation parameters

2) Vectorisation of projected boundaries

The scanned cadastral maps (1:2500 scale) for the natural resource Vršac Mountains were taken over from the relevant Cadastral Office and followed by georeferencing and vectorisation of boundaries under the protection regimes. The processing is done in AutoCAD software package.

3) Transformation of vectorised boundary lines from SCS to WGS84

For the transformation of coordinates of boundary lines under protection regimes, from SCS to WGS84, transformation parameters from subsection 5.1 were used. The transformation is performed in the WizardSoft BETA 1.0 software package (Božinov, 2010).

4) Staking the boundaries using the GPS techniques

The stakeout plan should include selection of instruments and tools and the way of their testing, defining criteria of measurement accuracy and defining parameters for the stakeout monitoring and control.

In accordance with the situation in the field and the existing equipment (which is owned by the Faculty of Civil Engineering), it was decided to perform the stakeout with GPS techniques according to the RTK method in the Base&Rover system. The set of Base&Rover equipment by the TOPCON Company is capable of receiving GPS/GLONASS signal. Prior to going out in the field, metrological testing was carried out as well as verification of all components of Base&Rover system in the accredited Metrological Laboratory ML160 in accordance with ISO 17123-8:2002.

Along with the purchased GPS equipment the manufacturer also delivered Integrated Controller Software TopSurv, which defines and monitors the work of Base&Rover. The program has built-in modules and procedures for defining:

- coordinate system (elements of the ellipsoid and cartographic projections),
- criteria of measurement accuracy (Survey Parameters) and
- criteria for stakeout monitoring and controlling - Stakeout Parameters.

Measurement in the GPS-RTK regime also depends on the communication between the Base and Rover receivers. Communication is established with the UHF modem (Pacific Crest PDL, 450-470 MHz) and limited by the shape of the topography and metrological conditions within the distance of up to 6 km. Given the technical specifications of the existing GPS equipment, the supplement to the existing geodetic network is carried out within this activity. Points B1 and B2 were located and monumented in the field. Coordinates of the newly projected points were determined by the GPS techniques.

The plan of geodetic activities within the stakeout was created according to the given accuracy of applied maps. Having in mind the origin and accuracy of coordinates in the forest area of Vršac Mountains, the following is defined:

- Survey parameters:
 - Precision: Horizontal and vertical precision values set to 0,5 m,
 - Data Logging: use only fixed carrier phase measurements from base and rover receivers.
- Stakeout parameters:
 - Horizontal Distance Tolerance (sets when the graph will switch to a bull's eye in Stakeout): 1,0 m.

Upon the completion of preparatory work, the plan of staking the boundaries within the protection regime of the first degree was done by regions (Figure 2):

- Kamenolom (Base: B1),
- Vršačka kula (Base: 735),
- Lisičija glava (Base: B2),
- Djakov Vrh (Base: 750),
- Markovac (Base: 832) and
- Gudurički vrh (Base: 497).

The stakeout was done by navigating the GPS rover based on the entered coordinates for each location separately. Due to the difficult working conditions, the cadastral maps and the experience of workers from the Public Enterprise "Varoš" were of great help for the navigation of points in certain phases.

During the stakeout there were no shortcomings registered in the functioning of the radio link between base and mobile receivers. The reason for this is the fact that their respective positions were well designed and in accordance with the conditions required by radio communication (maximum distance from the base was 2,5 km). The problem was the insufficient number of satellites whose signals were registered in the base and rover receiver at the same time. The controller display showed undisturbed connection with GLONASS satellites during measurement. Communication with GPS satellites was unstable. In order to achieve the given criteria of stakeout accuracy, the reception of signals from GPS satellites was turned off in most of the measurement.

Figure 2 Boundaries of I degree of protection

Discussions

In order to understand the fundamental difference in methodology and approach in the use of GPS receivers, it is important to note that the concept of determining the coordinates with the GPS techniques is generally divided into absolute and relative positioning.

Absolute positioning involves the measurement with one GPS receiver. This mode does not satisfy the surveying needs and is primarily intended for navigation. The achieved accuracy in absolute positioning is from 2 m to 30 m.

Relative positioning determines the position in relation to a geodetic control point, which is taken as the start. Relative positioning is measuring in the same time interval on at least two receivers in Base&Rover system or within permanent GPS network. If the working conditions for this mode are respected, it can achieve centimetre accuracy.

The importance of the proposed methodology for staking the boundaries will be presented on Lisičija glava region.

In 2009, in the mode of absolute positioning the stakeout was performed according to global transformation parameters determined for the whole Republic of Serbia - Epoch 2003. The total length of the marked line was about 2 km.

Figure 3 Boundary line stakeout by absolute positioning method

The following year, using GPS receivers of geodetic accuracy and RTK method, the stakeout of the entire belt was performed, including the part that was staked out the previous year. The results showed a large discrepancy between the two epochs of measurements. This difference can be seen in shares 1, 2, 3 and 4 (Figure 3). In shares 1 and 3, a gross stakeout error is noticeable, which can be explained by the wrong orientation of the person who performed the stakeout and who was moving through the area. From the point of the geodetic positioning, measurements with errors are excluded and not further analysed. For shares 2 and 4, graphic reading of deviations of the marked line from the projected one was carried out in AutoCad. The assessed deviation was up to 50 m. If we take into account the accuracy of the maps, this discrepancy is the result of the wrongly chosen method of GPS measurement and improperly determined parameters of data transformation WGS84-SCS.

Conclusion

Natural resource management includes breeding, economic and technical measures applied in planning and designing the space in order to achieve maximum protection and strengthening of useful functions of natural resources. The natural resource Vršac Mountains, with all its features is covering the area in which we find great diversity in terms of: morphological appearance, geological structure, environmental communities and preserved native flora and fauna. The forests in area of Vršac Mountains are deciduous and by origin they are: high (1.72%), burgeon (89.54%), artificially raised (6.12%) and shrubs (2.62%). The high forests - Oak (*Quercus*), Linden (*Tilia*) Beech (*Fagus*), Maple (*Acer*), as the most valuable natural forests, are located in the protection regime of the first degree, which should have been marked by the surveying methods and techniques.

In developing the stakeout plan and programme two possibilities were available:

1. Classical field methods using total stations, and
2. GPS techniques.

In accordance with defined criteria of accuracy, in both variants it is necessary to provide a cadastral map and make a stakeout plan. Designing the surveying base for measurements with the conventional field methods and for implementation of RTK-GPS/GLONASS techniques is different.

In case the use of RTK method is planned, it is primarily necessary to consider the environment, examine the reception of satellite signals (GPS/GLONASS) and communication between base and rover receivers or communication with the control centre of active GPS network. The quality of GPS positioning depends on a range of sources of systematic and random errors affecting the measurement accuracy. Their origin may be in

the navigation data, the signal propagation environment, or the GPS receiver. The effects of some sources of errors are very different, and range from a few decimetres to several tens of meters.

What must be taken into account is the integration of the collected data with the data on the existing surveying bases. These data belong to different reference systems and in order to compare them it is necessary to bring them to the same system and then analyse their quality (Milanović M. and Mrkša M. 2007.). The way of determining the seven transformation parameters is presented in the concrete example in order to emphasise the need to respect the principles of geodetic positioning within the establishment of geographic information systems. Inhomogeneous quality of the existing maps in the area of the Republic of Serbia imposes the need for partial determination of the transformation parameters and continuous verification of compatibility of the projected and marked coordinates.

When it comes to accuracy of the boundary line, which is necessary to mark in the forest environment, first it should be taken into account on which bases it is designed. If it is a natural forest area and presents the border of a forest management unit projected at 1:50000 scale topographic maps, it is certain that the GPS method of absolute positioning with the global transformation parameters is possible to use for the stakeout. However, if surveyors are asked to stake the boundaries of the forest sub-compartment and the boundaries of property units determined from the cadastral maps at 1:2500 scale, then the procedures and methodology presented in Chapter 3 should be followed. Otherwise, due to inhomogeneous accuracy of the existing cartographic material, a deviation of up to 200 m can be obtained (Figure 3). The presented methodology should be followed in the establishment of geodetic base for staking the boundaries, planning forest roads and other activities within the development of GIS (Pentek et al., 2004). In accordance with the activities and accuracy requirements, it is necessary to define the GPS data collection method and the parameters for monitoring and control of measuring and stakeout. The user of the GPS equipment in a forest environment must be prepared for other problems that occur in the functioning of the GPS system, so that when designing geodetic base the possibility of its use for classical methods of measurement based on measuring the angle and length should also be planned.

The contemporary forest management encompasses the analysis of potential implementation of all available techniques of positioning on the way to establishing a single Geographic Information System for forest natural area (Kurtović-Folić, 2009). The initial omissions and shortcomings may produce serious problems in future activities of the forest management.

Acknowledgements: Also we would like to thank the colleague Mr. Bozinov V., who allowed us to use the software WizardSoft BETA 1.0 (2010).

References

See References on page 89