

Стручни рад
Professional paper
UDK: 625.711.84

Богдан Стефановић¹

ОБЕЛЕЖАВАЊЕ ПУНИХ СЕРПЕНТИНА НА ШУМСКИМ ПУТЕВИМА ПО МЕТОДУ УНУТРАШЊЕГ КРУЖНОГ ЛУКА

Извод: У раду је представљен нови метод обележавања пуних серпентина при пројектовању шумских путева директно на терену. Метод се заснива на снимању минималног броја елемената потребних за обележавање пуних серпентина на шумским путевима, прорачуну других неопходних елемената и њиховом коначном обележавању. Применом ове методе смањују се грешке при пројектовању, односно смањује се број покушаја исколчавања пуних серпентина, чиме се повећава продуктивност у односу на досадашњи метод рада.

Кључне речи: шумски путеви, пуна серпентина, метод унутрашњег кружног лука.

THE FULL SERPENTINE MARKING ON FOREST ROADS BY INTERNAL CIRCULAR CURVE METHOD

Abstract: This paper presents a new method of full serpentine marking in constructing forest roads on the terrain itself. This method is based on surveying the minimal number of elements needed for full serpentine marking on forest roads and on estimating other needed elements and their finished marking. By using this method construction errors are reduced as well as the number of attempts of full serpentine marking. In the way, the effects of serpentine marking are increased compared to the ones reached by the method used so far.

Key words: forest roads, full serpentine, internal circular curve method.

¹ Шумарски факултет Универзитета у Београду

1. УВОД

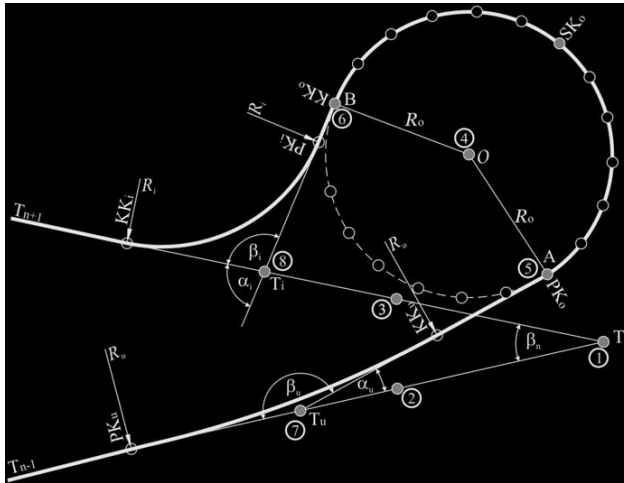
При пројектовању шумских путева, у условима купираног рељефа, на стрмим падинама, често је потребно трасом пута спојити две чворне тачке које се налазе на међусобно релативно малој хоризонталној удаљености и релативно великој висинској разлици. У оваквим ситуацијама расположива дужина за нормално вођење трасе није довољна да се максимално дозвољеним уздужним нагибима савлада дата висинска разлика. Овај проблем се решава полагањем падинске трасе максимално дозвољеним уздужним нагибом до места на терену где је, према конфигурацији, могуће скренути трасу у супротном смеру. На таквим местима је угао скретања $\alpha > 120^\circ$, тј. угао прелома трасе пута $\beta < 60^\circ$. Између два правца није могуће уписати унутрашњу кружну кривину минималног радијуса а да се траса сувише не скрати и тиме повећа нагиб нивелете изнад дозвољеног. На тим местима се пројектују серпентине. (Симоновић, 1949)

Серпентине на шумским путевима се конструктивно састоје од основне, улазне, излазне кривине и међуправаца. Међуправцима се повезују улазна и излазна кривина са основном кривином. Према међусобном положају елемената серпентина оне се деле на: серпентине I реда – симетричне и асиметричне и серпентине II реда – пуне и полусерпентине. Код пуне серпентине (Слика 1) центар (О) основне кривине се не налази на симетрали преломног угла (β_n), а улазна и излазна кривина су супротног смера и различитих радијуса ($R_u \neq R_l$). (Митин, 1972)

Пројектовање серпентина на шумским путевима се врши у току обележавања трасе пута директно на терену по тзв. упрошћеном методу пројектовања шумских путева (Симоновић, Лалић, 1975 и Лалић, 1976). Ауторова искуства у пројектовању серпентина (Стефановић, 2002а, 2002б, Стефановић, Митровић, 2002) показују да су серпентине, са аспекта пројектовања, веома компликовани елементи трасе пута који од пројектанта, поред солидног техничког знања, захтевају велико искуство у вођењу трасе и избору елемената серпентина, али и изузетно сналажење у простору – шуми. Поред тога, *Стефановић, 2006* је уочио да обележавање серпентина тзв. упрошћеном методом пројектовања шумских путева има недостатке организационе природе чија је последица да се серпентине често не могу обележити на терену у првом покушају па се читав поступак мора поновити неколико пута. Због тога се дошло на идеју за истраживањем методе пројектовања пуних серпентина којом би се уочени проблеми превазишли.

Обележавање пуних серпентина по методи директног пројектовања шумских путева на терену (Слика 1) врши се по следећим фазама:

1. Са три значке-трасирке се материјализују правци трасе пута који се секу у темену. Другим речима, на теме (T_n) пуне серпентине се постави значка ①, а у правцу претходног (T_{n-1}) и наредног (T_{n+1}) темена се утерају у правац две значке ② и ③ на једнаком растојању од темена (T_n). Према свом положају ове три значке материјализују преломни угао (β_n) на темену (T_n) пуне серпентине.
2. Независно од симетрале преломног угла (β_n), односно положаја темена (T_n) пуне серпентине, изабере се центар (О) основне кривине, тако да се око њега може описати основна кружница бар минималног радијуса. У центар (О) основног круга се побије кочић и вертикално постави трасирка ④. Држећи хоризонтално размотану пантљику на дужини изабраног радијуса, једним крајем изнад центра (О) основне кривине, другим крајем се опише основна кружница. Кружница се на терену материјализује кочићима побијеним у земљу на растојању 2 до 5 м.
3. На обележеној основној кружници слободно се изаберу две тачке (А и В) и обележе значкама-трасиркама ⑤ и ⑥. Те тачке ће, према оцени пројектанта, бити почетак (PK_0) и крај (KK_0) основне кривине.
4. У тачкама А и В се подигну управне на правац радијуса R_{K_0-O} и KK_0-O . Пресеци управних праваца са правцима трасе одређују темена улазне (T_u) односно, излазне (T_l) кривине. Ова темена се означе на терену теменим кочићима и две нове значке-трасирке ⑦ и ⑧.
5. Поступак обележавања елемената улазне и излазне кривине, тзв. помоћних кривина, идентичан је обележавању елемената кружних кривина. На теменима улазне (T_u), односно, излазне (T_l) кривине мере се преломни углови (β_u и β_l) бусолним теодолитом или рачунају углови скретања (α_u и α_l) коришћењем пантљике и значки-трасирки. При рачунању елемената помоћних кривина користе се максимално могући радијуси. Величина радијуса R_u и R_l треба да буде бар 2 до 3 пута већа од R_0 . При избору вредности радијуса води се рачуна о дужинама међуправаца, тј. треба задовољити услов да крај улазне кривине (KK_u) односно, почетак излазне кривине (PK_l), буду довољно удаљени од почетка (PK_0) односно, краја (KK_0) основне кривине. Ако се применом изабраних радијуса помоћних кривина њихове тангенте поклопе са луком основне кривине, треба применити минимални радијус. Уколико пројектовани елементи пуне серпентине не задовољавају ни минималне радијусе, морају се поново бирати тачке почетка (PK_0) или краја (KK_0) основне кривине. Ако и после неколико покушаја не успе обележавање, поступак се мора поновити од избора положаја центра основе кривине, новог основног радијуса или, чак, од избора новог положаја серпентине.



Слика 1. Обележавање пуне серпентине

Figure 1. Marking of full serpentine

2. МЕТОД РАДА

У уводном делу је представљен метод обележавања пуних серпентина на шумским путевима по тзв. упрошћеном поступку (Симоновић, Лалић, 1975 и Лалић, 1976) са циљем његове анализе, уочавања организационих недостатака и истраживања нове методе обележавања. Добијено методолошко решење је представљено новим начином обележавања симетричних (Стефановић, 2005а), асиметричних (Стефановић, 2005б) и полусерпентина (Стефановић, 2009) на шумским путевима названим *метод унутрашњег кружног лука*. (Stefanovic, Zlatanovic, 2002)

Основна идеја предложене методе заснива се на рационалнијем раду на терену и објективизацији пројектовања пуних серпентина. Рационализација се постиже променом редоследа радних операција обележавања и снимањем минималног броја података потребних за рачунање елемената серпентине. На тај начин се

смањују могућност појаве грешака и време пројектовања, тј. повећава се његова продуктивност, а посао пројектовања пуних серпентина се објективизује.

Поред општинских научних метода анализе и синтезе, апстракције и конкретизације, користи се метода упоредне анализе две различите методологије пројектовања и обележавања пуних серпентина на терену са основним циљем утврђивања рационалнијег, бољег, бржег и квалитетнијег метода, тако да је овај рад методолошке природе. Поред тога, коришћена је метода моделовања, применом математичких и тригонометријских релација и визуелизације.

3. РЕЗУЛТАТИ РАДА И АНАЛИЗА

Обележавање пуних серпентина на шумским путевима по методу унутрашњег кружног лука заснива се на потребном броју мерења, добијању одговарајућих података и прорачуну елемената за њихово искључавање. Подаци за искључавање пуних серпентина по овој методи се добијају на основу прорачуна у вези са “унутрашњим делом основне кривине серпентине”. Наиме, тачке почетка (PK_0) и краја (KK_0) основне кривине пуне серпентине деле основну кружницу на два кружна лука: један кружни лук је саставни део серпентине и чини кружницу основне кривине, а други кружни лук се налази са унутрашње стране кружнице у односу на читаву серпентину (на Слици 1 и Слици 2 овај део кружнице је представљен испрекиданом линијом). Повлачењем тангенти на овај кружни лук у тачкама почетка (PK_0) и краја (KK_0) основне кривине и њиховим пресецањем према унутрашњој страни кривине добија се теме (T_n) унутрашње кривине (Слика 2) са углом прелома (β_n).

За примену методе унутрашњег кружног лука при искључавању серпентина потребно је на терену задовољити услов да се може измерити преломни угао (β_n) праваца трасе, тј. да се може одредити положај темена (T_n) серпентине на терену.

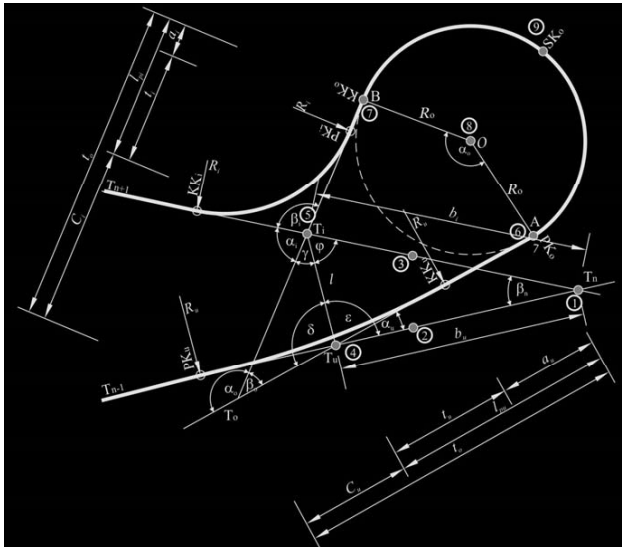
Као и код методе обележавања серпентина на шумским путевима по упрошћеном поступку прво се, на терену, са три значке-трасирке материјализују правци трасе који се секу у темену. На теме серпентине (T_n) постави се значка ①, а у правцу претходног (T_{n-1}) и наредног темена (T_{n+1}) утерају се у правац значке ② и ③. На основу њиховог положаја измери се угао прелома (β_n) трасе.

Коришћењем методе унутрашњег кружног лука пуна серпентина се обележава (Слика 2) по следећим фазама:

1. На различитим растојањима (b_u и b_l) од темена кривине (T_n) по правцима трасе пута, у правцу претходног (T_{n-1}) и наредног темена (T_{n+1}) обележе се значкама-трасиркама ② и ③ темена улазне (T_u) односно, излазне (T_l) кривине.

2. Од темена улазне (T_u) и излазне (T_l) кривине обележе се правци будућих тангенти на основну кружницу и измере углови скретања помоћних кривина – улазне (α_u) и излазне (α_l).

Слика 2. Обележавање пуне серпентине по методу унутрашњег кружног лука
 Figure 2. Marking of the full serpentine by internal circular curve method



3. На основу снимљених података ($\beta_n, b_u, \alpha_u, b_l, \alpha_l$) рачунају се потребни елементи за обележавање пуне серпентине

- Рачунање дужине тангенте (t_0) унутрашње кривине

$$t_0 = R_0 \cdot g \cdot \frac{a}{2} \quad [m] \quad (1).$$

Дужину радијуса (R_0) основне кривине бира пројектант на основу локалних карактеристика места на траси на коме је лоцирана серпентина. Минимална дужина радијуса (R_0) основне кривине је 12 m. (Бутулија, Рађеновић, 1993)

- Рачунање угла скретања (α_o)

$$a_o = g + d = 180^\circ - (j + a_i) + 180^\circ - (e - a_u)$$

$$a_o = 360^\circ - (j + a_i + e - a_u) \quad [^\circ] \quad (2),$$

ако би се формула 2 уопштила добила би следећи облик:

$$a_o = 360^\circ - (j + e \pm a_i \mp a_u) \quad (3).$$

Углови φ и ε рачунају се на основу синусне теореме у $\Delta T_u T_n T_i$ по формулама:

$$\sin j = \frac{b_u}{l} \sin b_n \Rightarrow j = \arcsin j \quad [^\circ] \quad (4),$$

$$\sin e = \frac{b_i}{l} \sin b_n \Rightarrow e = \arcsin e \quad [^\circ] \quad (5),$$

а дужиња (l) између темена улазне и излазне кривине рачуна се на основу косинусне теореме у $\Delta T_u T_n T_i$ по формули:

$$l = \sqrt{b_u^2 + b_i^2 - 2 \cdot b_u \cdot b_i \cdot \cos b_n} \quad [m] \quad (6).$$

- Рачунање дужине (l_u) потребне за обележавање темена (T_u) и дужине (l_i) потребне за обележавање темена (T_i)

$$l_u = t_u + a_u = t_o - C_u \quad [m] \quad (7),$$

$$l_i = t_i + a_i = t_o - C_i \quad [m] \quad (8),$$

где су:

t_u - дужина тангенте улазне кривине,

t_i - дужина тангенте излазне кривине,

a_u - дужина међуправца између основне и улазне кривине,

a_i - дужине међуправца између основне и излазне кривине,

C_u - растојање од темена улазне (T_u) кривине до темена (T_o) и

C_i - растојања од темена излазне (T_i) кривине до темена (T_o).

Дужине C_u и C_i се рачунају на основу синусне теореме у $\Delta T_u T_o T_i$ по формулама:

$$C_u = l \frac{\sin g}{\sin b_o} \quad [m] \quad (9),$$

$$C_i = l \frac{\sin d}{\sin b_o} \quad [m] \quad (10).$$

Угао прелома (β_0) на темену T_0 рачуна се по формули:

$$b_0 = 180^\circ - a_0 \quad [^\circ] \quad (11).$$

Дужине тангенти улазне (t_u) и излазне (t_i) кривине могу се израчунати:

$$t_u = l_u - a_u \quad [m] \quad (12),$$

$$t_i = l_i - a_i \quad [m] \quad (13),$$

Минимална дужина међуправаца (a_{\min}) између кривина супротног смера на шумским путевима зависи од начина витоперења коловоза. Наиме, ако се коловоз витопери по осовини пута минимална дужина међуправаца (a_{\min}) једнака је дужини прелазне рампе (l_r), а ако се коловоз витопери по његовим ивицама, онда је $a_{\min} = 2 \cdot l_r$. Дужина прелазне рампе на шумским путевима је $l_r = 10$ m (Симоновић, Лалић, 1975), тако да минимална дужина међуправаца може бити 10 m или 20 m.

- Рачунање потребне дужине радијуса улазне (R_u) и излазне (R_i) кривине
- Провера исправности пројектовања пуне серпентине по методу унутрашњег кружног лука може се извршити рачунањем дужина радијуса улазне (R_u) и излазне (R_i) кривине, по формулама:

$$R_u = \frac{t_u}{g \frac{a_u}{2}} \quad [m] \quad (14),$$

$$R_i = \frac{t_i}{g \frac{a_i}{2}} \quad [m] \quad (15).$$

Уколико су израчунати радијуси помоћних кривина већи од радијуса основне кривине бар за 2 до 3 пута (Симоновић, Лалић, 1975) пуна серпентина се може обележити. У супротном треба поновити мерење угла скретања α_u и α_i на помоћним кривинама или дужина b_u и b_i и поновити прорачун елемената потребних за обележавање пуне серпентине.

Редослед рачунања елемената за обележавање пуне серпентине је:

- ✓ рачунање дужине l по формули 6,
- ✓ рачунање угла φ и ϵ по формулама 4 и 5,
- ✓ рачунање угла скретања (α_0) по формули 2, односно, формули 3,
- ✓ рачунање угла прелома (β_0) по формули 11,

- ✓ рачунање дужине тангенте (t_u) по формули 1,
- ✓ рачунање дужине C_u по формули 9,
- ✓ рачунање дужине C_i по формули 10,
- ✓ рачунање дужине l_u потребне за обележавање темена T_u по формули 7,
- ✓ рачунање дужине l_i потребне за обележавање темена T_i по формули 8,
- ✓ рачунање дужине тангенте улазне (t_u) кривине по формули 12,
- ✓ рачунање дужине тангенте излазне (t_i) кривине по формули 13,
- ✓ рачунање дужине радијуса улазне (R_u) кривине по формули 14,
- ✓ рачунање дужине радијуса излазне (R_i) кривине по формули 15.

4. Од темена улазне кривине (T_u), по правцу угла скретања α_u , измери се дужина (l_u) и обележи тачка почетка (PK_u) основне кривине. Ова тачка се на терену материјализује значком \textcircled{u} . Такође, од темена излазне кривине (T_i), по правцу угла скретања α_i , измери се дужина (l_i) и обележи тачка краја (KK_i) основне кривине. Ова тачка се на терену материјализује значком \textcircled{i} .

5. У тачкама PK_u и KK_i се на правце тангенти PK_u-T_u и KK_i-T_i подигну управне. У пресеку управних праваца добија се тачка центра (О) основне кривине, која се на терену означи кочићем и значком \textcircled{O} . Дужина од PK_u или KK_i до центра (О) основне кривине је R_u , која треба да буде једнака изабраној вредности радијуса коришћеној за рачунање у формули 1.

6. Правци радијуса (R_u) основне кривине О-А и О-В међусобно заклапају централни угао (α_u). Када се на терену материјализује симетрала овог угла и по њој од центра (О) основне кривине нанесе дужина радијуса (R_u) добија се тачка средине (SK_u) основне кривине. Ова тачка се на терену материјализује значком-трасирком \textcircled{u} . Сагледавањем њеног положаја на терену и положаја осталих обележених тачака центра (О), почетка (PK_u) и краја (KK_i) основне кривине може се добити увид положаја целе серпентине у простору.

Снимање података потребних за израду главних пројеката шумских путева ради се по tzv. упрошћеном методу пројектовањем трасе пута директно на терену. Шумарска наука и пракса путног инжењерства у шумарству су до сада дале позитивно мишљење о овом методу пројектовања шумских путева јер је он једноставнији у односу на пројектовање путева јавног саобраћаја, а његовим коришћењем се постиже довољна тачност потребна за изградњу шумских путева (Лалић, 1976). Постојећи начин пројектовања шумских путева треба унапредити (Стефановић, 1999) између осталог и поједностављењем

појединих операција снимања података на терену, тј. скраћењем времена њиховог извођења. На тај начин се пројектантима олакшава посао и повећава продуктивност рада.

Код досадашњег начина обележавања пуних серпентина прво се бира центар основне кривине, исклучи читава кружница основне кривине и онда, на тој кружници, изаберу тачке почетка и краја основне кривине. Затим се од тих тачака пројектују правци помоћних кривина и одређује положај темена. Овај начин обележавања пуних серпентина је сложен. Поред тога, често се не може из првог покушаја постићи задовољавајуће решење. Тек након неколико варијантних решења може се доћи до најповољнијег.

Коришћењем методе унутрашњег кружног лука на бази минималног броја потребних, унапред снимљених података, прорачунају се остале вредности елемената за обележавање пуних серпентина. Искољчавање почиње утврђивањем темена улазне (T_u) и излазне (T_i) кривине, а затим улазних и излазних праваца, при чему се води рачуна о дужинама тангенти помоћних кривина и дужинама међуправаца. На тај начин се испитује могућност уписивања кривине одређеног основног (R_o), улазног (R_u) и излазног (R_i) радијуса. Када се обележе тачке почетка (PK_o), краја (KK_o) и средине (SK_o) основне кривине може се сагледати могућност обележавања читаве серпентине. Оваквим радом се смањује могућност грешака при одређивању положаја почетка и краја основне кривине, а смањује се и обим послова јер се не обележава читава основна кривина, већ само главне тачке на основу којих се утврђује могућност њеног извођења.

Предложени метод обележавања пуних серпентина, представљен у овом раду, треба да прође различите тестове и провере, а затим апликацију и верификацију у пракси. Његова примена и унапређење отварају многа питања у вези техничких ограничења и организационих решења као што су: истраживање везе између појединих елемената који служе за обележавање серпентина, испитивање граничних вредности техничких елемената серпентина, снимање времена трајања два начина искољчавања серпентина и рачунање учинка.

4. ЗАКЉУЧАК

На основу изнетог можемо извести следеће закључке:

1. Метод који се до сада користио за обележавања пуних серпентина на шумским путевима има методолошки недостатак због којег је веома тешко може, из првог покушаја, постићи задовољавајуће решење. Зато се поступак обележавања понавља све до постизања најповољнијег решења серпентине. Оваква ситуација утиче на повећање времена обележавања, смањење

учинка у пројектовању и на повећање укупних трошкова пројектовања на терену.

2. Обележавање пуних серпентина на шумским путевима по методу унутрашњег кружног лука омогућава да се на основу минималног броја мерења (5), елементи за обележавање серпентина прво израчунају, а онда обележе на терену. На овај начин смањују се грешке при пројектовању, односно, смањује се број покушаја искољчавања пуних серпентина.
3. Примена методе унутрашњег кружног лука за обележавање пуних серпентина на шумским путевима захтева проверу и верификацију и апликацију у шумарској инжењерској пракси, али отвара многа питања у вези даљњег унапређења методе искољчавања пуних серпентина на шумским путевима.

ЛИТЕРАТУРА

- Бутулија С., Рађеновић Б. (1993): *Упутство за пројектовање шумских камионских путева*, ЈП „Србијашуме”, Београд;
- Лалић М. (1976): *Студија могућности примене упрошћених метода израде главних пројеката шумских путева*, докторска дисертација у рукопису, Шумарски факултет, Београд;
- Митин Н. А. (1972): *Серпантини*, Издање „Транспорт”, Москва;
- Симоновић М. (1949): *Шумска транспортна средства, I део, Пројектовање шумских путева и железница*, Научна књига, Београд;
- Симоновић М., Лалић М. (1975): *Практикум за пројектовање шумских путева*, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд;
- Стефановић Б. (1999): *Пројектовање шумских путева – основне смернице и перспективе развоја*, “Гласник Шумарског факултета” № 80-81, Београд, стр. 107-117;
- Стефановић Б. (2002а): *Главни пројекат шумског камионског пута “Голача – Јованов Лаз – Бодевик” дужине 3,22 km*, инвеститор: ШГ “Топлица” Куршумлија, извођач: Институт за шумарство ЈП “Србијашуме”, Београд;
- Стефановић Б. (2002б): *Главни пројекат пута “Поток Бигер – Три пољане” дужине 3,65 km*, инвеститор: ШГ “Северни Кучај” Кучево, извођач: Институт за шумарство ЈП “Србијашуме”, Београд;

- Стефановић Б., Митровић Д. (2002): *Главни пројекат пута “Ујевац – Северни Ревир” дужине 1,27 km*, инвеститор: ШГ “Северни Кучај” Кучево, извођач: Институт за шумарство ЈП “Србијашуме”, Београд;
- Stefanovic B., Zlatanovic M. (2002): *Laying out of Serpentes on Forest Roads by the Interior Circular Curve Method*, Proceedings – Geodesy, Transportation Engineering, Geotechnics, Mathematics, and Physics of the Jubilee Scientific Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Foundation of the University of Architecture, Civil Engineering, and Geodesy, Sofia, Bulgaria, November 20-23, 2002. Volume 8, pp. 237-248;
- Стефановић Б. (2005а): Обележавање симетричних серпентина на шумским путевима по методу унутрашњег кружног лука, „Гласник Шумарског факултета” № 91, Београд, 219-229;
- Стефановић Б. (2005б): Обележавање асиметричних серпентина на шумским путевима по методу унутрашњег кружног лука, „Шумарство” № 3, Београд, 107-116;
- Стефанович Б.Ж. (2006): Сопоставительный анализ двух методов обозначения серпантинов на лесовозных дорогах, VI международная научно-техническая конференция „Лесной комплекс: состояние и перспективы развития”, Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск, Россия, 1-30 ноября 2006, Сборник научных трудов стр.48-51;
- Стефановић Б. (2009): Обележавање полусерпентина на шумским путевима по методу унутрашњег кружног лука, „Гласник Шумарског факултета” № 99, Београд, 155-164.

S u m m a r y

Bogdan Stefanović

THE FULL SERPENTINE MARKING ON FOREST ROADS BY INTERNAL CIRCULAR CURVE METHOD

Serpentines on forest roads are very complex and expensive project from the point of view of their construction, building and making appropriate traffic conditions.

This especially applies to the terrain configuration of Serbian forests.

The method of full serpentine marking on forest roads used so far has shown some methodological shortcomings, which influence the length of marking time, i.e. increase the expenses of road construction. The main problem of this way of full serpentine marking is that serpentines often cannot be marked at first attempt, but that procedure must be repeated several times until satisfactory solution has been reached.

The internal circular curve method of full serpentine marking is based on rational marking time and objective projecting by reduction possibility of making mistakes. On the occasion of marking full serpentines on forest roads by the method of internal circular curve, the sequence operations of marking is changing by used last method, then we must to calculate necessary elements for marking time and calculated elements we marks directly on the terrain.