

УДК 528.4

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ НІВЕЛІРНИХ РЕЙОК ЕЛЕКТРОННИМ ТАХЕОМЕТРОМ

В. Літинський, А. Віват, І. Покотило
Національний університет "Львівська політехніка"

С. Літинський
Львівський національний університет імені Івана Франка

Є. Герасименко
Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Ключові слова: електронний тахеометр, відбивна плівка, нівелірна рейка, компарування.

Постановка задачі

Традиційно компарування рейок, які використовують у нівелюванні IV та III класів, виконують контрольним метром, який потрібно регулярно атестувати у Харківському метрологічному інституті.

Пропонуємо методику, яка дає змогу, використовуючи електронні тахеометри та відбивні плівки, визначити шукані інтервали рейки для вказаних класів з необхідною точністю.

Запропоновану методику також можна застосовувати для високоточного визначення віддалей у інших прикладних геодезичних задачах [4, 7–9].

Виклад основного матеріалу

Згідно з [1] довжина метрових інтервалів шашкових рейок для IV класу може відрізнятися від номіналу на 1 мм, а дециметрових – 0,6 мм. Для III класу – 0,5 мм метрових і 0,4 мм – дециметрових. Отже, с.к.п. визначення довжин цих відрізків має бути хоч би у два рази меншою за шукані величини.

Використовуючи формулу [5]

$$l = \sqrt{\frac{c \cdot m_{a/b}}{m_\gamma \sqrt{2}} \rho''}, \quad (1)$$

де $m_{a/b}$ – с.к.п. вимірювання віддалі l до рейки (на рис. 1 – a, b), m_γ – с.к.п. вимірювання кута, c – шуканий відрізок на рейці (на рис. 1, напр. kn), знайдемо найоптимальнішу віддаль l від тахеометра до рейки. Наприклад, для тахеометра Sokkia SET610 $m_{a/b} = 2 \text{ мм}$, $m_\gamma = 5''$, найоптимальнішою, згідно з (1), для метрових інтервалів є віддаль 7,6 м.

Точність визначуванних відрізків c можна знайти за формулою [5]

$$m_c(l, \gamma) = \sqrt{2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} \cdot m_{a/b}^2 + l^2 \cos^2 \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{m_\gamma^2}{\rho^2}}, \quad (2)$$

де γ – кут у градусній мірі, $\rho = 206265''$.

Для наведених вище даних у Sokkia SET610 точність визначення метрових інтервалів рейки із одного прийому вимірювань дорівнюватиме $m_{1,м} = 0,26 \text{ мм}$, для дводециметрових, для такої ж віддалі 7,6 м (згідно з (1) – 3,4 м) – $m_{2,дм} = 0,19 \text{ мм}$.

Для Leica TCA2003 $m_{(a/b)} = 1 \text{ мм}$, $m_\gamma = 1,0''$. Тоді для метрових інтервалів рейки найоптимальнішою,

згідно з (1), є віддаль близько 12 м. Їхня точність визначення із одного прийому вимірювань дорівнюватиме $m_{1,м} = 0,08 \text{ мм}$, а для дводециметрових, для такої самої віддалі 12 м (згідно з (1) – 5,4 м і $m_{2,дм} = 0,04 \text{ мм}$) – $m_{2,дм} = 0,19 \text{ мм}$. Такі розрахунки виконано з метою визначення всіх інтервалів із однієї станції.

Як бачимо із розрахунків, дослідження інтервалів рейок можна виконувати і топографічними тахеометрами типу Sokkia SET610, оскільки похибка визначення метрових інтервалів навіть із одного прийому майже у два рази менша – 0,26 мм від шуканої 0,5 мм похибки метрових інтервалів.

Дослідження виконували, використовуючи: високоточний метрологічний – Leica TCA2003 та топографічний Sokkia SET610 електронні тахеометри, відбивні плівки, шашкові рейки та чотири контрольні метри. Характеристика тахеометрів подана у табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики електронних тахеометрів

| Характеристика | Leica TCA2003 | Sokkia SET610 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| С.к.п. вимірювання кута | 0,5'' | 5'' |
| С.к.п. вимірювання віддалі | 1 мм + 1 ppm | 2 мм + 2 ppm |
| Збільшення зорової труби | 30 ^x | 30 ^x |

До початку вимірювань визначили приладові поправки цих тахеометрів для використовуваних відбивних плівок. Для цього виготовили циліндр з діаметром гнізда підставки електронних тахеометрів, в якому верхня частина циліндра була зрізана на половину циліндра, так, що після наклеювання відбивна поверхня плівки проходила не через вісь циліндра, а була зміщена на її товщину. Визначення приладової поправки виконували на трубчастих знаках А, В та С, що розташовані на віддалі приблизно 5 м один від одного у створі ($\pm 5 \text{ мм}$). Вимірювали віддаль S_{AC} , а тоді з точки В – S_{BA} та S_{BC} на ту ж плівку, наклеєну на цей самий півциліндр. $ПП = S_{AC} - (S_{BA} + S_{BC})$. Визначення приладової поправки виконували для двох положень вертикального круга. Приладову поправку враховували під час досліджень. Визначена у такий спосіб ПП дає змогу вимірювати віддалі до площини рейки.

Вимірювання інтервалів рейки контрольним метром, а також візування під час вимірювання віддалей і кутів електронним тахеометром виконували на штрихи, викреслені на кінцях дводециметрових поділок добре загостреним олівцем. Під час вимірювань рейку уста-

новлювали приблизно на висоті електронного тахеометра, горизонтально ($\pm 5'$). Середина рейки утворювала приблизно прямий кут з візирним променем. Для цього віддали до 2-го і 28-го дециметрових штрихів установлювали однаковими у межах 5 мм. Відбивну плівку, для вимірювання віддалей, наклеювали на початку 2, 10, 20 і 28 дециметрових штрихів (див. рисунок).

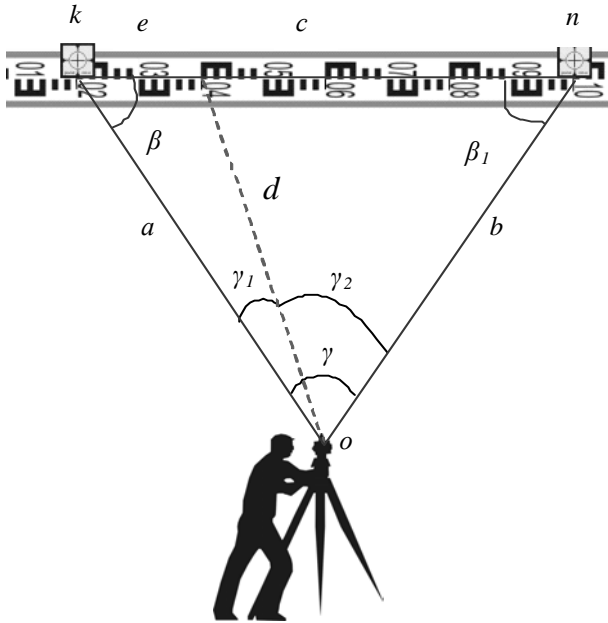


Схема досліджень інтервалів рейки

Для визначення довжин дводециметрових (дециметрових) інтервалів рейки потрібно знати віддали d . Ці віддали (рис. 1) до проміжних дводециметрових (дециметрових) інтервалів та точність обчислень цих віддалей залежно від точності вимірювань віддалей m_a/b та кутів m_γ розраховували так. За виміряними віддальми a і b та кутом γ обчислимо кут β використовуючи формулу тангенсів:

$$\frac{b+a}{b-a} = \frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2(\beta+\beta_1)}}{\operatorname{tg} \frac{1}{2(\beta-\beta_1)}} \quad (3)$$

Оскільки $\beta + \beta_1 = 180^\circ - \gamma$, то

$$\beta_{(\gamma,a,b)} = 1/2 \left(180^\circ - \gamma + 2 \operatorname{arctgn} \left(\frac{(b-a) \operatorname{tg} \frac{1}{2}(180^\circ - \gamma)}{b+a} \right) \right) \quad (4)$$

С.к.п. m_β обчислення β можна знайти

$$m_\beta = \sqrt{\left(\frac{\partial \beta_{(\gamma,a,b)}}{\partial \gamma} m_\gamma \right)^2 + \left(\frac{\partial \beta_{(\gamma,a,b)}}{\partial a} m_a \right)^2 + \left(\frac{\partial \beta_{(\gamma,a,b)}}{\partial b} m_b \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{b(a \cos \gamma - b)}{a^2 - 2ab \cos \gamma + b^2} m_\gamma \right)^2 + \left(\frac{-b \sin \gamma}{a^2 - 2ab \cos \gamma + b^2} m_a \right)^2 + \left(\frac{a \sin \gamma}{a^2 - 2ab \cos \gamma + b^2} m_b \right)^2} \quad (5)$$

Величину d визначимо

$$d_{(a,\beta,\gamma)} = \frac{a \sin \beta}{\sin(\gamma_1 + \beta)} \quad (6)$$

С.к.п. обчислення d знайдемо

$$m_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d_{(a,\beta,\gamma)}}{\partial a} m_a \right)^2 + \left(\frac{\partial d_{(a,\beta,\gamma)}}{\partial \beta} m_\beta \right)^2 + \left(\frac{\partial d_{(a,\beta,\gamma)}}{\partial \gamma_1} m_{\gamma_1} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \gamma_1)} m_a \right)^2 + \left(\frac{a \sin \gamma_1}{\sin^2(\beta + \gamma_1)} m_\beta \right)^2 + \left(\frac{a \sin \beta}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma_1) \sin(\beta + \gamma_1)} m_{\gamma_1} \right)^2} \quad (7)$$

Величину шуканого дводециметрового інтервалу e визначимо з формули синусів

$$e_{(a,\beta,\gamma_1)} = \frac{a \sin \gamma_1}{\sin(\gamma_1 + \beta)} \quad (8)$$

С.к.п. дводециметрового (дециметрового) інтервалу e обчислимо

$$m_e = \sqrt{\left(\frac{\partial e_{(a,\beta,\gamma_1)}}{\partial a} m_a \right)^2 + \left(\frac{\partial e_{(a,\beta,\gamma_1)}}{\partial \beta} m_\beta \right)^2 + \left(\frac{\partial e_{(a,\beta,\gamma_1)}}{\partial \gamma_1} m_{\gamma_1} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_1}{\sin(\beta + \gamma_1)} m_a \right)^2 + \left(\frac{\alpha \sin \gamma_1}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma_1) \cdot \sin(\beta + \gamma_1)} m_\beta \right)^2 + \left(\frac{\alpha \sin \beta}{\sin^2(\beta + \gamma_1)} m_{\gamma_1} \right)^2} \quad (9)$$

Виконавши розрахунки згідно з наведеними вище формулами, бачимо, що точність обчислення d практично дорівнює точності вимірювань до метрових інтервалів і не впливає на точність обчислень дводециметрових (дециметрових) інтервалів. Наприклад, якщо відрізки a і b виміряні з точністю 2 мм, а кут γ виміряний із точністю $5''$, то віддаль d для дводециметрового відрізка отримаємо з точністю $m_d = 2,07$ мм.

Така похибка у визначенні віддалі приводить до похибки у обчисленні дводециметрового інтервалу 0,006 мм, що практично не впливає на точність обчислення інтервалів. Вимірювання кутів та віддалей електронним тахеометром виконували одночасно. Електронним тахеометром Leica виконано 4 прийоми, а Sokkia – 5. Тахеометри розташовували на віддалі приблизно 10 м від рейки. Спочатку вимірювання на всі штрихи виконували з КЛ за ходом годинникової стрілки, а тоді з КП – проти ходу. Це і був один прийом вимірювань. На кожен штрих виконували по два візування для кожного положення круга. Розходження між двома візуваннями не перевищувало $2''$. Так само при двох кругах вимірювали віддали.

Для перевірки точності запропонованого методу визначувані на рейці інтервали виміряно чотирма контрольними метрами у прямому і зворотному напрямках. С.к.п. виміряних відрізків, обчислена за формулою Бесселя, не перевищувала 0,06 мм для дводециметрових інтервалів і 0,08 мм – для метрових.

Результати порівнянь метрових відрізків, вимірних контрольними лініями і запропонованим методом, для тахеометра Leica TSA2003 подано в табл. 2

Таблиця 2

Порівняння метрових інтервалів рейки, які виміряні чотирма контрольними метрами із різною кількістю прийомів Leica TSA2003

| Інтервал рейки, мм | Середнє значення інтервалу, виміряного контрольними метрами, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) прийом 1 (ПР1), мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2)/2, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3)/3, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3+ПР4)/4, мм |
|--------------------|---|--|---|---|---|
| 200 | | | | | |
| 1000 | 800,18 | +0,09 | +0,04 | -0,01 | -0,02 |
| 2000 | 999,73 | +0,06 | -0,02 | -0,04 | -0,03 |
| 2800 | 799,68 | -0,09 | +0,02 | +0,01 | +0,01 |

Таблиця 3

Порівняння метрових інтервалів рейки, які виміряні чотирма контрольними метрами із різною кількістю прийомів Sokkia SET610

| Інтервал рейки, мм | Середнє значення інтервалу, виміряного контрольними метрами, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) прийом 1 (ПР1), мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2)/2, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3)/3, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3+ПР4)/4, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3+ПР4+ПР5)/5, мм |
|--------------------|---|--|---|---|---|---|
| 200 | | | | | | |
| 1000 | 800,18 | +0,14 | +0,12 | +0,05 | +0,10 | -0,02 |
| 2000 | 999,73 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,04 | +0,02 |
| 2800 | 799,68 | +0,15 | +0,13 | +0,13 | +0,07 | +0,05 |

Таблиця 4

Порівняння дводециметрових інтервалів рейки, які виміряні чотирма контрольними метрами із різною кількістю прийомів Leica TSA2003

| Інтервал рейки, мм | Середнє значення інтервалу, виміряного контрольними метрами, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) прийом 1 (ПР1), мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2)/2, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3)/3, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3+ПР4)/4, мм |
|--------------------|---|--|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 200 | | | | | |
| 400 | 199,98 | -0,10 | -0,03 | -0,05 | -0,07 |
| 600 | 200,13 | -0,02 | +0,01 | +0,03 | +0,06 |

Продовження табл. 4

| | | | | | |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 800 | 200,02 | +0,16 | +0,10 | +0,05 | +0,01 |
| 1000 | 200,05 | +0,05 | -0,04 | -0,03 | -0,03 |
| 1200 | 199,92 | +0,06 | +0,01 | +0,03 | +0,05 |
| 1400 | 200,02 | -0,11 | -0,04 | -0,05 | -0,04 |
| 1600 | 199,88 | -0,08 | +0,00 | +0,00 | +0,00 |
| 1800 | 200,02 | +0,01 | -0,01 | +0,00 | +0,00 |
| 2000 | 199,88 | +0,19 | +0,01 | -0,02 | -0,03 |
| 2200 | 199,94 | -0,06 | +0,00 | -0,01 | -0,01 |
| 2400 | 199,90 | -0,10 | -0,03 | -0,01 | -0,02 |
| 2600 | 199,95 | +0,03 | +0,02 | +0,02 | +0,02 |
| 2800 | 199,89 | +0,04 | +0,03 | +0,01 | +0,01 |

Таблиця 5

Порівняння дводециметрових інтервалів рейки, які виміряні чотирма контрольними метрами із різною кількістю прийомів Sokkia SET610

| Інтервал рейки, мм | Середнє значення інтервалу, виміряного контрольними метрами, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) прийом 1 (ПР1), мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2)/2, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3)/3, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3+ПР4)/4, мм | Різниця (прилад – контрольні метри) (ПР1+ПР2+ПР3+ПР4+ПР5)/5, мм |
|--------------------|---|--|---|---|---|---|
| 200 | | | | | | |
| 400 | 199,98 | -0,08 | -0,08 | -0,12 | -0,02 | -0,06 |
| 600 | 200,13 | +0,16 | +0,17 | +0,13 | +0,09 | +0,06 |
| 800 | 200,02 | -0,01 | -0,04 | -0,02 | -0,01 | -0,03 |
| 1000 | 200,05 | +0,06 | +0,07 | +0,04 | +0,04 | +0,02 |
| 1200 | 199,92 | +0,16 | +0,13 | +0,13 | +0,08 | +0,10 |
| 1400 | 200,02 | -0,03 | -0,04 | -0,01 | +0,00 | +0,02 |
| 1600 | 199,88 | -0,08 | -0,10 | -0,11 | -0,04 | -0,05 |
| 1800 | 200,02 | +0,03 | +0,05 | +0,01 | +0,03 | +0,03 |
| 2000 | 199,88 | -0,14 | -0,09 | -0,11 | -0,11 | -0,10 |
| 2200 | 199,94 | +0,06 | +0,09 | +0,12 | +0,10 | +0,06 |
| 2400 | 199,90 | +0,07 | +0,00 | +0,01 | -0,02 | +0,01 |
| 2600 | 199,95 | +0,01 | +0,03 | +0,02 | +0,06 | +0,04 |
| 2800 | 199,89 | +0,10 | +0,06 | +0,07 | +0,00 | +0,00 |

Висновки

Як бачимо, результати, наведені у табл. 2–5, дещо відрізняються від наперед розрахованих. Це пов'язано як і з точністю вимірних інтервалів контрольними лініями, так і з тим, що реальна віддаль до рейки для обох тахеометрів для метрових і дводециметрових інтервалів дорівнювала 10 м, а не віддалі, розраховані за формулою (1).

Щоб досягти точності визначуваних інтервалів, у три рази більшої за ту, якої вимагає інструкція, наприклад, 0,4 мм для дециметрових інтервалів рейок, навіть для 10 м віддалі, достатньо виконати два прийоми вимірювань метрологічним тахеометром Leica TSA2003 і три – топографічним Sokkia SET610.

Для більшої кількості прийомів вимірювань Leica TSA2003 і віддалей до рейки, які дорівнюватимуть розрахованим за формулою (1), такі дослідження можна виконувати для рейок, що використовуються у I та II класах нівелювання.

Література

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990. – 167 с.
2. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – К.: ГУГК, 1999. – 156 с.
3. Антонюк В. Комплексна реалізація методу встановлення обладнання в проектне положення з використанням сучасного та традиційного геодезичного обладнання / В. Антонюк, В. Астаф'єв, В. Грек, Є. Клепвер, В. Корольов, М. Лобур, В. Нікітченко, А. Віват, С. Савчук, Т. Шевченко // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2006. – Вип. 67. – С.10–16.
4. Островський А.Л. Геодезія, частина II: підручник / А. Островський, О. Мороз, В. Тарнавський. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2007. – 508 с.
5. Літинський В.О. Розрахунок оптимальних значень вимірюваних віддалей для точного визначення довжин невеликих відрізків / В. Літинський, М. Фис, І. Покотило, С. Літинський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2014. – Вип. 76. – С. 10–16.
6. Плотников В.С. Геодезические приборы: учебник / В. Плотников. – М.: Недра, 1987. – 396 с.
7. Колгунов В.М. Модернізація планової мережі Бережанського навчального геодезичного полігона / В. Колгунов, В. Літинський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2001. – Вип. 61. – С. 63–69.
8. Бегунов Б.И. Теория оптических систем / Б. Бегунов, Н. Заказов, С. Кирюшин, В. Кузичев. – М.: Машиностроение, 1981. – 432 с.
9. Bertsekas, Dimitri P. (1999). Nonlinear Programming (Seconded). – Cambridge, MA.: Athena Scientific.
10. Vapnyarskii, I.B. (2001) Lagrangemultipliers // In Hazewinkel, Michiel, Encyclopedia of Mathematics, Springer.
11. Lemaréchal Claude (2001) Lagrangianrelaxation // In Michael Jüngerand Denis Naddef. Computational combinatorial optimization: Papers from the Spring Schoolheldin SchloßDagstuhl, May 15–19, 2000. Lecture Notesin Computer Science 2241. Berlin: Springer-Verlag. pp. 112–156. doi:10.1007/3-540-45586-8_4. ISBN 3-540-42877-1. MR 1900016.
12. Літинський В.О. Про створення Бережанського лінійного базиса / В. Колгунов, В. Муха, В. Ващенко // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2003. – Вип. 64. – С.33–36.
13. Тревого І.С. Новий взірцевий геодезичний базис / І. Тревого, С. Савчук, О. Денисов, П. Волчко // Вісник геодезії та картографії. – 2004. – № 1(32). – С.13–16.
14. Купко В. Національний еталонний лінійно-геодезичний полігон / В. Купко, О. Прокопов, І. Лукін, В. Соболь, О. Косенко, О. Кофман // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2004. – С. 98–104.

Методика визначення інтервалів нівелірних рейок електронним тахеометром

В. Літинський, А. Віват, І. Покотило,
С. Літинський, Є. Герасименко

Розглянуто методику компарування нівелірних рейок, які використовують у нівелюванні IV та III класів, за допомогою електронного тахеометра та відбивних плівок. Для оптимально розрахованих, за пропонуваннями нами формулами, віддалей до рейок, залежно від величини визначуваного відрізка на рейці та точності електронного тахеометра, можна отримати відповідну точність компарування таких рейок. Незалежно від величин шуканих інтервалів, віддалі у запропонованій методиці вимірюють електронним тахеометром тільки до декількох інтервалів рейки. Для решти інтервалів віддалі обчислювали за запропонованими нами формулами.

Методика определения интервалов нивелирных реек электронным тахеометром

В. Литинский, А. Виват, И. Покотило,
С. Литинский, Е. Герасименко

Рассмотрена методика компарирования нивелирных реек, которые используют в нивелировании IV и III классов, с помощью электронного тахеометра и отбивных пленок. Для оптимально рассчитанных, по предлагаемым нами формулам, расстояний до реек, в зависимости от величины определяемого отрезка на рейке и точности электронного тахеометра, можно получить соответствующую точность компарирования таких рельсов. Независимо от величин искомым интервалов, расстояния, в предложенной методике измеряют электронным тахеометром только до нескольких интервалов рельсы. Для остальных интервалов расстояние вычисляли по предложенной нами формулами.

Methods to determine intervals of leveling rods with electronic tacheometer

V. Litynsky, A. Vivat, I. Pokotylo,
S. Litynsky, Ye. Gerasymenko

The article examines the method of comparison of leveling rods that are used in the leveling of classes III and IV, using an electronic tacheometer and reflective tapes. For optimally calculated with our proposed formulas, distance to rail, depending on the size of the segment defined by rail and accuracy of electronic tacheometer, you can get corresponding accuracy of these rails comparison. Regardless of the desired interval values, the distance, in the proposed method we measured to only a few rail intervals with an electronic tacheometer. For the remaining intervals distances were calculated with our proposed formulas.