

Eudovít KOVANIČ*, Eudovít KOVANIČ**

MERANIE VÝŠKY NADZEMNÝCH VEDENÍ

ALTIMETRIC MEASUREMENT OF OVERHEAD POWER LINES

Abstrakt

Riešili sme úlohu merania výšok siete nadzemných elektrických vedení. Na základe požiadaviek na prístroj a na procedúru, sme zvážili dve možnosti. Analyzovali sme efektívnosť lesníckeho výškomeru a základnú meráciu časť lišty s pevným a posuvným optickým hranolom dvojobrazového dĺžkomeru. Vykonali sme poľné merania obidvomi zariadeniami a došli sme k záveru, že použitie lesníckeho výškomeru má oproti dvojobrazovému tachymetru viacero nevýhod, a to najmä nižšiu presnosť, prácnejší postup, potrebu spolupracovníka a nemožnosť výkonu v nedostupnom teréne.

Abstract

When solving the problem of height measurement within network of overhead power lines the following two alternatives of approach based on apparatus requirements and on procedure were considered. Both the effectiveness of altimeter used in forestry and of basal measuring part of guide bar with a stable and a sliding optical prism of stereopair tacheometer were analysed. After having performed field measurements by using the two above mentioned devices we came to the conclusion that the application of forestry altimeter is featured by several disadvantages when compared with picture-pair tacheometer, mainly lower accuracy, more difficult operation, necessity of co-workers and inability to function in inaccessible terrain.

Key words: overhead electricity mains height, forestry altimeter, stereopair tacheometer.

Úvod

Zo Slovenských elektrární sme získali námet na aktuálne riešenie prístroja a metodiky na jednoduché meranie výšky nadzemných elektrických vodičov. Pri budovaní takýchto vedení sú vodiče upevnené na izolátoroch tak, aby v zime pri extrémne nízkych teplotách nedochádzalo v nich k neprípustným napätiam v ťahu, ale aj v lete pri extrémne vysokých teplotách v dôsledku teplotnej dilatácie k enormnému priehybu do neprípustných výšok pod hodnoty dané normatívom. Kontroly stavu týchto vedení vykonávajú pochôdzkari periodicky a pritom na podozrivých miestach vykonávajú aj merania výšky vodičov. Bežne sa to robilo pomocou ľahkým plynom naplnených balónov na úväzku alebo nadstavenými tyčkami, pri ktorých dochádzalo aj k smrteľným úrazom.

Nové zariadenie by malo spĺňať hlavné kritériá: - bezpečnosť pri práci, - nenáročnú obsluhu, - malé rozmery i hmotnosť, - nízku cenu a - presnosť v určení výšky do $\pm 3\%$.

* Doc. Ing., CSc., Katedra geodézie a geofyziky, FBERG, TU Košice, Park Komenského 19, 04384 Košice

** Ing., Stredná priemyselná škola stavebná a geodetická, Lermontovova 1, 04001 Košice

Súčasný stav poznania

Skúmali sme možnosti riešenia tohto problému a dospeli sme k záveru, že najvýhodnejšie by bolo použitie prístroja BRT 006 fy Carl Zeiss, Jena, ktorým by bolo možné dosiahnuť presnosť do \pm (2-3 cm) a aj splniť podstatnú časť kritérií, no z hľadiska obsluhy by mal merania vykonávať technicky zdatný pracovník. Zamietnutie tejto možnosti vyplynulo aj z dôvodu vysokej ceny a hmotnosti prístroja s príslušenstvom.

Z hľadiska cenových relácií prichádza do úvahy lesnícky výškomer, v praxi bežne používaný na nepriame určovanie výšky lesných porastov, prípadne jednotlivých stromov (obr.1).



Obr. 1: Lesnícky výškomer

Prístroj je vyhotovený z ľahkej zliatiny v tvare plochej škatuľky upravenej pre uchopenie do ruky. Segmentový otvor v nej je prekrytý priehľadným plexitom, cez ktorý možno odčítať na delených kruhoch stupníc. Pomocou aretačného zariadenia sa uvádza do činnosti kyvadlový sklonomer, ktorého rameno zároveň slúži ako odčítací index. Prístroj je doplnený priezorom na zacielenie. Na stupniciach možno odčítať uhol sklonu zámernej priamky (výškový elevačný i depresný), percento jej spádu i prevýšenie nad i pod horizontom prístroja cieľov vo vodorovnej voliteľnej vzdialenosti 10, 15, 20, 30 a 40 metrov. V prístroji je otvor na jeho uchytanie na podpornom zariadení (tyčke, statíve) na zabezpečenie stability pri meračských úkonoch. Pre meranie treba vytýčiť bod vo zvolenej vodorovnej vzdialenosti, na ktorom sa podopreným prístrojom zameria prevýšenie nad, príp. pod horizontom prístroja päty a rovnako aj vrcholu stromu a ich algebraickým rozdielom sa získa aj jeho výška.

Na takéto merania prichádza do úvahy najmä dvojobrazový dĺžkomer – výškomer s premenlivou základnicou. Jeho konštrukčné riešenie spočíva v tom, že na kovovej lište možno pomocou dvoch optických hranolov (pentagónov) nastaviť dĺžku základnice b (obr.2a).

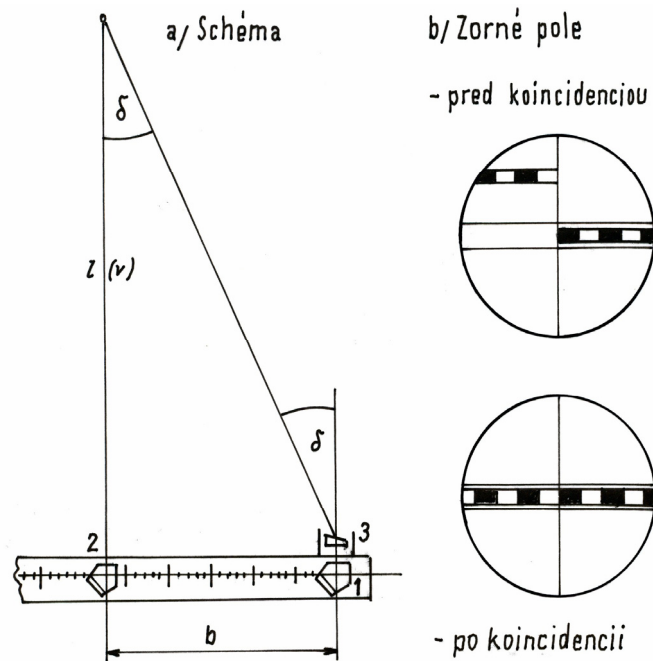
Premenlivú dĺžku základnice určovacieho trojuholníka vymedzuje rozdiel polôh pravého pevného hranola 1 a ľavého posuvného hranola 2. Hodnotu posunu možno odčítať na dĺžkomernej stupnici s milimetrovým delením. Pravý (pevný) hranol je v nulovej polohe čítania na stupnici a pred ním je predsadený optický klin 3 vychylujúci lúč zámery od kolmice k základnici o konštantný deviačný uhol δ . V pravouhlom určovacom trojuholníku poznáme teda dĺžku základnice b i uhol δ . Keďže hranoly sú v rôznej vzdialenosti (výške) od kovovej lišty, v zornom poli (obr. 2b) možno pozorovať pri zacielení dva poloobrazy toho istého predmetu, z ktorých jeden je vytvorený pevným hranolom a druhý hranolom pohyblivým. Posunom pohyblivého hranola skoincidujeme dva rovnobežné poloobrazy. V tejto polohe pohyblivého hranola odčítame hodnotu b , ktorá je s danou hodnotou uhla δ a meranou dĺžkou l vo vzťahu:

$$l = b \cdot \cotg \delta = k \cdot b$$

Na meranie rôznych vzdialeností sa používajú optické klíny s rôznymi hodnotami konštanty k . Pre náš prípad je vhodné použiť optický klin s konštantou $k = 100$, čo znamená, že na kovovej lište (základnici) dlhšej 30 cm možno merať vzdialenosti do 30 m. Pre meranie do väčších vzdialeností pri tom istom klíne by bolo treba zväčšiť dĺžku kovovej lišty alebo pri tej istej lište vymeniť optický klin s konštantou 200, 500 alebo 1000.

V ďalších úvahách vychádzame z predpokladu, že treba merať vzdialenosti do 30 m, a teda plne nám postačí prístroj s lištou dlhou 30 cm a optickým klinom s $k = 100$. Pritom jednému centimetrovému dielikú bázy b odpovedá metrový úsek meranej dĺžky. Takéto zariadenie je možné použiť aj pri meraní výšky nadzemného

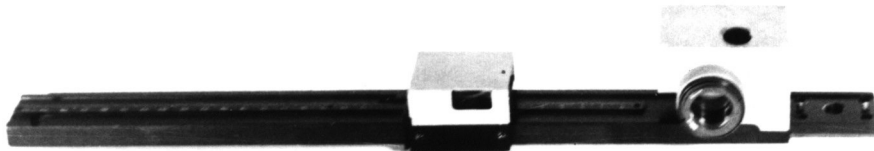
vedenia, pričom rovina určovacieho trojuholníka $1, 2, C$ (obr. 2a) je vo zvislej polohe, a tak možno merať priamo prevýšenia.



Obr. 2: Konštrukčná schéma dvojobrazového dĺžkomera

Merania a výsledky

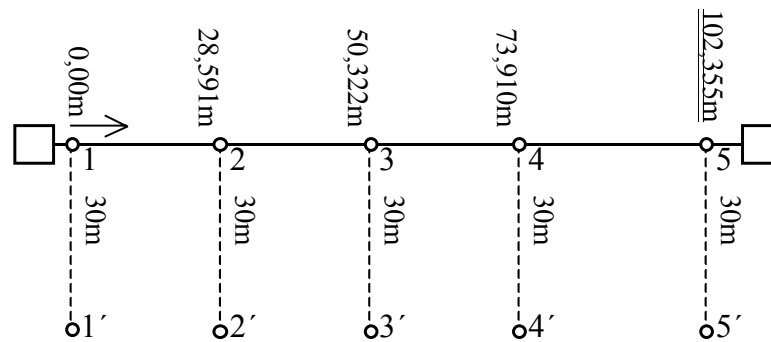
Pri overovacích meraniach sme použili meraciu časť prístroja TELETOP fy Carl Zeiss, Jena (obr. 3). K nemu sme si pripravili dopĺňajúci nadstavec s dvojryskou nitkového kríža (obr. 2b) a k očnej časti prístroja aj tvarovanú gumovú objímku na priloženie a opretie k oku pozorovateľa.



Obr. 3: Meracia časť prístroja Teletip

V rámci prípravných prác na overenie metodiky a presnosti merania týmito prístrojmi sme v teréne pomocou olovnicového závesu vytýčili v jednom poli medzi dvoma stožiarňami VN elektrického vedenia meračskú priamku s bodmi 1 až 5 ležiacimi súčasne aj vo zvislej rovine preloženej zameriavaným vodičom (obr. 4). Ich staničenia na meračskej priamke sú uvedené aj v tab. 2. Výšky týchto bodov sme určili niveláciou. Z nich sme vytýčili kolmice o dĺžkach po 30 m body 1' až 5'. Z týchto bodov sme teodolitom trigonometrickou niveláciou určili prevýšenia hláv kolíkov odpovedajúcich spáreným bodom vzhľadom k horizontu prístroja, a tak isto aj priesečníkov zvislíc s vodičom. Ich algebraický rozdiel pripočítaný k výške hlavy kolíka udáva výšku bodu vodiča.

Na bodoch 1' až 5' sme traja merači vykonali nezávisle rovnaké merania lesníckym výškomerom na určenie prevýšenia a výšok vodičov. Na overenie presnosti bolo každé meranie pozorovateľmi vykonané po desaťkrát a z výsledkov vyrovnaním priamych pozorovaní boli stanovené stredné chyby.



Obr. 4: Meračská priamka

Merania prevýšení boli meračmi vykonané aj dvojobrazovým dĺžkometerom – výškomerom s premenlivou základnicou s podporou na bodoch 1 až 5, vypočítané odpovedajúce výšky vodičov a z vyrovnania aj príslušné stredné chyby. Hodnoty stredných chýb merania jednotlivými pozorovateľmi a prístrojmi na bodoch sú uvedené v tab. 1.

Tabuľka.1: Stredné chyby meraných prevýšení

Prístroj	Meranie č.	Stredná chyba merania [cm] na bodoch číslo					
		1	2	3	4	5	priemer
Dvojobrazový dĺžkometer	1	26	25	11	18	38	23,6
	2	17	21	13	19	12	16,4
	3	22	31	11	18	19	20,2
	\bar{y}	21,7	25,7	11,7	18,3	23,0	20,1
Lesnícky výškomer	1	59	28	26	14	46	34,6
	2	44	46	22	16	39	33,4
	3	83	40	18	13	26	36
	\bar{y}	62,0	38,0	22,0	14,3	37,0	34,7

Z tabelovaných výsledkov merania vyplýva, že merači dosiahli pri meraní temer zhodné výsledky, no z prístrojov a technológií merania priaznivejšie výsledky sa dosiahli dvojobrazovým dĺžkometerom – výškomerom s premenlivou základnicou.

Na objektívne porovnanie výsledkov merania bolo použité matematicko-štatistické hodnotenie. Na výpočet parametrov regresnej funkcie bola použitá metóda najmenších štvorcov. Na regresnú funkciu bola volená parabola v tvare:

$$y_i = ax_i^2 + bx_i + c,$$

kde a , b , c sú parametre regresnej paraboly, ktoré treba určiť, x_i sú namerané hodnoty staničenia a y_i sú teoretické hodnoty výšok vodiča v jednotlivých bodoch.

Podmienkou metódy najmenších štvorcov je, aby súčet štvorcov odchýlok $(y_i - \bar{y}_i)^2 = \min.$, t.j. $S = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 = \min.$ Ak má byť táto podmienka splnená, potom prvé parciálne derivácie uvedeného súčtu podľa neznámych a , b , c sa musia rovnať nule. Teda:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial c} = 0.$$

Úpravou týchto rovníc dostaneme tzv. normálne rovnice

$$a \cdot \sum x_i^4 + b \cdot \sum x_i^3 + c \cdot \sum x_i^2 = \sum x_i^2 \cdot y_i,$$

$$a \cdot \sum x_i^3 + b \cdot \sum x_i^2 + c \cdot \sum x_i = \sum x_i \cdot y_i,$$

$$a \cdot \sum x_i^2 + b \cdot \sum x_i + c \cdot n = \sum y_i,$$

ktorých riešenie vyplýva z tab. 2.

Tabuľka 2: Výpočet regresnej funkcie

x_i [m]	y_i [m]	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2 \cdot y_i$
0,000	14,218	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
28,591	15,053	817,445	23371,578	668216,787	430,380	12305,004
50,322	15,974	2532,304	127430,586	6412561,948	803,844	40451,019
73,910	17,205	5462,688	403747,277	29840961,278	1271,622	93985,549
102,355	19,169	10476,546	1072326,868	109758016,614	1962,043	200824,911
Σ	255,178	81,619	19288,983	146679756,627	4467,888	347566,482

Po dosadení hodnôt z tab. 2 pre výpočet regresnej funkcie dostaneme rovnice:

$$146679756 \cdot a + 1626876 \cdot b + 19289 \cdot c = 347566,$$

$$1626876 \cdot a + 19289 \cdot b + 255 \cdot c = 4468,$$

$$19289 \cdot a + 255 \cdot b + 5 \cdot c = 82.$$

Riešením týchto rovníc pomocou determinantov dostaneme:

$$a = 3,03456 \cdot 10^{-4}, b = 1,4455105 \cdot 10^{-2}, c = 14,492.$$

Potom hľadaná rovnica má tvar:

$$y = 3,03456 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 1,4455105 \cdot 10^{-2} \cdot x + 14,492.$$

Graf tejto funkcie s empirickými hodnotami je na obr. 5. Každý z pozorovateľov vykonal oboma prístrojmi merania zvislých prevýšení od hlavy kolíkov po vodič, určil jeho výšky a vyhodnotil presnosť výsledkov svojich meraní.

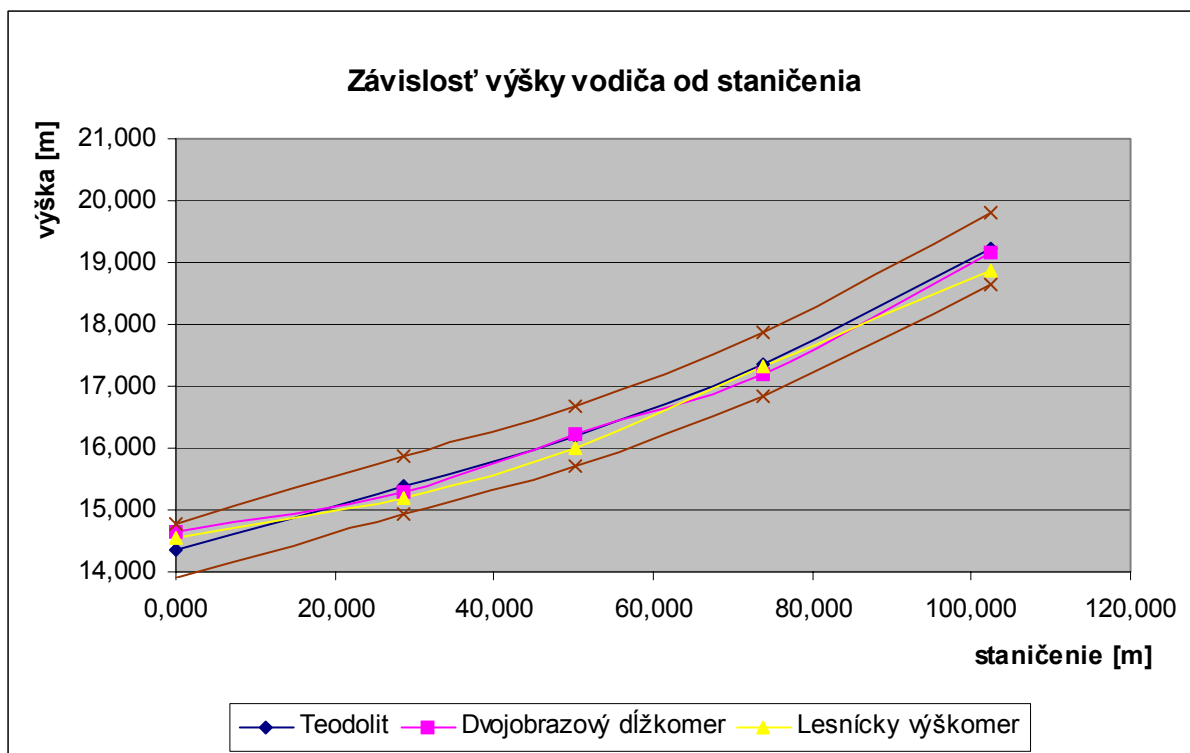
Na overenie presnosti merania lesníckym výškomerom i dvojobrazovým dĺžkomerom – výškomerom s premenlivou základnicou bola pre každý bod a pozorovateľa vyhodnotená absolútna chyba meranej výšky visutého vodiča. Za absolútne správnu sa brala hodnota stanovená na základe presného merania teodolitom, a vzhľadom k nej sa stanovili aj relatívne chyby jednotlivých meraní v určení výšok visutého vodiča.

Potvrdil sa predpoklad, že dvojobrazovým dĺžkomerom – výškomerom s premenlivou základnicou možno merať s relatívnou chybou menšou ako $\pm 2\%$, čím bola splnená podmienka presnosti do $\pm 3\%$.

Pri lesníckom výškomere bola dopustná odchýlka prekročená z meraní troch pozorovateľov na bodoch 1 a 5. Na celkové objektívne zhodnotenie dosiahnutých výsledkov zaradíme do práce aj tabuľky č. 3 až 6, i graf na obr. 5.

Tabuľka 3: Dvojobrazový dial'kometer - výškomer - merané hodnoty

Bod č.	1	2	3	4	5
Meranie 1	14,741	15,269	16,121	17,225	18,861
Meranie 2	14,350	15,330	16,286	17,193	19,248
Meranie 3	14,868	15,224	16,266	17,197	19,398
Priemer	14,653	15,274	16,224	17,205	19,169



Tabuľka 4: Lesnícky výškomer - namerané hodnoty [m]

Bod č.	1	2	3	4	5
Meranie 1	14,603	15,297	15,938	17,223	18,708
Meranie 2	14,708	15,157	15,978	17,458	18,893
Meranie 3	14,343	15,132	16,043	17,303	18,978
Priemer :	14,551	15,195	15,986	17,328	18,860

Tabuľka 5: Porovnanie vyšetrených hodnôt

Bod č.		1	2	3	4	5
y_i teoretické [m]		14,492	15,153	15,988	17,218	19,151
Merané hodnoty	teodolit	14,348	15,401	16,198	17,349	19,226
	dvojobrazový dĺžkomer	14,653	15,274	16,224	17,205	19,169
	lesnícky výškomer	14,551	15,195	15,986	17,328	18,860

Tabuľka 6: Absolútne a relatívne chyby meraných hodnôt

Prístroj - veličina		Bod - číslo				
		1	2	3	4	5
Δv_i	[m]	14,82	13,20	12,27	11,63	11,85
dvojobrazový dĺžkomer	m [cm]	21,60	25,60	11,60	18,30	23,00
	m_r [%]	1,47	1,94	0,95	1,57	1,94
lesnícky výškomer	m [cm]	62,00	38,00	22,00	14,30	37,00
	m_r [%]	4,18	2,88	1,79	1,23	3,12

Záver

- Lesnícky výškomer je pre takéto práce použiteľný len v krajných prípadoch. Presnosť ním dosiahnutých výsledkov merania je na úrovni maximálnej dopustnej odchýlky $\pm 3\%$ meraných výšok. Podstatné však je to, že pre meranie sú potrebné ďalšie pomôcky, na vytýčenie odľahlého bodu (bodov) treba pomocníka, ale najmä to, že v členitom teréne s väčším spádom je vytýčenie presnej dĺžky odľahlého bodu obtiažne, ba niekedy aj nemožné. Napokon aj meračský proces je značne zdĺhavý.
- Dvojobrazový dĺžkometer – výškomer s premenlivou základnicou má pre takéto práce výrazné prednosti v tom, že okrem prístroja o hmotnosti do 1 kg treba mať k dispozícii len olovnicu, výška vodiča nad terénom je priamo merateľná jedným pracovníkom, výrazná je úspora času a spoľahlivé výsledky merania možno dosiahnuť s relatívnou presnosťou do 2%.

Summary

On request of Slovak Electricity Establishment a study of height measurement of overhead mains of electricity network has been performed. Such measurements were previously made by using a bound balloon filled with gas and later by using sliding bars, but by such approach even mortal injuries were caused. So solution of the problem was really topical task.

By a new solution of measuring apparatus as well as of measurement method the following main criteria should be fulfilled: safety of work, small size and weight, comfortable operation, and relative accuracy in height determination of up to 3%.

Based on such requirements mainly the two following solutions could be considered. The first one based on application of clinometer and the second one based on the principle of application of picture pair tacheometer. When considering the former alternative the effectiveness of altimeter used in forestry was analyzed. For the later alternative a basal measuring part of guide bar with a stable and a sliding optical prism of stereopair tacheometer Teletop was applied.

Practical measurements were realized within the distance between two poles of overhead high voltage electricity mains. By using a plumb the survey line with five points that were at the same time points of vertical plane intersected by the overhead conductor was determined. Height of the points was determined by leveling. To these points five set-back points on perpendicular lines with 30 m spacing were aligned. Three observers realized 10 measuring of each elevation using forestry altimeter with direct reading of elevation on a scale corresponding to 30 m. In this way height differences between apparatus horizon and paired points of survey line and also of intersection points of corresponding vertical with the overhead conductor were identified. A difference of such elevations added to height of points gives the height of overhead conductor in the given system of co-ordinates. By using the same calculation we were able to realize a direct measurement of elevations between points of survey line and overhead conductor and determine their heights. By equalizing the direct observation we obtained the following mean errors of measurement: $\bar{m} = \pm 35$ cm (2,64%) when using a forestry altimeter and $\bar{m} = \pm 20$ cm (1,57 %) when using a stereopair tacheometer.

In order to achieve an objective assessment of results we realized equally a statistical analysis. The detailed procedure is described by full text of the presented paper.

At conclusion of this study the following general assessment has resulted:

- A forestry altimeter is applicable for such work only as a last resort. The accuracy of measuring results is on limit of maximum acceptable deviation $\pm 3\%$ of measured heights. Its disadvantages lie equally in necessity of additional aids and that other personnel is needed for alignment of distanced points. However, the main disadvantage lies in the fact that in irregular terrain with severe slope the alignment of accurate longitudinal distance of a point is very difficult and even impossible.
- A stereopair tacheometer with variable ground line is for such work advantageous due to several reasons. In addition to apparatus of 1 kg weight, only a plumb is needed. The height of overhead conductor above ground can be measured by a single worker, the procedure is time saving and reliable results can be obtained with a relative accuracy between 1-2%.

Recenzenti: Prof. Ing. Jan Schenk, CSc., VŠB-TU Ostrava,
Prof. Ing. Štefan Sokol, Ph.D., katedra geodézie, Stavebná fakulta STU v Bratislave.