

KONTROLA A TESTOVANIE ROTAČNÝCH LASEROVÝCH PRÍSTROJOV

CONTROL AND TESTING OF ROTARY LASER EQUIPMENT

Ing. Ján Ježko, Ph.D.

ABSTRAKT

Článok popisuje hlavné charakteristiky laserového žiarenia a typy laserov. Opísané sú možnosti využitia rotačné laserov pre oblasť geodézie a stavebníctva. Prezentované sú výsledky z kontroly dvoch rotačných laserov, Fennel FGL 250 - Green and Fennel FL 200 AN a postupy na kontrolu a testovanie podľa STN ISO 17123-6: Optika a optické prístroje - metódy na testovanie geodetických prístrojov - časť 6: Rotačné lasery. Záver príspevku je venovaný zhodnoteniu kvality skúšaných prístrojov.

Kľúčová slova: Testovanie a kontrola kvality podľa STN ISO 17123-6, laserové žiarenie, rotačné laserové prístroje, technické normy, zjednodušená a úplná testovacia metodika.

ABSTRACT

The article describes the principle characteristics of laser radiation and other types of lasers. Described are options to control rotary laser equipment for the field of geodesy and construction. Presented are two types of rotary laser Fennel FGL 250 - Green and Fennel FL 200 AN and procedures for inspection and testing process including test measurements according to ISO 17123-6: Optics and optical instruments - Methods for testing of geodetic and surveying instruments - Part 6: Rotary lasers. The conclusion of the paper is devoted to the assessment of the quality of the test equipment.

Key words: Testing and control according to STN ISO 17123-6, laser radiation, rotating laser device, technical standard, simplified and complete test procedure.

1 ÚVOD

Určovanie výšok - výškové merania patria v geodetickej i stavebnej praxi medzi každodenné úlohy. Ich potreba a využitie je veľmi široké, a široké sú aj postupy a metódy ktoré umožňujú realizáciu týchto meraní. Okrem základných metód (geometrická nivelácia zo stredu, hydrostatická nivelácia, trigonometrické určovanie výšok, metód využívajúcich globálne navigačné a satelitné systémy (GNSS) je možné na tieto úlohy využiť aj rotačné laserové niveláčne prístroje.

1.1 Laserové žiarenie - základný princíp

Označenie LASER je skratkou z anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (zosilnenie svetla stimulovanou emisiou žiarenia). Od svetla (napr. svetla žiarovky) sa však líši tým, že je monochromatické (jednofarebné), koherentné (usporiadané) a má malú divergenciu (rozbiehavosť).

Princíp laserového žiarenia je založený na zákonoch kvantovej fyziky a fyziky atómového jadra. Podstatu kvantových generátorov tvoria tzv. žiarivé prechody, ktoré nastávajú medzi rôznymi energetickými stavmi [3, 4].

1.2 Rotačné laserové prístroje – princíp

Rotačné lasery sú alternatívou ku klasickým prístrojom a metódam ako nivelačný prístroj, teodolit, libela, alebo prevažovač (olovnica). Prístroj po zapnutí a príprave môže pracovať bez obsluhy nepretržite celý deň. Využívať ho môžu pracovníci rôznych profesií, ktorí sú v dosahu rotačného lasera. Prednosťou prístrojov je ich jednoduchá obsluha, ktorá nevyžaduje špeciálne zaškolenie: prístroj sa zapne, rotačná hlava sa automaticky urovná, začne rotovať a vytvárať požadovanú referenčnú rovinu. Podľa polohy laserovej stopy možno určovať prevýšenie dvoch susedných bodov alebo prenášať výšky bodov. Tieto prístroje majú uplatnenie hlavne pri sledovaní rovinnosti líniových stavieb.

Rotačné laserové prístroje realizujú referenčnú rovinu alebo výsek tejto roviny. Ich výhodou je zvýšenie efektívnosti práce vytvorením viditeľnej referenčnej roviny alebo jej časti vo vodorovnej, zvislej alebo obecnej polohe. Pre vytvorenie referenčnej roviny používajú pentagonálne a odrazové hranoly. Zvisle uložený zdroj laserového žiarenia vysiela laserový zväzok cez optický člen na rotujúci hranolový systém, ktorý laserový zväzok zalomí pod pravým uhlom a rotovaním vytvorí svetelnú vodorovnú rovinu napr. na stenách zameriavaného objektu vytvorí referenčnú rovinu, ku ktorej možno vzťahovať výšky jednotlivých bodov. Vodorovnosť tejto referenčnej roviny je dosiahnutá krížovými libelami, resp. kompenzátorom. Niektoré prístroje umožňujú ľubovoľný sklon tejto roviny, alebo vytvoriť zvislú rovinu vhodnú napr. na kontrolu zvislosti budovaných alebo existujúcich stien stavebného objektu. Emitujúci laserový lúč môže byť viditeľný i neviditeľný.

V exteriéri na detekovanie laserovej roviny sa používa prijímač (detektor) najčastejšie upevnený na nivelačnej late. Prijímač signalizuje akusticky i opticky polohu laserovej roviny. Jediný rotačný laser môžu využívať všetci pracovníci v dosahu rotačného lasera, ktorí sú vybavení prijímačom [4].

1.3 Vysielače laserového žiarenia

Vysielacia časť môže vysielať buď jednotlivý laserový zväzok v horizontálnej rovine, rotujúci zväzok vo zvislej alebo sklonenej rovine. Hlavná časť vysielača je laser, ktorý je buď HeNe trubcový, alebo v súčasnej dobe používaný diódový, buď neviditeľnom (infračervenom) alebo viditeľnom spektre žiarenia. Dnes prevažne vyrábané diódové vysielače sa líšia od HeNe tým, že zdrojom svetla je laserová dióda, ktorá vysiela na vlnovej dĺžke (780 - 815) nm v neviditeľnom infračervenom spektre žiarenia, alebo na vlnovej dĺžke (632 - 650) nm vo viditeľnom červenom spektre, alebo 532 nm v zelenej farbe. Výhodami laserových diód sú predovšetkým menšie rozmery, a tým menšia hmotnosť a dostatočný pracovný dosah. K uchytieniu laserového vysielača slúži statív, alebo prostriedky pre vytvorenie vertikálnej roviny, rôzne nástavce a podložky.

1.4 Prijímače laserového žiarenia

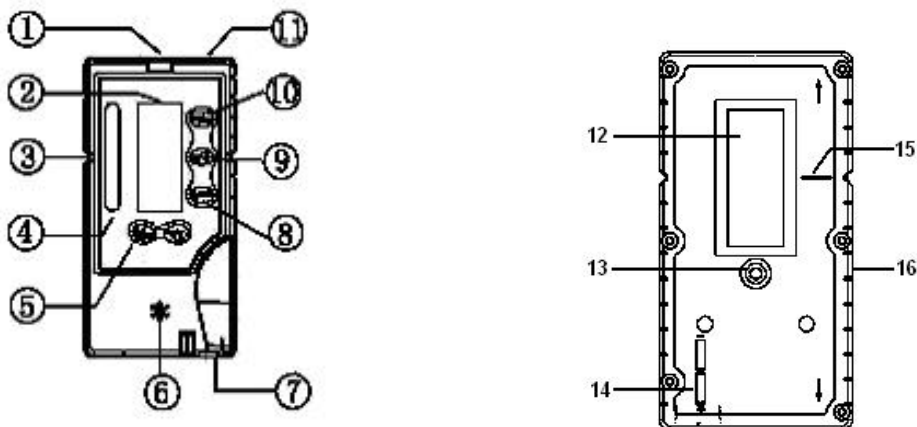
Snímanie stopy laserového zväzku alebo roviny môže byť vizuálne alebo elektronické. Vizuálna detekcia na nepriehľadnom terči je najjednoduchšia. Pri riadení stavebných strojov sa používa v prevažnej miere optoelektronická detekcia, ktorá umožňuje snímať stopu laserovej referenčnej roviny. Najjednoduchšie prijímače sú prenosné detektory (obr. 1, 2). Sú to snímače laserovej stopy (zväzku), umožňujúce snímať polohu rotujúceho laserového zväzku a tým jeho automatické vyhľadanie v priestore. Pribeh laserového lúča je detekovaný fotodiódami a po elektronickom spracovaní signalizovaný svetelnými diódami. Výstupný konektor umožňuje pripojenie pomocného indikátora, resp. inej externej signalizácie. Je prispôbený pre montáž na výsuvnú meraciu tyč, resp. latu, čím umožňuje použitie prístroja pre priame geodetické merania a kontrolu polohu laserového zväzku alebo roviny.



Obr. 1 Snímač FR 44 s držiakom

Snímač FRG 44


- displej 1 x LCD,
- presnosť pri presnom móde snímania ± 1 mm,
- presnosť pri približnom móde snímania ± 3 mm,
- napájanie 3 x batéria AAA.



Obr. 2 Snímač FRG 44

- | | | |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1 - libela | 7 - box na batérie | 12 - displej |
| 2 - displej | 8 - zvuk on/off | 13 - montážny otvor |
| 3 - referenčná drážka | 9 - vysoká/normal | 14 - symbol pre vloženie batérií |
| 4 - snímací otvor | (detekcia presnosti) | 15 - nulová indikačná čiara |
| 5 - On/Off vypínač | 10 - osvetlenie, on/off | 16 - cm- mierka |
| 6 - zvuk, signalizácia | 11 - magnet | |

1.5 Technické parametre testovaných rotačných laserov

FENNEL FLG 250-Green	FENNEL FL 200A-N
<p>Rotačný laser so zelenou laserovou diódou s vysokou viditeľnosťou laserového lúča a pre prípad nevhodných podmienok (veľmi jasné osvetlenie a veľká vzdialenosť) – obr. 3.</p>	<p>Samourovnanie rotačného lasera Fennel FL 200 A-N (obr. 4) je realizované vo vodorovnom aj zvislom smere v interiéroch aj exteriéroch. Jasne viditeľný laserový lúč a funkcia skenovania umožňujú široké využitie pri dokončovacích prácach.</p>
<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Obr. 3 FENNEL FLG 250-Green</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Obr. 4 FENNEL FL 200A-N</p>
<p>Vlastnosti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - laserový nosník so zeleným lúčom, - plnoautomatické samourovnanie vo vodorovnej aj zvislej rovine, - kompaktný a odolný, - rôzna funkcia skenovania – rozsah a smer skenovania je možné nastaviť, - stály 90° zvislý laserový lúč, - funkcia náklonu do daného spádu (TILT), - rozsah náklonu do $\pm 5^\circ$, - používa NiMH dobíjateľné batérie (štandardne) alebo alkalické batérie. 	<p>Vlastnosti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - veľmi rýchle samourovnanie, - plnoautomatizovaná horizontácia, urovanie pomocou podložky, - automatické vypnutie zo zvukovou výstrahou v prípade neurovnanania, - rotačný laserový nosník alebo len bodový laser, - dvojité skenovacie funkcie, - stály zvislý stropný laser, - používa NiMH dobíjateľné batérie (štandardne) alebo alkalické batérie.

<p>Technické parametre:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rozsah samourovnaní $\pm 5^\circ$, - horizontálna presnosť $\pm 1 \text{ mm}/10 \text{ m}$, - vertikálna presnosť $\pm 1,5 \text{ mm}/10 \text{ m}$, - pracovný dosah so snímačom $\geq 250 \text{ m}$, - pracovný dosah bez rotácie a bez snímača - 80 m^*, - pracovný dosah s rotáciami a bez snímača - 60 m^*, - pracovný dosah so skenovaním a bez snímača cca. 40 m^*, * závisí od okolitých svetelných podmienok, - dosah diaľkového ovládane 50 m, - rýchlosti rotácie $120, 500 \text{ ot. / min}$, - rozsah stupňového delenia sklonu po osiach X-Y $\pm 5^\circ (\pm 9\%)$, - doba prevádzky s 6.0 V NiMH - 12 h, - doba prevádzky s $4 \times \text{C Alkalické}$ 30 h, - teplotný rozsah pri práci $0 - 40^\circ \text{C}$, - laserové diódy 635 nm, laserová trieda 3R^{**} **trieda 3R zahrňuje lasery pracujúce v spojitom režime a ich výkon nepresahuje 5 mW, - výstupný výkon laserovej diódy $< 5 \text{ mW}$, - hmotnosť $2,3 \text{ kg}$. 	<p>Technické parametre:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rozsah samourovnaní $\pm 3,5^\circ$, - horizontálna presnosť $\pm 1,5 \text{ mm}/10 \text{ m}$, - vertikálna presnosť $\pm 1,5 \text{ mm}/10 \text{ m}$, - pracovný dosah so snímačom 200 m, - pracovný dosah bez rotácie a bez snímača (50 m^*), - pracovný dosah s rotáciami a bez snímača (20 m^*), - pracovný dosah so skenovaním a bez snímača (30 m^*), * závisí od okolitých svetelných podmienok - napájanie/výdrž batérie - $4 \times \text{D } 1.5\text{NiMH}/20 \text{ h}$, - napájanie/výdrž batérie - alkalické batérie/40h, * závisí od okolitých svetelných podmienok, - teplotný rozsah pri práci $-10^\circ \text{C} - +40^\circ \text{C}$, - laserové diódy 635 nm, laserová trieda 2R^{**}, **trieda 2R zahrňuje lasery pracujúce v spojitom režime vo viditeľnej oblasti spektra a ich výkon nepresahuje 1 mW, - hmotnosť $2,1 \text{ kg}$, - odolnosť voči prachu/vode $\text{IP } 65$. <p>Príslušenstvo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - nabíjateľné batérie, - nabíjačka, - snímač $\text{FR } 45$ s držiakom.
--	---

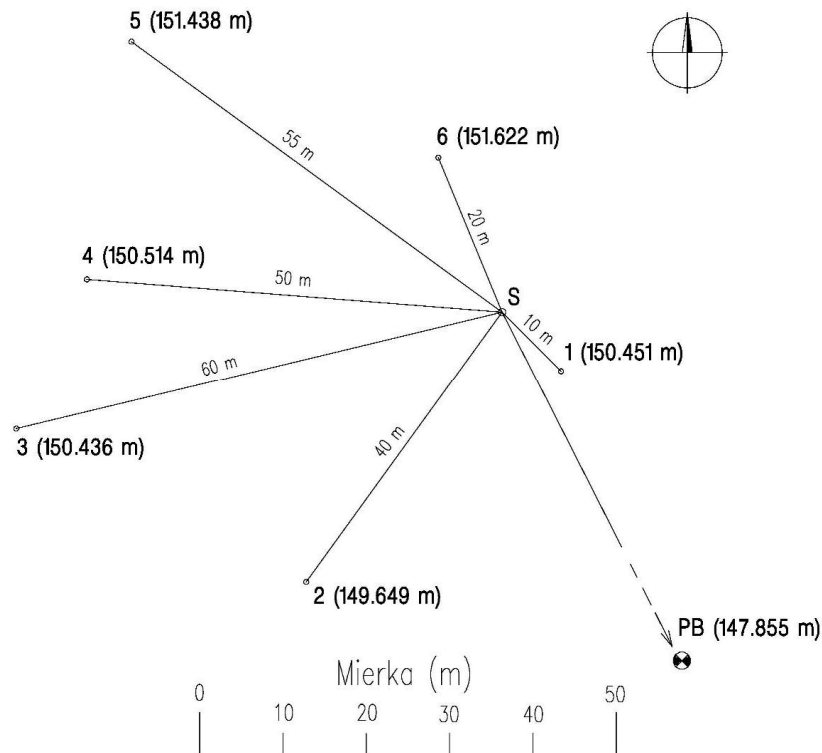
2 TESTOVANIE A KONTROLA KVALITY ROTAČNÝCH LASEROVÝCH PRÍSTROJOV FENNEL FGL 250 – GREEN A FENNEL FL 200A- N

Testovanie oboch prístrojov bolo realizované podľa STN ISO 17123-6 - Optika a optické prístroje - Časť 6: Rotačné lasery. Norma definuje skúšobné postupy (zjednodušené i úplné), ktoré sa použijú pri určovaní presnosti počas používania laserových prístrojov a vybavenia pre meranie vzdialeností od roviny, priamky alebo pri meraní určitého sklonu určeného laserovým lúčom [1, 2].

Je dôležité zabezpečiť aby aj kvalita (presnosť) používaného meračského vybavenia zodpovedala požadovanému meračskému úkonu ešte pred začatím geodetických, kontrolných i overovacích meraní. Výsledky testov sú ovplyvnené meteorologickými podmienkami - zmenami v teplote vzduchu, rýchlosť vetra, oblačnosti a viditeľnosti. Najvhodnejšími podmienkami sú nízka rýchlosť vetra a zamračená obloha. Postup je založený na testovacom poli so známymi prevýšeniami, ktoré sú určené nivelačným prístrojom [6].

2.1 Zjednodušená testovacia metodika

Na testovanie je vhodné vybrať lokalitu, ktorá je málo frekventovaná, so stabilizovanými bodmi. 6 bodov je rozložených vo vzdialenostiach 10 až 60 m od stanoviska prístroja S (obr. 5). Body sú rozložené v uvažovanej ploche vo výseku aspoň 90 stupňov. Neznáme výškové rozdiely medzi bodmi 1 až 6 sa určia nivelačným prístrojom s presnosťou vyššou ako kontrolovaný rotačný laser.



Obr. 5 Grafické znázornenie rozloženia bodov pri testovaní [5]

Každá z dvoch sérií merania v rôznych dňoch pozostáva z piatich samostatných skupín čítania. Medzi skupinami musí byť prestávka min. 10 minút. Na stupnici laty sa číta rovnakým spôsobom aký sa používa na stavenisku. Môže to byť vizuálne čítanie stredu stopy laserového lúča na stupnici laty, alebo sa pre zistenie stredu lúča môže použiť elektronické zariadenie. Registrujú sa podmienky okolia a čas začatia merania každej skupiny. Zmena podmienok prostredia počas doby výstavby môžu spôsobiť, že výsledok testu nebude použiteľný. V tomto prípade sa musí test musí opakovať v nových podmienkach [6].

Nadmorské výšky bodov určených presnou niveláciou:

- nadmorská výška pripojovacieho bodu : $H_{PB} = 147,855$ m,
- nadmorská výška bodu 1: $H_1 = 150,451$ m,
- nadmorská výška bodu 2: $H_2 = 149,649$ m,
- nadmorská výška bodu 3: $H_3 = 150,436$ m,
- nadmorská výška bodu 4: $H_4 = 150,514$ m,
- nadmorská výška bodu 5: $H_5 = 151,438$ m,
- nadmorská výška bodu 6: $H_6 = 151,622$ m.

Prevýšenia medzi bodmi 1, 2, 3, 4, 5 a 6 boli určené niveláčnym prístrojom Zeiss Ni 007 [5]:

$$\begin{aligned} \bar{d}_{2,1} &= +0,802m, \\ \bar{d}_{3,2} &= -0,797m, \\ \bar{d}_{4,3} &= -0,078m, \\ \bar{d}_{5,4} &= -0,924m, \\ \bar{d}_{6,5} &= -0,184m, \\ \Sigma &= +1,170m. \end{aligned}$$

2.2 Zjednodušená testovacia metodika

Pri spracovaní je potrebné najskôr vykonať výpočet kvadratickej strednej chyby meraného prevýšenia medzi dvomi bodmi testovacieho poľa.

Spracovanie a analýza meraní je založená na nasledujúcich výškových rozdieloch:

$$\begin{aligned}d_{j,2,1} &= x_{j,2} - x_{j,1} \\d_{j,3,2} &= x_{j,3} - x_{j,2} \\d_{j,4,3} &= x_{j,4} - x_{j,3} \\d_{j,5,4} &= x_{j,5} - x_{j,4} \\d_{j,6,5} &= x_{j,6} - x_{j,5}\end{aligned} \quad j = 1, \dots, 5, \quad (3.1)$$

kde $d_{j,t,t-1}$ je výškový rozdiel medzi čítaniami $x_{j,1,\dots,6}$ na bodoch testovacieho poľa a

j - poradové číslo série merania na body 1, ..., 6,

$$\begin{aligned}r_{j,2,1} &= \bar{d}_{2,1} - d_{j,2,1} \\r_{j,3,2} &= \bar{d}_{3,2} - d_{j,3,2} \\r_{j,4,3} &= \bar{d}_{4,3} - d_{j,4,3} \\r_{j,5,4} &= \bar{d}_{5,4} - d_{j,5,4} \\r_{j,6,5} &= \bar{d}_{6,5} - d_{j,6,5}\end{aligned} \quad j = 1, \dots, 5, \quad (3.2)$$

kde $r_{j,t,t-1}$ je oprava prevýšenia $d_{j,t,t-1}$ ($t = 2, \dots, 6$ je poradové číslo cieľového bodu) a $\bar{d}_{1,\dots,6}$ sú výškové rozdiely vypočítané z nadmorských výšok určených presnou niveláciou.

Sumu štvorcov všetkých 25 opráv dostaneme zo vzťahu:

$$\sum r^2 = \sum_{j=1}^5 r_{j,2,1}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,3,2}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,4,3}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,5,4}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,6,5}^2 = \sum_{j=1}^5 \sum_{t=2}^6 r_{j,t,t-1}^2 \quad (3.3)$$

Počet stupňov voľnosti vypočítame podľa vzťahu:

$$u = 5 \cdot (6 - 1) = 25 \quad (3.4)$$

Výslednú kvadratickú strednú chybu meraného prevýšenia $d_{j,t,t-1}$ medzi dvomi bodmi testovacieho poľa vypočítame:

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{u}}. \quad (3.5)$$

Táto veličina zahŕňa systematické a náhodné chyby [6].

2.3 Zhodnotenie kvality prístroja Fennel FGL 250 – Green

Podmienky: polooblačno, veterno, teplota 16°C.

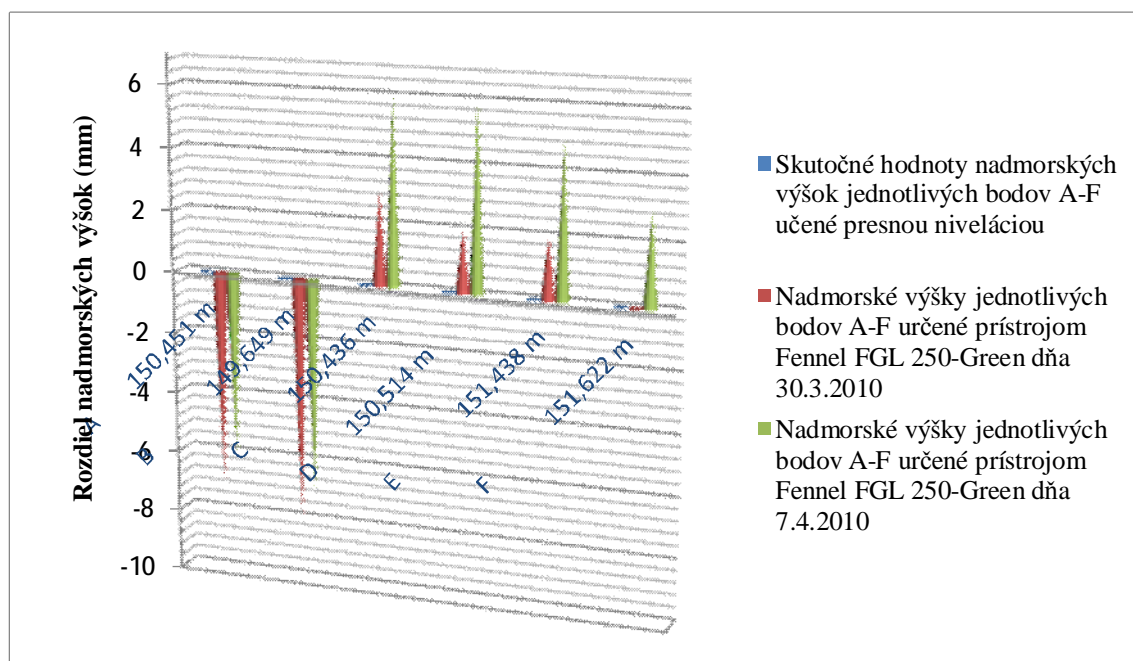
Prístroj: Fennel FGL 250 – Green, v. č. 4615763. Namerané údaje sú uvedené v [5].

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{u}} = \sqrt{\frac{55\text{mm}^2}{25}} = 1,5\text{mm} . \quad (3.6)$$

Podmienky: polooblačno, slabý vietor, teplota 14°C. Prístroj: Fennel FGL 250 – Green, v. č. 4615763.

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{u}} = \sqrt{\frac{47\text{mm}^2}{25}} = 1,4\text{mm} . \quad (3.7)$$

Výsledná presnosť prístroja v prvý deň bola $s=1,5\text{mm}$, a druhý deň $s=1,4\text{mm}$, dĺžky zámer boli väčšie ako 30m. Je možné konštatovať, že testovaný prístroj Fennel FGL 250 – Green spĺňa presnosť, ktorú udáva výrobca prístroja v technických parametroch $\pm 1 \text{ mm}/10\text{m}$. Grafické znázornenie rozdielu medzi nadmorskou výškou bodov A-F určenou presnou niveláciou a výškami kurčenými prístrojom Fennel FGL 250-Green je na obr.6 [5]:



Obr. 6 Graf rozdielov nadmorskej výšky pre prístroj Fennel FGL 250-Green

2.4 Zhodnotenie kvality prístroja Fennel FL 200 A-N

Podmienky: polooblačno, bezvetrie, teplota 21°C.

Prístroj: Fennel FL 200 A-N, v. č. 4531014. Namerané údaje sú uvedené v [5].

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{u}} = \sqrt{\frac{244\text{mm}^2}{25}} = 3,1\text{mm} . \quad (3.8)$$

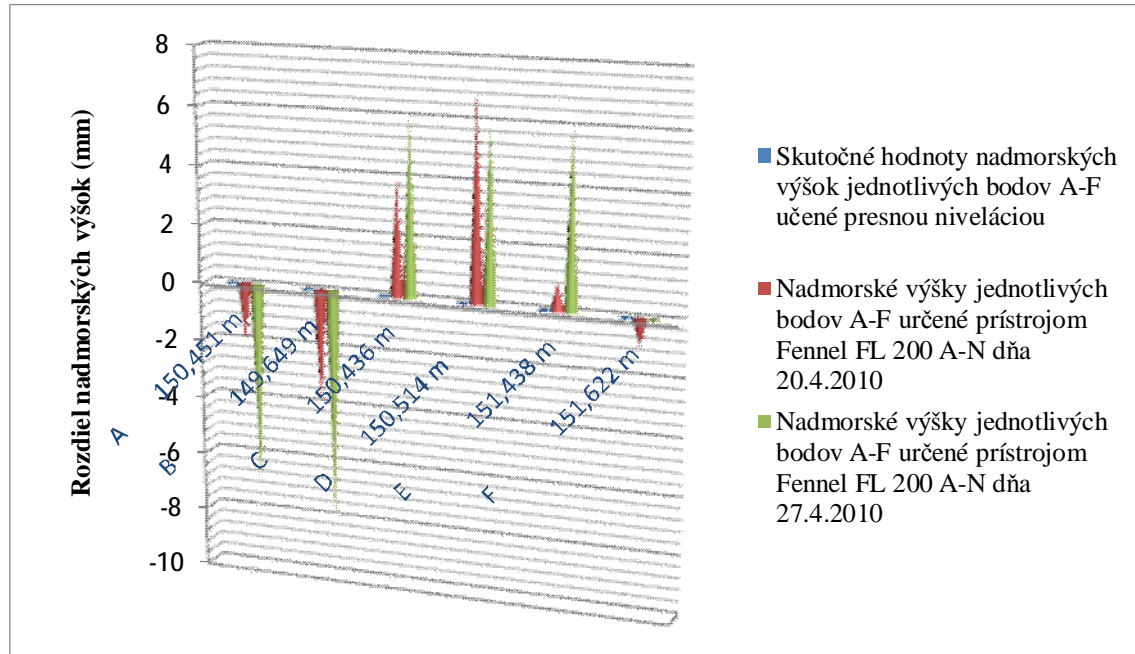
Podmienky: malá oblačnosť, slabý vietor, teplota 24°C.

Prístroj: Fennel FL 200 A-N, v. č. 4531014.

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{u}} = \sqrt{\frac{324\text{mm}^2}{25}} = 3,6\text{mm} . \quad (3.9)$$

Výsledná presnosť prístroja v prvý deň bola $s=3,1\text{mm}$ a druhý deň $s=3,6\text{mm}$ a dĺžky zámer boli väčšie ako 30m. Je možné konštatovať, že testovaný prístroj Fennel FL 200 A-N spĺňa presnosť, ktorú udáva výrobca prístroja v technických parametroch $\pm 1,5 \text{ mm}/10 \text{ m}$.

Grafické znázornenie rozdielu medzi nadmorskou výškou bodov A-F určenou presnou niveláciou a určenými prístrojom Fennel FL 200 A-N je na obr.7 [5]:



Obr. 7 Graf rozdielov nadmorskej výšky pre prístroj Fennel FL 200 A-N

3 ZÁVER

Vývoj automatizovaných systémov merania v súvislosti s najnovšími poznatkami v oblasti elektroniky a optoelektroniky umožnil skonštruovať nové prístroje, ktoré využívajú princípy laserovej techniky. Možnosti a spôsoby merania laserom našli uplatnenie aj v stavebníctve, pri riadení polohy pracovného ramena stavebného stroja pri zemných prácach, terénnych úpravách či betónovaní. Rotačné laserové prístroje vytvárajú svetelnú vodorovnú (sklonenú) rovinu, čo umožňuje definovať referenčnú rovinu vzťahujúcu sa na výškové úrovne dôležité pre ďalšie pracovné postupy v interiéroch aj v exteriéroch. Široké využitie týchto prístrojov predpokladá aj primeranú ich kvalitu. Jej kontrolu a overovanie umožňujú aj medzinárodné technické normy rady „ISO 17123: Optika a optické prístroje – Postupy na skúšanie geodetických prístrojov“ ktoré zahrňujú širokú oblasť existujúcich typov geodetických prístrojov.

Príspevok popisuje postup testovania dvoch rotačných laserových nivelačných prístrojov Fennel FGL 250 – Green a Fennel FL 200 A-N podľa zjednodušenej testovacej metodiky s konštatovaním, že oba prístroje vyhoveli a ich výsledky zodpovedajú kvalitatívnym charakteristikám, ktoré udáva výrobca.

Príspevok bol vytvorený realizáciou grantového projektu agentúry KEGA MŠ SR č. 037STU-4/2016 „Modernizácia a rozvoj technologických zručností vo výučbe geodézie a fotogrametrie.“

Použitá literatura

- [1] JEŽKO, J. : *Nové technické normy na testovanie geodetických prístrojov v praxi*. In: Slovenský geodet a kartograf. - ISSN 1335-4019. - Roč. 15, č. 1 (2010), s. 20 - 22.
- [2] JEŽKO, J. : *Technické normy pre oblasť kontroly a testovania geodetických prístrojov*. In Inžiniersko-priemyselná geodézia 2013 [elektronický zdroj] : Vytyčovanie a kontrolné meranie technologických zariadení. Konferencia s medzinárodnou účasťou. Bratislava, SR, 12.-13.9.2013. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013, s. 9. ISBN 978-80-227-4032-6.
- [3] KAŠPAR, M.- VOŠTOVÁ, V. : *Lasery ve stavebnictví a navigace stroju*. Praha: ČKAIT, 2001. 146 s. ISBN 80-86364-61-5.
- [4] KAŠPAR, M.– POSPÍŠIL, J.: *Využití laserové techniky v investiční výstavbě*. Praha: Nakladatelství dopravy a spoju, 1989. 344 s.
- [5] PILLIAR, M.: *Testovanie rotačných laserových prístrojov podľa STN ISO 17123*. Bakalárska práca, 2013. Vedúci práce: Ing. J. Ježko, PhD., Katedra geodézie, Bratislava, 42s. + 5 príloh.
- [6] STN ISO 17123-6:2003: *Optika a optické prístroje - Postupy na skúšanie geodetických prístrojov - Časť 6: Rotačné laserové prístroje*.