

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ, OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
KATEDRA GEOMATIKY

Název předmětu:

Výuka v terénu z teoretické geodézie

Úloha:

VPN

Název úlohy:

Obnova a zaměření nivelačního pořadu velmi přesnou nivelací

Akademický rok:

2024/2025

Semestr:

letní

Skupina:

1

Vypracoval:

Josef Bořík, Matěj Klimeš
Michal Kovář, Matyáš Pokorný
Filip Roučka, Kryštof Sedlák

Datum:

12. 5. 2025

Klasifikace:

1 Zadání

Cílem této úlohy je obnova a nové zaměření části nivelačního pořadu II. řádu Z7ab Žleb–Kunčice, konkrétně v úseku Nová Seninka – Kladské sedlo, metodou velmi přesné nivelace (VPN). V rámci obnovy mají být provedeny následující činnosti:

- v případě potřeby zřízení nových nivelačních bodů;
- určení převýšení jednotlivých oddílů metodou velmi přesné nivelace (VPN) za použití digitálního nivelačního přístroje Leica a nivelačních lať s čárovým kódem;
- převedení měřených převýšení do výškového systému Bpv (Baltský po vyrovnání);
- vytvoření kompletních nivelačních údajů pro všechny body daného měřeného úseku.

Součástí zpracování úlohy je rovněž gravimetrické měření na vybraných bodech, které umožní výpočet normálních výšek a tíhových anomálií.[1]

2 Informace o měření:

<i>Místo měření:</i>	Nová Seninka (okres Šumperk)
<i>Datum měření:</i>	14. 6. 2025 - nivelace a 17. 6. 2025 - gravimetrie
<i>Povětrnostní podmínky:</i>	jasno, slabý vítr, cca 23°C
<i>Pomůcky:</i>	2× nivelační přístroj Leica Wild NA3003 v.č. 93206 a 93346, gravimetr GAK v.č. 5237, 4× nivelační lať, 2× měřické kolečko 2× stativ, nivelační čepy
<i>Výškový systém:</i>	Bpv (Baltský po vyrovnání)

3 Postup měření

3.1 Nivelační měření

Měření bylo realizováno metodou velmi přesné nivelace (VPN) na části úseku nivelačního pořadu II. řádu v okolí Nové Seninky. Měřická skupina byla rozdělena na dvě samostatné čety, přičemž každá z nich samostatně provedla měření jedné sestavy v obou směrech – tam i zpět. Třetí sestava byla zaměřena společně tak, že směr „tam“ provedla první četa a směr „zpět“ druhá četa. Každá měřická četa pracovala s vlastním nivelačním přístrojem Leica Wild NA3003 a dvojicí nivelačních lať s čárovým kódem. Převýšení bylo určováno ze čtení v pořadí zadní – přední – přední – zadní (BFFB). V případě překročení mezní hodnoty rozdílu mezi dvěma nezávislými výpočty převýšení bylo měření příslušné sestavy opakováno. Záměry byly ve strmějších úsecích drženy maximálně do 20 m, v rovinatějších úsecích až do 40 m, přičemž minimální výška záměry nad terénem byla kontrolována tak, aby neklesla pod 40 cm. Všechny přestavové body byly stabilizovány pomocí kovových nivelačních čepů. Vzdálenosti mezi přestavovými body byly rozměřovány pomocí měřických koleček. Naměřená data byla uložena ve formátu GSI do paměťových modulů přístroje a následně exportována pro další zpracování.

3.2 Tíhové měření

Gravimetrické měření bylo provedeno sovětským gravimetrem GAK s konstantou $C = 4379 \text{ mGal/díl}$. Měření bylo provedeno po třech dvojicích, kdy každá dvojice prováděla měření na výchozím tíhovém

bodu 3408.01, jež je pro účely úlohy totožný s bodem 33.1. Dále bylo měření provedeno na bodech: 34, 35.1, 36.1 a nakonec opět na připojovacím tíhovém bodě 3408.01, aby mohl být určen chod gravimetru. Výsledky všech tří skupin jsou nakonec průměrovány. V průběhu měření byly kromě přístrojem měřené hodnoty zapisovány i teplota uvnitř přístroje a časy jednotlivých čtení.

4 Postup zpracování

4.1 Nivelační měření

Převýšení mezi představovými body bylo spočteno přímo digitálním nivelačním přístrojem. Ten vyhodnotil výsledné převýšení na základě čtyřnásobného odečtu v pořadí BFFB (zadní – přední – přední – zadní) podle vzorce:

$$\Delta h = \frac{(B_1 + B_2) - (F_1 + F_2)}{2}$$

kde B_1, B_2 jsou zadní odečty a F_1, F_2 přední odečty.

V rámci zpracování byla provedena kontrola přesnosti měření porovnáním rozdílu převýšení mezi směrem „tam“ a „zpět“ v každém oddílu. Tento rozdíl byl testován vůči mezní hodnotě přesnosti dle ČSN pro VPN, která je dána vztahem:

$$\Delta_M = 2,25 \cdot \sqrt{R}$$

kde R je délka oddílu v kilometrech.

Dále byl pro každý oddíl vypočten aritmetický průměr převýšení:

$$\Delta h_{\emptyset} = \frac{\Delta h_{\text{TAM}} + \Delta h_{\text{ZPĚT}}}{2}$$

V případě, že rozdíl převýšení ve směrech „tam“ a „zpět“ překročil tuto mezní hodnotu, bylo měření vyhodnoceno jako nevyhovující.[1]

Pro posouzení přesnosti nivelace se počítá směrodatná odchylka kilometrová

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum \rho^2}{R}}$$

kde R je délka oddílu v km a ρ rozdíly převýšení „tam“ vs. „zpět“ v jednotlivých oddílech.

Směrodatná odchylka celého pořadu podle délky [km]

$$m_h = m_0 \sqrt{L}$$

kde L je celková délka pořadu v kilometrech.

Mezní kilometrová směrodatná odchylka pro II. řád

$$m_0 = 0,45 + \frac{0,80}{\sqrt{n}} \quad [\text{mm}]$$

kde n je počet oddílů nivelace.

4.2 Tíhové měření

Naměřená data (čas T_i , vnitřní teplota t_i , čtení přístroje S_i) byla zpracována v těchto krocích:

- Přepočet dílků přístroje na mGal:

$$gr''_i = C S_i, \quad C = 4,379 \text{ mGal/dílek.}$$

- Výpočet chodu přístroje (drift):

$$\delta g_{\text{drift},i} = \frac{\overline{gr''}_{\text{end}} - \overline{gr''}_{\text{start}}}{T_{\text{end}} - T_{\text{start}}} (T_i - T_{\text{start}}).$$

- Aplikace driftové korekce:

$$gr'_i = gr''_i + \delta g_{\text{drift},i}.$$

- Výpočet rozdílů tíhového zrychlení mezi sousedními body:

$$\delta g_{AB} = g_B - g_A.$$

- Výpočet absolutního tíhového zrychlení:

$$g_i = g_{\text{ref}} + (gr'_i - \overline{gr''}_{\text{start}}),$$

kde g_{ref} je referenční hodnota z prvních měření na bodě 3408.01. Přičtením δg_{AB} k referenční hodnotě se získají absolutní hodnoty g_i pro ostatní body.

4.3 Výpočet Normálních (Moloděnského) výšek

Přibližné výšky bodů byly vypočítány pomocí nivelovaného převýšení (h):

$$H_n = H_1 + \sum_{i=1}^n h_i$$

Kde H představuje kumulativní součet výšek jednotlivých bodů h .

Normální ortometrická korekce $c_{\gamma AB}$

Normální ortometrická korekce byla vypočtena jako:

$$c_{\gamma AB} = -0.0000254 \cdot H_s \cdot \Delta B \cdot 0.001$$

kde H_s je střední výška mezi dvěma body a ΔB je rozdíl zeměpisné šířky.

Korekce z tíhových anomálií $c_{\Delta g_{AB}}$

Korekce z tíhových anomálií byla vypočítána podle následujícího postupu:

- Výpočet normálního tíhového zrychlení z Helmertova vzorce:

$$\gamma_0 = 978030 \left(1 + 0.005302 \cdot \sin^2(B) - 0.000007 \cdot \sin^2(2B) \right) \cdot 10^{-5}$$

- Výpočet Fayovy tíhové anomálie:

$$\Delta g_F = g + 0.3086 \cdot 10^{-5} \cdot H - \gamma_0$$

- Průměrná tíhová anomálie mezi nivelovanými body:

$$\Delta g_{F_{AB}} = \frac{\Delta g_{F_1} + \Delta g_{F_2}}{2}$$

- Korekce z tíhové anomálie:

$$c_{\Delta g_{AB}} = 0.0010193 \cdot 10^5 \cdot \Delta g_{F_{AB}} \cdot H_{\text{niv}} \cdot 0.001$$

Výpočet normální Moloděnského výšky

Po výpočtu všech korekcí byla normální převýšení určena podle vztahu:

$$h_Q = H_2 + c_{\gamma_{AB}} + c_{\Delta g_{AB}}$$

A celková normální výška byla získána kumulativním součtem všech korekcí:

$$H_Q = H_2 + \sum c_{\gamma_{AB}} + \sum c_{\Delta g_{AB}}$$

5 Výsledky

5.1 Nivelační měření

Tabulka 1: Výsledky měřených převýšení v jednotlivých oddílech

Oddíl	Sestav	d [m]	h_{TAM} [m]	$h_{\text{ZPĚT}}$ [m]	Δ [mm]	Δ_M [mm]	$\Delta_{M>\Delta}$	h_{\emptyset} [m]
35.1–36.1	8	294,000	12,2223	-12,2221	0,2	1,22	ANO	12,22220
34.1–35.1	16	596,250	21,6124	-21,6126	0,2	1,74	ANO	21,61250
33.1–34.1	16	585,750	17,4958	-17,4961	0,3	1,72	ANO	17,49595

směrodatná odchylka kilometrová

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum \rho^2}{R}} = 0,1697 \text{ mm}$$

5.2 Tíhové měření

Tabulka 2: Výsledky gravimetrických měření

Bod	Měření 1 [mGal]	Měření 2 [mGal]	Měření 3 [mGal]	Průměr [mGal]
3408.01	980938,5930	980938,5930	980938,5930	980938,5930
34	980934,7739	980935,4490	980934,6096	980934,9442
35.1	980931,0715	980931,1590	980931,0757	980931,1021
36.1	980929,3383	980929,2262	980929,2031	980929,2559

5.3 Výsledné výšky

Tabulka 3: Výsledky normálních výšek a korekcí pro body úseku (33.1–36.1).

Bod	H [m]	H_Q [m]	h [m]	h_Q [m]	$c_{\gamma AB}$ [mm]	$c_{\Delta g AB}$ [mm]
33.1	616.595000	616.595000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
34	634.090950	634.091485	17.495950	17.496485	-0.274788	0.809437
35.1	655.703450	655.704744	21.612500	21.613259	-0.281743	1.040906
36.1	667.925650	667.927330	12.222200	12.222587	-0.226936	0.613523

6 Diskuze

6.1 Shrnutí hlavních výsledků:

Všechny oddíly VPN vyhověly limitům ČSN II. řádu – rozdíl $\Delta h_{\text{TAM}} - \Delta h_{\text{ZPT}}$. Naměřené hodnoty gravitačního zrychlení se lišily mezi skupinami vždy o méně než 1 mGal. Výsledkem jsou nově určené výšky určených bodů. Ke všem nově určeným bodům byly vyhotoveny nivelační údaje.

6.2 Problémy s exportem dat:

Při exportu GSI souboru z Leica Wild NA3003 (v. č. 93206) došlo k částečné ztrátě dat, nicméně veškeré výsledky měření byly zapsány již v terénu, a tak nedošlo ke ztrátě výsledků nivelace.

7 Závěr

Podařilo se úspěšně určit výšky všech obnovovaných bodů nivelačního pořadu v systému Bpv.

8 Přílohy

Příloha	Popis	Soubor
Příloha 1	Výpisy z nivelačních přístrojů	Vypisy_z_nivelacnich_pristroju.pdf
Příloha 2	Zápisníky gravimetrických měření	Zapisniky_gravimetrickych_mereni.pdf
Příloha 3	Zpracování měřených tíhových dat	Zpracovani_mernych_tihovach_dat.pdf
Příloha 4	Výpočet normálních výšek	Vypocet_normalnich_vyseku.py
Příloha 5	Kompletní nivelační údaje	Nivelacni_udaje.pdf

Odkazy

- [1] Katedra geomatiky, Fakulta stavební ČVUT v Praze. *Výuka v terénu z teoretické geodézie (155VTTG)*. Studijní materiál, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky. 2025. URL: https://geo.fsv.cvut.cz/gwiki/155VTTG_V%C3%BDuka_v_ter%C3%A9nu_TG.