

## Digitální nivelace v podzemních prostorách

Tomáš Jiříkovský<sup>1</sup>

### Digital Levelling in Subterranean Spaces

For precision levelling works are now more often used digital levels and code-scale staffs. Advantages in (and problems with) their application to the regular line-levelling are well known and described. However, when using the digital levelling for measurements in specific local geodetic networks, monitoring networks and inside of buildings and underground spaces, new problems appear with the signalisation of the observed points, readability of the code (non-uniform illumination), temperature changes etc. The article informs about the application of two types of digital levels (Sokkia SDL-2, Trimble Zeiss DiNi 12T) in the experimental subterranean levelling network for the basement settlement monitoring of a ten-floor building; the solution of marking of the points, field calibration and the system calibration of digital levels.

**Key words:** Precision Levelling. Digital Levels. Code-Scale. Hanging Scale-Bar. Geodetic Monitoring. Subterranean, Underground Spaces

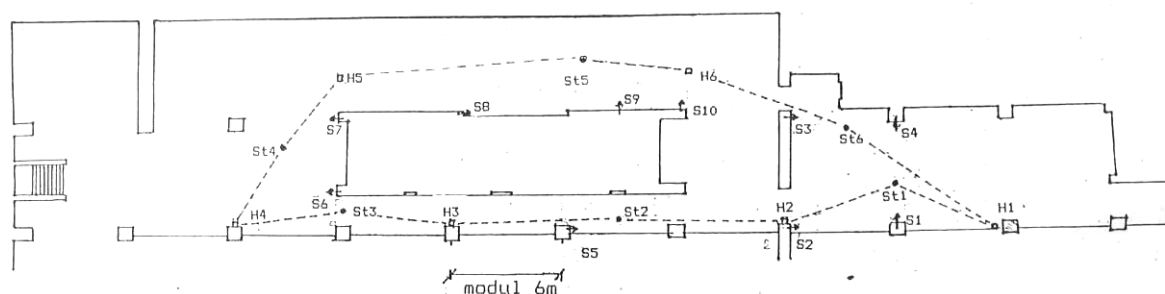
### Úvod

Pro přesné nivelaci práce jsou v dnešní době stále častěji používány digitální nivelaci přístroje a kódové latě. Jejich přednosti i nedostatky v běžné pořadové nivelaci jsou již dobře známy a zdokumentovány. Při aplikaci digitální nivelace ve specifických účelových sítích malého rozsahu, sítích pro monitoring objektů a zvláště pak v interiérech budov a podzemních objektech vznikají nové problémy. Příspěvek informuje o zkušenostech s aplikací dvou typů digitálních nivelaci přístrojů ve výukové podzemní nivelaci síti pro sledování sedání základů desetipodlažní budovy, o řešení stabilizace a signalizace bodů, polní kalibraci a částečně systémové kalibraci digitálních nivelaci přístrojů.

### Testovací nivelaci síť pro sledování svislých posunů

V rámci výuky oboru geodzie a kartografie na Fakultě stavební ČVUT v Praze je vypisována řada specializovaných předmětů. Jedním z nich je volitelný předmět Kontrolní měření a měření posunů. Jedním z úkolů je sledování (simulovaného) sedání základů desetipodlažní budovy měřením nivelaci sítí v podzemním technickém podlaží. Tato úloha představuje příklad přesné speciální nivelaci sítě umístěné ve stísněných podmínkách podzemních prostor.

Jedná se o místní účelovou nivelaci síť pro etapové měření svislých posunů. U takovýchto specifických sítí nelze vždy zcela dodržovat všechna pravidla pro přesnou a velmi přesnou nivelaci (Řezníček et al., 2003) a volí se proto postupy vhodné pro každý konkrétní úkol. Síť se skládá ze šesti bodů vztažné sítě (H1 – H6) a šesti pozorovaných bodů (S1 – S6). Body vztažné sítě tvoří jeden uzavřený výškový pořad. Jednotlivé nivelaci oddíly mezi vztažnými body jsou konfigurovány tak, že je lze zaměřit vždy pouze jednou nivelaci sestavou, přičemž z téhož postavení přístroje lze zaměřit bočně nejbližší pozorované body (Obr. 1). Všechna postavení přístroje – nivelaci sestavy – jsou tedy v každé etapě stejné.



Obr. 1. Schema testovací nivelaci sítě.  
Fig. 1. Scheme of the test levelling network.

<sup>1</sup> Ing. Tomáš Jiříkovský, ČVUT v Praze, Thákurova 7, Praha 6, Česká republika, [tomas.jirikovsky@fsv.cvut.cz](mailto:tomas.jirikovsky@fsv.cvut.cz)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 6. 2. 2007)

Body vztažné sítě jsou stabilizovány malými hřebovými nivelačními značkami v betonové podlaze. Ověřovací a pozorované body na významných prvcích základové železobetonové konstrukce jsou trvale osazeny krátkými stupničkami s milimetrovým dělením (Obr. 2). Některé z nich jsou uzpůsobeny tak, aby umožnily simulovat pokles nebo zdvih (skutečné výškové změny základů budovy fakulty nejsou již měřitelné). Při přesné nivelaci, kdy jsou používány nivelační přístroje s optickým mikrometrem, jsou na stupnici využity pouze dílky po každých celých pěti milimetrech, doměrky jsou pak určovány obvyklým způsobem – tedy optickým mikrometrem.



Obr. 2. Stupnice na pozorovaných bodech.  
Fig. 2. Fixed scale on the measured points.

Bezprostředně před měřením je prováděna komparace nivelačního přístroje, tedy zjištění aktuální nevodornosti záměrné přímky. Početní opravy jsou pak dle délek záměr zaváděny do všech měření. Měření každé etapy probíhá tak, že je současně měřena vztažná síť i pozorované body. Na body vztažné sítě je umísťována nivelační lať s invarovou dvojitou stupnicí. K měření se dosud užívá kompenzátorový nivelační přístroj Zeiss Ni007, popř. velmi přesný Zeiss Ni002. Stupnice lať a pozorovaných bodů v případě potřeby osvětluje laťař ruční svítilnou. Celý pořad se měří dvakrát, "tam a "zpět", pozorované body jsou měřeny bočními záměry.

Při zpracování měření je nejprve posuzována stabilita bodů vztažné sítě (Sabová, Gašincová, 2002) (jeden z bodů zřejmě stabilní není) a poté jsou počítány výškové posuny na jednotlivých pozorovaných bodech.

### Aplikace digitálních nivelačních přístrojů

Pro zaměření etapy 2004 byl poprvé použit digitální nivelační přístroj Sokkia SDL-2 (identický s Zeiss DiNi22 – vyráběn pro asijské trhy firmou Zeiss). Zaměření etapy bylo taktéž provedeno dosud běžně používaným optickým kompenzátorovým přístrojem Zeiss Ni007 – pro možnost srovnání a posouzení výsledků. Nasazení digitálního přístroje mělo ukázat, zda je možné a výhodné použití takových přístrojů pro podobné úkoly – tedy určování svislých posunů bodů, a to i ve ztížených podmínkách podzemních prostor.

Před měřením bylo provedeno testovací měření na pomocném základně pro zjištění sklonu záměrné přímky. Na rozdíl od optického nivelačního přístroje zde byla použita tzv. Förstnerova metoda (viz odstavec Kalibrační základna), přístroj pak zavádí opravu z nevodornosti automaticky ke každému odečtu.

Prvním problémem v tomto konkrétním případě byla skutečnost, že pozorované body jsou osazeny milimetrovými stupnicemi a ne úseky přístrojem čitelného kódu. Bylo navrženo takové řešení, že ke stávajícím stupničkám je dočasně zavěšena kódová stupnice - vždy jen po dobu měření. Stávající stupnice na bodech byly doplněny jen malým šroubkem pro jednoznačné zavěšení nové stupnice. Pro měření byla navržena a vyrobena speciální kombinovaná závěsná stupnice délky 25 cm (Obr. 3).



Obr. 3. Kombinovaná závěsná stupnice.  
Fig. 3. Combined hanging scale-bar.

Ta obsahuje černo-bílou reprodukcí části laťového kódu (v tomto případě standardu Zeiss), vedle milimetrovou stupnici pro jednoduchý optický odečet a vedle ještě silné dílky po pěti milimetrech jako na invarové nivelační lať pro snadné použití optického mikrometru. Zalamovaná stupnice je připevněna na hliníkové destičce a nahoře opatřena centrickým otvorem pro zavěšení. Zavěšováním odpadá starost s přesným urovňáním, neboť toto nastane samo svou vahou.

Postup měření byl shodný jako u optické nivelace. Rozdíl je v tom, že software přístroje umožňuje ihned po doměření nivelačního pořadu v jednom směru zkontrolovat výškový uzávěr a provést vyrovnání celého měření. V některých případech je výhodné tento program využít a ušetřit si řadu výpočtů.

Samotné měření však provázely potíže. Na mnoha pozorovaných bodech nebyl nivelační přístroj vůbec schopen rozpoznat kód a bylo tak nutné odečítat pouze opticky milimetrovou stupnici. A jelikož přístroj není pochopitelně vybaven mikrometrem, desetiny milimetrů se pouze odhadovaly. Na bodech vztažné sítě, kde byla vždy invarová kódová nivelační lať však měření probíhalo bez problémů.

Příčin obtíží bylo více: jednak nerovnoměrné a slabé osvětlení kódové stupnice ve spojení s jejím lesklým povrchem, dále ne zcela přesné rozměry o rozestupy kódových čar způsobené samotným tiskem stupnice na plotteru a deformacemi podložky (papíru či laminovací folie). Ani na tak krátkém úseku neměla stupnice zachované přesné měřítko (zkreslení až 0,8 mm na 25 cm) a hlavně deformace nebyla ani lineární. Pro některé záměry, v závislosti na výšce horizontu přístroje, mohla být také nedostatečná délka laťového úseku pro spolehlivé odečtení kódu (25 cm). Dále jsou digitální přístroje velmi citlivé na přesné zaostření obrazu, při slabším osvětlení ještě více. Někdy přístroj pracoval až po několikerém přeostržení.

Celkově lze tedy první použití digitálního nivelačního přístroje označit za neúspěšné.

Pro další měření v roce – etapě 2005 byla zakoupena originální invarová kódová stupnice Zeiss BD 05. Černožlutý kód je nanesen na 2 mm silném invarovém pásu 500 mm dlouhém a 30 mm širokém. Pás byl nahoře doplněn centrickým otvorem pro zavěšení.

Pro možnost optického měření na závěsných bodech byla stejným způsobem připravena ještě přesná 0,5 metru dlouhá milimetrová stupnice na obdobném nesrážlivém kovovém pásu (KINEX). V případě potřeby je možné zavěšovat tuto stupnici. Nula – tedy počátek kódové i milimetrové stupnice je na dolním okraji a systematický posun (v ideálním případě nulový) je komparací určen a je znám.

Pro samotné měření byl tentokrát použit velmi přesný digitální nivelační přístroj Trimble Zeiss DiNi 12T. Pro osvětlení závěsné stupnice a potřebných laťových úseků bylo použito malé zářivkové svítidlo napájené externím akumulátorem. To se ukázalo jako výhodné, při jeho rovnoměrném bílém světle byl kód nivelačním přístrojem vždy bez jakýchkoliv problémů odečten (Obr. 4). Část měření byla provedena i se staršími přístroji Sokkia SDL-2, Zeiss DiNi22 a ani zde se již problémy s nečitelností kódu jako v minulé etapě neprojevíly.



Rovnoměrné osvětlení stupnice a přesnost a délka kódové stupnice se ukázaly pro měření jako rozhodující. Delší stupnice však vyžadovala delší čas na ustálení ve svislé poloze. V případě i slabého proudění vzduchu, v podzemí častého, je nutné dolní konec pásu upnout nebo opatřit vhodně těžkým závažím pro tlumení kmitů.

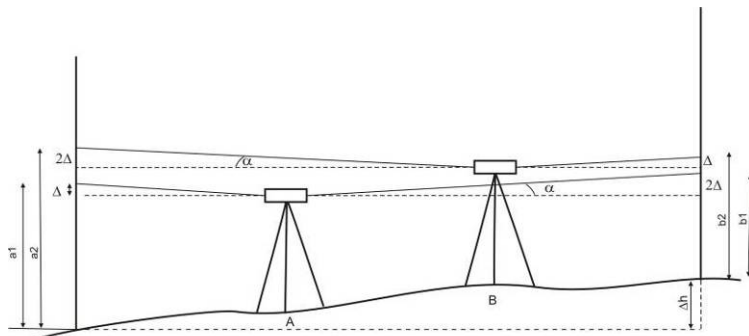
Vybavení použité pro měření etapy 2005 se ukázalo jako vhodné, při měření nenastaly problémy, postup práce byl téměř dvakrát tak rychlý jako s optickým přístrojem Zeiss Ni007 (měřeno souběžně pro kontrolu a ověření), dosažená přesnost s přístrojem DiNi12T přesahovala požadavky zadání (posuzovaly se výškové uzávěry a měřické dvojice), u přístroje Sokkia SDL-2 byla srovnatelná s Zeiss Ni007.

Obr. 4. Invarová závěsná stupnice Zeiss BD 05 s osvětlením.  
Fig. 4. Suspended invar scale Zeiss BD 05 with an illumination..

### Kalibrační základna

Pro výzkum vlivu osvětlení (intenzita, teplota, jas, směr atd.) na čitelnost kódové lať (Kratochvíl, Vyskočil, 2005) byla ve stejném podzemním podlaží budovy Fakulty stavební provedena řada experimentů. Navíc přitom byla vybudována i kalibrační základna pro určování sklonu záměrné přímky nivelačních přístrojů. Ta sestává ze čtyř bodů na přímce vzdálených 15 metrů od sebe (stabilizovány jsou stejným způsobem jako body vztažné sítě). Hlavní výhodou této základny je velmi stálá a rovnoměrná

teplota prostředí. Trvalé osvětlení bodů základny sodíkovými zářivkami je také rovnoměrné a pro měření všemi používanými přístroji dostačující. Základna je vhodná pro běžnou "polní" komparaci nivelačních přístrojů hned několika způsoby. Jako základní je doporučována u nás nepříliš rozšířená tzv. Förstnerova metoda. Výhoda spočívá v symetrii konfigurace, kdy se minimalizuje vliv přeosťování na výsledek komparace. Navíc všechny digitální nivelační přístroje používané na našem pracovišti obsahují software pro tuto metodu. Některé umožňují i podobnou metodu Nähbauerovu, kde je pouze zaměněno postavení přístrojů a lať. Nesymetrický, v našich podmínkách hojně užívaný způsob polní komparace nivelačních přístrojů



programově ošetřují jen některé digitální nivelační přístroje, přičemž tato metoda je i v literatuře označována jako metoda japonská.

Obr. 5. Förstnerova metoda určení sklonu záměrné přímky.

Fig. 5. Förstner method of the line of sight adjustment.

Polní komparaci digitálních nivelačních přístrojů je vhodné provádět před každým měřením, kdy není zachována symetrie délek záměr nebo při bočních záměrech. Stabilita záměrné přímky je totiž podle zkušeností s přístroji Sokkia a Zeiss podstatně nižší než u optických nivelačních přístrojů (Zeiss Ni007). Mění se při transportu přístrojů ale významně i se změnami teploty (zejména Sokkia SDL-2).

### Systémová kalibrace

V optické laboratoři fakulty je v současnosti dokončováno speciální zařízení pro tzv. systémovou kalibraci digitálních nivelačních přístrojů a lať (Vyskočil, 2006). Systémová kalibrace spočívá v automatizovaném, společném proměření chování nivelačního přístroje s konkrétní invarovou lať na velmi přesném laserovém interferometru. Výsledkem tedy není jen aktuální délka laťového metru a popř. hodnota sklonu záměrné přímky přístroje, ale kalibrační protokol s průběhem celkových skutečných odchylek v celé délce lať pro určitou soustavu nivelační přístroj + lať. V protokolu mohou být uvedeny i tzv. kritické hodnoty čtení lať a kritické délky záměr pro určitý přístroj, kde hrozí zvýšená nejistota výsledků. Přípravuje se software pro automatickou opravu záznamu reálného měření podle zjištěné kalibrační křivky. Tím bude možné odstranit další část systematických chyb nivelačního měření a opět o něco zvýšit dosažitelnou přesnost digitální nivelace.

### Závěr

Digitální nivelace může přinést i při speciálních pracích např. v podzemí značnou časovou úsporu. Vyžaduje však zajištění dobrých podmínek. Především rovnoměrné osvětlení a kvalita a délka viditelného laťového kódu jsou pro správnou funkci přístrojů důležité. Vibrace a prašnost prostředí, které v důsledku zhoršují viditelnost kódu, mohou způsobit potíže.

Závěsné stupnice se ukázaly jako výhodné pro případy, kdy není možné nebo vhodné signalizovat na objektu měřené body trvale (např. kvůli menší přesnosti a rozměrové nestálosti papírových nalepovacích stupnic anebo cenové náročnosti invarových stupnic či nemožnosti instalace takových prostředků např. na památkové objekty). Stabilizace malým pevným, např. nastřelovacím hřebem je pak nenápadná a dostatečně stabilní. Stupnice se na něj zavěsí jen na dobu měření. Při zavěšení odpadá starost s urovňáním stupnice do svislé polohy, neboť toto nastane samo. V případě výraznějšího proudění vzduchu je třeba stupnici upnout i na spodním konci anebo opatřit dostatečně hmotným závažíčkem aby se ustálila ve svislé poloze.

Všechny experimenty proběhly za použití různých digitálních nivelačních přístrojů a kódových stupnic a lať standardu Zeiss (Trimble Zeiss). U přístrojů jiných výrobců (zejména Wild/Leica) lze předpokládat podobné výsledky.

### Literatura

- [1] Böhm, J., Svoboda, J.: Geometrická nivelace. Praha: SNTL, 1960. 288 s. 301-03-4.
- [2] Čech, V., Novák, Z., Vorel, V.: Určení svislých posunů stavebního objektu metodou přesné nivelace. *Sylaby pro Kontrolní měření - ČVUT, Praha, 2005.*

- [3] Kratochvíl, J., Vyskočil, Z.: Základna pro kalibraci digitálních nivelačních přístrojů. *Seminární práce pro Kontrolní měření a měření posunů – ČVUT, Praha, 2005, 19s.*
- [4] Řezníček, J., et al.: Metodický návod pro práce v ČSNS. *Praha: ZÚ, 2003. 46 s.*
- [5] Sabová, J., Gašincová, S.: Výškové zmeny zo spracovania opakovaných nivelácií. *Zborník referátů 9. důlně - měřičské konference "Aktuální problémy důlního měřičství a geologie, Skalský Dvůr, 2002.*
- [6] Vyskočil, Z.: Systémová kalibrace nivelačních přístrojů. *Studie k disertační práci – ČVUT, Praha, 2006, 28s.*