

TEORETICKÉ A PRAKTICKÉ ZÁKLADY OVEROVANIA STABILITY VZŤAŽNÝCH VÝŠKOVÝCH BODOV PRI MERANÍ ZVISLÝCH POSUNOV VODNÝCH STAVIEB

Štefan Lukáč¹, Milan Žák², Peter Lužák³

Abstrakt

Príspevok komplexne charakterizuje a rozvádza teoretické a praktické základy overovania stability vzťažných výškových bodov pri meraní zvislých posunov vodných stavieb. Po úvodnej kapitole uvádza vplyvy výstavby a prevádzky vodnej stavby na sadanie a rozoberá výber vhodných miest na stabilizáciu vzťažných bodov. V nosnej štvrtej kapitole definuje jednotlivé možné vzťažné sústavy na určovanie absolútnych zvislých posunov vodných stavieb. V piatej kapitole uvádza konkrétne príklady konfigurácií a voľby vzťažných sústav na vybraných vodných stavbách I. kategórie v Slovenskej republike.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Jedným z hlavných problémov, ktoré je potrebné riešiť pri geodetickom určovaní absolútnych zvislých posunov vodohospodárskych objektov je otázka stability vzťažných bodov a tvorba vzťažného systému. Táto pomerne zložitá problematika nemala hlavne v minulosti jednoznačné riešenie a preto sme sa rozhodli v tomto príspevku ju čiastočne charakterizovať a naznačiť možné riešenia bez nároku na úplnosť. Vzťažné body tvoria vo všeobecnosti základ merania zvislých posunov vodohospodárskych stavieb. Mali by byť rozmiestnené a vybudované tak, aby umožňovali určovať zvislé zmeny pozorovaných bodov s vyžadovanou presnosťou a aby po celé obdobie etapových meraní posunov zachovali nezmenenú výšku. Splnenie ostatnej požiadavky ako to dokazujú praktické skúsenosti je nemožné. Pôsobením rôznych faktorov dochádza ku zmenám výšok prakticky všetkých vzťažných bodov aj keď u niektorých sú to len mikropohyby, resp. veľmi malé hodnoty na úrovni presnosti metódy merania.

Na základe uvedeného je potrebné pred etapovým meraním zvislých posunov pozorovaných bodov vodohospodárskej stavby vykonať, tzv. overenie stability vzťažných výškových bodov. **Treba jednoznačne povedať, že na určenie relatívnych zvislých posunov objektu nemá spôsob posudzovania, či overenia stability vzťažných bodov žiadny vplyv.** Relatívne zmeny, či posuny objektu môžeme určiť aj bez vzťažných bodov, pričom stačí, keď zvolíme jeden pozorovaný bod za vzťažný pre ostatné pozorované body vo všetkých etapách merania posunov.

¹ Ing. Štefan Lukáč, Katedra geodézie Stavebnej fakulty STU, e-mail: stefan.lukac@stuba.sk

² Ing. Milan Žák, GEOIG, s.r.o., Smolenice, e-mail: milan.zak@geoig.sk

³ Ing. Peter Lužák, Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava, e-mail: peter.luzak@vzb.sk

Výber metódy riešenia stability vzťažných výškových bodov a tvorba vzťažnej sústavy má vplyv na určenie, tzv. absolútnych zvislých posunov vodohospodárskej stavby. Na riešenie otázky stability vzťažných bodov je určujúcou úlohou zistiť, ako sa chová základová pôda účinkami vodnej stavby. Vieme, že základová pôda sa deformuje vplyvom stavebnej činnosti, hmotnosti zabudovaného materiálu v priehradovom telese, hmotnosti zabudovaných technologických zariadení, hmotnosti vody vo vodnej nádrži nad priehradou, ale mení svoju priestorovú polohu aj v dôsledku činiteľov nezávislých na meranom objekte, t.j.: pohybmi zemskej kôry,

- zmenou výšky hladiny podzemnej vody,
- množstvom zrážok,
- tektonickými pohybmi,
- sezónnymi zmenami teploty,
- sezónnymi zmenami vlhkosti,
- zmenami tlaku vzduchu.

Metód na skúmanie, či overovanie stability vzťažných bodov je viacero a boli pomenované podľa autorov: Costăchela, Runova, Černikova, Lazzariniho, Pelzera, Marčáka a ďalších. Ich spoločným znakom je to, že sa zakladajú na porovnávaní meraných prevýšení (po vyrovnaní) zo základného a aktuálneho etapového merania. Jednotlivé metódy sa odlišujú kritériami na zisťovanie nestabilných bodov a spôsobom tvorby vzťažnej sústavy.

2 VPLYVY VÝSTAVBY A PREVÁDZKY VODNÝCH STAVIEB NA SADANIE

Základová pôda je časť geologického prostredia, ktorá spolupôsobí so stavebnou konštrukciou (STN 73 1001). Je tvorená vrstvami rôznych druhov zemín. Pod pojmom základová pôda rozumieme sled, priestorové usporiadanie a vlastnosti jednotlivých druhov hornín, hodnotené na vymedzenej, resp. konkrétnej lokalite z hľadiska druhu výstavby do hĺbky, do ktorej zasahujú účinky projektovaných vodných stavieb a objektov. **Základové pomery** sú výsledkom štyroch základných faktorov: prírodného geologického prostredia, vody, geodynamických procesov a reliéfu terénu.

Zaťaženia podložia od stavebných objektov a technologických zariadení vnášajú do základovej pôdy sily, ktoré vyvolávajú zmeny stavu napätosti a teda aj deformácie. Tieto deformácie sa prenášajú späť na stavebné konštrukcie. Výsledné deformácie závisia od deformačných vlastností podložia a od absolútnej veľkosti a vzájomného pomeru pôvodného zaťaženia a prítlačenia v základovej pôde. Deformácie podložia vyvolávajú zvislé aj vodorovné posuny ako aj pootočenie základov. Pri väčšine stavebných konštrukcií majú najväčšie hodnoty zvislé posuny. Tieto zvislé posuny základov objektov nazývame sadaním. Na základe dlhodobých skúseností z merania a vyhodnocovania zvislých posunov vodných stavieb sa ukazuje, že v štádiu prevádzky vodnej stavby má výška hladiny vody vo vodnej nádrži rozhodujúci vplyv na sadanie objektu priehradového telesa i jeho objektov.

Rozoznávame niekoľko druhov sadania: okamžité, konsolidačné a dlhodobé sadanie. **Okamžité sadanie** prebehne v základovej pôde, či zemine bezprostredne po nanesení zaťaženia bez objemových zmien, najmä v dôsledku náhleho vzrastu šmykových napätí. **Konsolidačné sadanie** je vyvolané vzrastom objektívnych tlakových napätí. Nastáva ako dôsledok konsolidácie zeminy a je spojené s vytlačením prebytočnej vody z pórov. Trvanie konsolidácie závisí od stlačiteľnosti, priepustnosti a stupňa nasýtenia zeminy. **Dlhodobé**

(sekundárne) sadanie prebieha po ukončení hydraulickéj konsolidácie. Pripisuje sa plastickým deformáciám štruktúry. Významnejšie hodnoty dosahuje pri vysoko-plastických íloch.

3 VÝBER VHODNÝCH MIEST NA STABILIZÁCIU VZŤAŽNÝCH BODOV

Pri navrhovaní vhodných miest pre stabilizáciu vzťazných výškových bodov pri meraní zvislých posunov vodných stavieb je potrebné okrem vplyvov uvedených v predošlej kapitole zvažovať aj prírodné svahové pohyby a zosúvanie svahov umele vytvorených násypov a výkopov. Porušenie rovnováhy predmetných svahov môže byť spôsobené vzrastom nasledovných aktívnych činiteľov: zaťažením svahu stavebným objektom, rastom vlastnej hmotnosti zeminy zvýšenou vlhkosťou, vznikom priesakového tlaku vody a pod.

Vo všeobecnosti sa odporúča, aby v miestach stabilizácie vzťazných výškových bodov bola hladina podzemnej vody v hĺbke aspoň 5,00 m pod povrchom a 1,00 m pod päťou uvažovaného druhu stabilizácie. Z geomorfologického hľadiska sú na stabilizáciu vzťazných výškových bodov vhodné rovinné územia s vyvýšenými miestami ako aj ploché vrcholy terénnej vlny. Nevhodné miesta na stabilizáciu vzťazných výškových bodov sú ľahko zvetrávajúce horniny, neúnosné základové pôdy, močiare, zaplavované územia s vysokou hladinou podzemnej vody. Nevhodné sú taktiež okraje svahov, násypov, územia v blízkosti vodných tokov, vodných diel, priemyselných závodov ako aj poddolované územia. Vzťazné výškové body nestabilizujeme v blízkosti podzemných vedení a ani blízko stromov, pretože rozrastajúce sa korene môžu narušiť stabilitu predmetného bodu.

Pri navrhovaní stabilizácie vzťazných bodov na stavebných objektoch treba vylučovať budovy, ktoré sú postavené na neúnosných základových pôdach, budovy s trhlinami svedčiacimi o ich sadaní a postavené z menej pevných materiálov. Základy objektov, na ktoré osadzujeme vzťazné výškové body by mali byť aspoň 1,00 m hlboké a aby ich poloha nebola rušená mrazovými účinkami. Neodporúčajú sa taktiež budovy vystavené neustálym otrasom. Na stabilizáciu vzťazných výškových bodov vyberáme budovy s hlbšími základmi, podpivničené a postavené na únosných základových pôdach, budovy v dobrom stave a bez trhlín. Pri výbere vhodnej budovy nerozhoduje pritom veľkosť budovy v takej miere, ako materiál, z ktorého je budova vyhotovená. Z toho hľadiska preto uprednostňujeme budovy betónové alebo postavené z tehál, avšak so základmi z kameňa, resp. železobetónu. Vybrané budovy by mali byť staršie ako 10 rokov a v záujme ochrany výškových značiek bodov vyberáme verejné budovy. Ak nemáme inú možnosť, potom môžeme na stabilizáciu vzťazných bodov použiť aj veľké masívne mosty, podpory ktorých sú založené na únosnej základovej pôde, alebo hlboko založené základy mostných podpier.

Pri navrhovaní umiestnenia vzťazných bodov a projektovaní apriórnej presnosti merania posunov geodetickými metódami je nevyhnutné zvažovať aj tú skutočnosť, že výsledkom výpočtov očakávaných (projektovaných) zvislých posunov sú spravidla väčšie hodnoty, ako sa spravidla následným geodetickým meraním dosiahnu, či preukážu. Je to spôsobené tým, že do výpočtov sa dosadzujú nadsadené hodnoty zaťaženia, ďalej tým, že vzorky zeminy sa pri laboratórnych skúškach chovajú inak, ako základová pôda v prírode ako aj tým, že pri odbere vzoriek pôdy dochádza k ich porušeniu a tým sa pri laboratórnom vyšetrení získajú nepriaznivejšie charakteristiky stlačiteľnosti zeminy.

4 VZŤAŽNÁ SÚSTAVA NA URČOVANIE ABSOLÚTNYCH ZVISLÝCH POSUNOV

Vzťažné výškové body, z ktorých sa vytvára vzťažná sústava by sa mali nachádzať mimo dosahu vplyvov a okolností spôsobujúcich zvislé posuny pozorovaných bodov vodných stavieb. Vzťažné výškové body by mali byť rozmiestnené a vybudované tak, aby vykazovali len tie pohyby, ktoré má blok zemskej kôry, na ktorom sú vybudované. Vzťažné body by mali byť vybudované tak, aby po celú dobu opakovaných geodetických meraní zvislých posunov nezmenili svoju výšku. **Dlhodobé skúsenosti však ukazujú, že aj v dôsledku fyzikálnych a antropogénnych vplyvov často dochádza k ich mikroposunom. A práve preto sa v súčasnosti dostávajú do popredia také spôsoby vytvárania vzťažných sústav, pri ktorých sa nepredpokladá absolútna stabilita žiadneho zo vzťažných bodov.** Pomocou testovacích kritérií identifikujeme tie vzťažné výškové body, o ktorých môžeme s praktickou istotou tvrdiť, že zmenili svoju pôvodnú výšku. Potom zo vzťažných výškových bodov spĺňajúcich podmienku stálosti vytvoríme vzťažnú sústavu.

Vzťažná sústava je súbor vybraných bodov, ktoré sú vo vzájomnom matematickom vzťahu. K tejto sústave sa vzťahujú výšky všetkých zameraných pozorovaných bodov, resp. zvislé posuny pozorovaných bodov v konkrétnych etapách merania. Vzťažné sústavy, v ktorých sa vyjadrujú absolútne zvislé posuny sa vytvárajú primeraným počtom vzťažných bodov a definujú sa aritmetickým priemerom, regresnou priamkou (krivkou, rovinou) a podobne. Všeobecne možno povedať, že vzťažnou sústavou je v každom prípade rovina (plocha). Rozdiely sú v tom, ako je táto rovina definovaná. V zásade existujú štyri možnosti.

4.1 VZŤAŽNÁ SÚSTAVA DEFINOVANÁ JEDNÝM BODOM

Tento prípad môžeme rozdeliť do dvoch podskupín:

- a) vzťažným bodom je stále ten istý bod za predpokladu, že nebola dokázaná zmena jeho výšky,
- b) vzťažným bodom je najstabilnejší bod siete.

Referenčná plocha je potom preložená bodom, ktorý sa na základe prijatej hypotézy zvolí za základ sústavy, v ktorej sa vyčíslujú posuny ostatných vzťažných aj pozorovaných bodov. V minulosti uplatňovaná teória o jedinom vzťažnom bode, vybudovanom na konkrétnej lokalite vodnej stavby sa pri meraní a vyhodnocovaní zvislých posunov vodných stavieb I. kategórie nepripúšťa.

V prípade uvedenom v bode a) sa ostatné vzťažné body využívajú len na overenie stability pri základnom meraní zvoleného vzťažného bodu, ktorým je definovaná vzťažná sústava. V podstate tento spôsob riešenia zabráni vzniku prípadnej hrubej chyby, spôsobenej veľkým zvislým posunom vzťažného bodu, používaného na tvorbu vzťažnej sústavy. Avšak hodnota jeho mikroposunu ovplyvní posuny pozorovaných bodov.

Prípad uvedený v bode b) možno deliť podľa testovacích kritérií, použitých na výber najstabilnejšieho bodu. V prvom rade záleží na tom, či sa najstabilnejší bod vyberá zo všetkých vzťažných bodov alebo z tých vzťažných bodov, ktorým nebol dokázaný posun po vylúčení bodov, ktorým na základe zvolených kritérií bol posun na zvolenej hladine významnosti dokázaný. V druhom rade záleží na výbere testovacieho kritéria na výber

najstabilnejšieho bodu. Viacerí autori používajú kritérium $\Sigma v_v = \min$. Taktiež je možné testovať pomocou hodnoty $\Sigma \Delta h / (n-1)$, či hodnoty $\Sigma |\Delta h|$, ako aj iných kritérií.

4.2 VZŤAŽNÁ SÚSTAVA DEFINOVANÁ VODOROVNOU PRIAMKOU

Tento prípad riešenia je možné rozdeliť do dvoch podskupín:

- a) vodorovná priamka je preložená ťažiskom všetkých bodov siete,
- b) vodorovná priamka je preložená ťažiskom stabilných bodov siete, t.j. tých, ktoré vyhovujú testovacím kritériám stability.

Východiskovým matematickým modelom je karteziánsky súradnicový systém vo zvislej rovine s osami X a H. Súradnice X_i jednotlivých bodov predstavujú dĺžky v metroch, prípadne počty nivelačných zostáv (N) od vzťažného bodu, ktorý je zvolený za počiatok po príslušný vzťažný bod. Súradnice H_i sú zmeny prevýšení jednotlivých vzťažných bodov vzhľadom na bod zvolený za počiatok, medzi etapovým a základným meraním.

Vzťažná sústava je definovaná vodorovnou priamkou prechádzajúcou ťažiskom uvažovaných bodov:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$$

Na určenie hodnoty H možno použiť všetky vzťažné body alebo len body, ktorých mikroposuny neprekročili hodnotu testovacieho kritéria, t.j. tzv. stabilné vzťažné body. Použitie všetkých bodov sa zdôvodňuje tým, že ak nie je dôvod veriť stabilite vzťažných bodov, z ktorých každý s rovnakou pravdepodobnosťou môže meniť svoju výšku, tak je vhodné považovať za stabilný priemer výšok všetkých bodov. Na určenie výšok sa teda rovnakou mierou podieľajú stabilné body a aj body, ktoré zmenili svoju výšku. To však skresľuje výsledky určenia absolútnych zvislých posunov stavby.

4.3 VZŤAŽNÁ SÚSTAVA DEFINOVANÁ PRIAMKOU VO VŠEOBECNEJ POLOHE

Tento prípad riešenia je možné rozdeliť do dvoch podskupín:

- a) parametre šikmej priamky sú odhadnuté metódou najmenších štvorcov (MNŠ),
- b) šikmá vzťažná priamka, ktorej parametre sú odhadnuté niektorým z robustných odhadov metódy najmenšej sumy absolútnych hodnôt reziduí (MNAS).

Šikmú priamku ako základ vzťažnej sústavy možno použiť v prípade, keď sieť vzťažných bodov je vybudovaná v tvare jednej čiary (otvorený ťah), čo prichádza do úvahy v prípadoch merania zvislých posunov niektorých líniových stavieb. V blízkosti tejto čiary by sa mali nachádzať aj pozorované body. Použitie tohto spôsobu tvorby vzťažnej sústavy sa zdôvodňuje existenciou korelácie reziduí pri použití vodorovnej priamky ako vzťažnej sústavy [1].

Analyzujeme stručne prítomnosť korelácie v rezíduách pri vodorovnej vzťažnej priamke. Uvažujeme, že merania zvislých posunov boli na konkrétnej líniovej stavbe realizované metódou veľmi presnej nivelácie. Zmeny prevýšení medzi vzťažnými bodmi môžu byť korelované v zásade z dvoch dôvodov:

- prítomnosťou neobjavených systematických chýb merania vo výsledkoch (aj po vyrovnaní),
- zmenou sklonu časti zemského povrchu, na ktorej sa realizuje meranie zvislých posunov.

Keď použitím šikmej vzťažnej priamky eliminujeme (aspoň čiastočne) vplyv systematických chýb merania, vedie predmetné riešenie k objektívnejším výsledkom ako použitie vodorovnej vzťažnej priamky. Keď použitím šikmej vzťažnej priamky eliminujeme zmenu sklonu časti zemského povrchu, na ktorom sa realizuje určovanie absolútnych zvislých posunov, tak výsledky meraní týmto znehodnocujeme.

4.4 VZŤAŽNÁ SÚSTAVA DEFINOVANÁ ROVINOU VO VŠEOBECNEJ POLOHE

Pri plošnej konfigurácii siete vzťažných bodov nie je možné použiť šikmú vzťažnú priamku. V takom prípade je potrebné použiť ako referenčnú sústavu rovinu vo všeobecnej polohe. Vytvoriť takýto matematický model a numericky ho riešiť súčasnou výpočtovou technikou nie je dnes žiadny problém. Nevyhnutným predpokladom tohto riešenia je však znalosť rovinných súradníc X a Y všetkých vzťažných a pozorovaných bodov. Použiť možno aj ľubovoľnú lokálnu súradnicovú sústavu, prípadne súradnice bodov možno určiť kartometricky z vhodného mapového podkladu. Takto získané polohové súradnice bodov potom používame vo všetkých nasledujúcich etapových meraniach zvislých posunov.

Za predpokladu, že výsledky meraní zvislých posunov sú očistené od systematických chýb, poskytuje kombinácia viacerých postupov zaujímavé možnosti interpretácie posunov pozorovaných bodov. Celkový posun Δh , určený postupom, keď je vzťažná sústava definovaná vodorovnou rovinou preloženou ťažiskom stabilných vzťažných bodov môžeme rozčleniť na časť Δh_1 spôsobenú vplyvmi nezávislými na pozorovanej stavbe a časť Δh_2 (rezídium), ktorá je spôsobená náhodnými chybami merania a vplyvom pôsobenia pozorovaného objektu, či stavby. Hodnoty Δh vzťažných bodov sú výsledkom pôsobenia náhodných chýb merania, rozdielnym vplyvom systematických chýb, zmenou sklonu celého reliéfu terénu konkrétnej lokality spôsobeného geodynamickými procesmi častí zemskej kôry, zmenou výšok jednotlivých vzťažných bodov v dôsledku ďalších fyzikálnych faktorov a antropogénnymi vplyvmi, všetko v čase medzi meraním v uvažovanej etape merania a základným meraním.

Rozdiely vo výškach pozorovaných bodov sú spôsobené náhodnými chybami merania prevýšení medzi vzťažnými a pozorovanými bodmi, rozdielnym pôsobením systematických chýb pri základnom a etapovom meraní, zmenou sklonu povrchu časti zemskej kôry za uvažované obdobie, nepresnosťami v určení vzťažnej sústavy, zmenou výšok pozorovaných bodov v dôsledku zmien zaťaženia zeminy spôsobeného výstavbou, či prevádzkou pozorovaného objektu, či stavby.

Ak stručne zhrnieme skôr uvedené skutočnosti môžeme konštatovať, že namerané hodnoty zvislých posunov Δh obsahujú časť spôsobenú meračskými chybami, časť spôsobenú faktormi nezávislými od meraného objektu a časť spôsobenú meraným objektom.

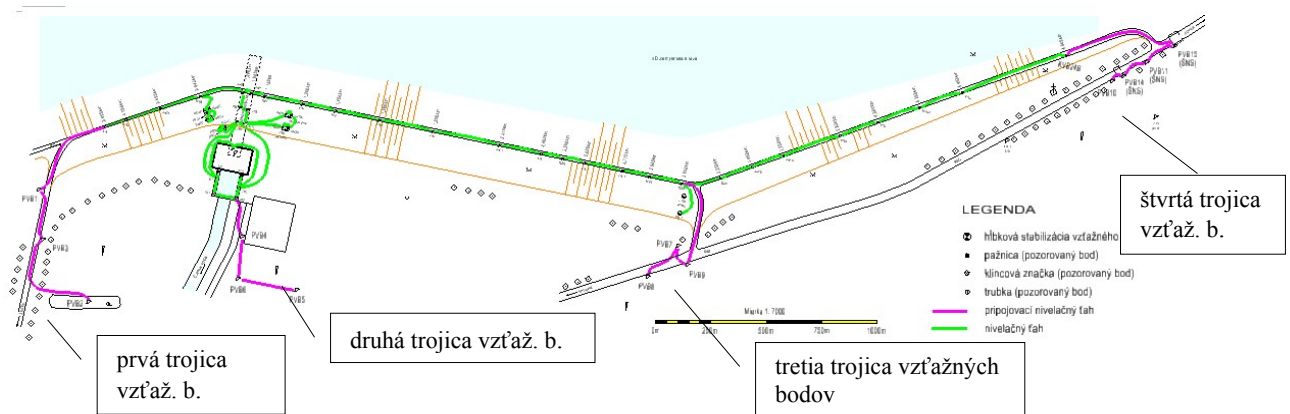
Vzťažnú sústavu v zmysle STN 730405 definujeme na základe podmienky $\Sigma\Delta h^2 = \min$, kde Δh sú posuny vzťažných bodov vzhľadom k vzťažnému systému, použité pri jeho aproximácii. Pre aproximáciu sa použijú všetky vzťažné body, pre ktoré nebola testovaním štatistických hypotéz preukázaná zmena ich výšky.

V danej problematike by sme sa mali riadiť kľúčovou technickou normou na meranie posunov a to STN 730405 Meranie posunov stavebných objektov. V článku 5 predmetnej normy je uvedené: „Pre každý stavebný objekt, ktorého posuny sa majú merať sa vypracuje projekt merania posunov.“ V projekte okrem iného by mal byť aj konkrétny postup, ako overiť stabilitu vzťažných bodov, resp. akou metódou určiť vzťažný výškový horizont.

5 KONKRÉTNE PRÍKLADY KONFIGURÁCIÍ A VOĽBY VZŤAŽNÝCH SÚSTAV NA VYBRANÝCH VODNÝCH STAVBÁCH

Na vodnej stavbe Zemplínska Šírava a jej 5 km dlhej východnej hrádze bola vybudovaná sústava vzťažných bodov v štyroch skupinách, vždy trojica vzťažných bodov pozdĺž hrádze. Vzťažné body slúžia výlučne na meranie zvislých posunov.

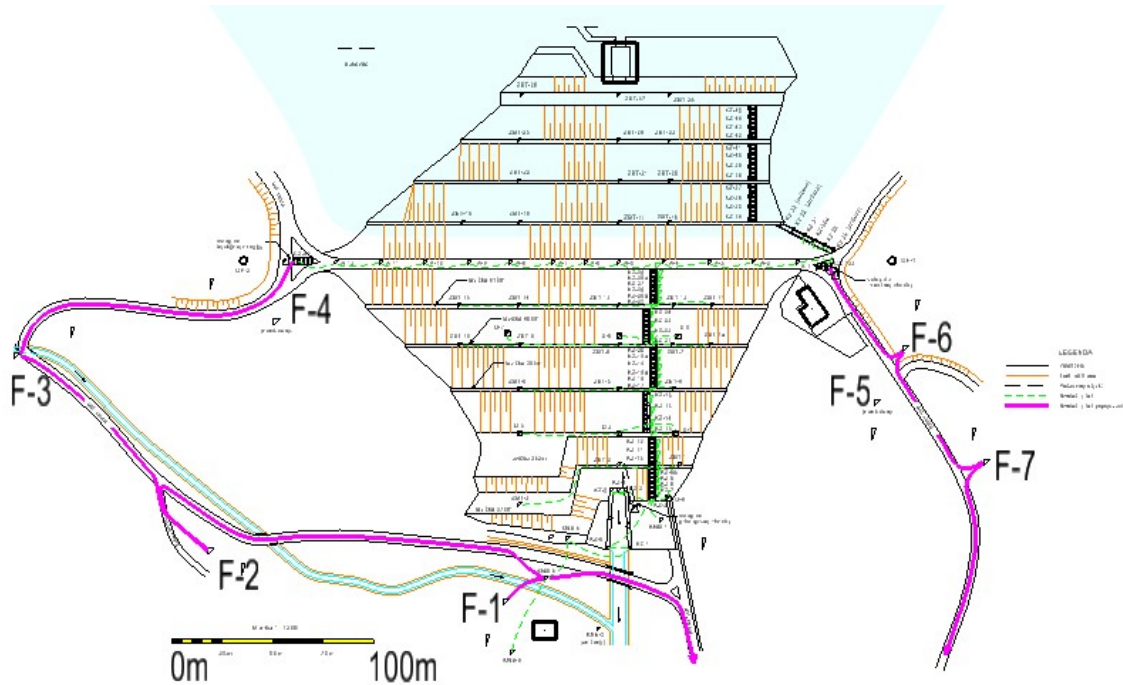
Prvá trojica vzťažných bodov sa nachádza pri ceste a v poli, druhá trojica sa nachádza v poli, tretia a štvrtá trojica sa nachádza pri ceste Hnojné - Jovsa. Vzťažnú sústavu definujeme na základe zjednodušenej podmienky $\Delta h = 0$, kde Δh sú posuny vzťažných bodov vzhľadom k vzťažnému systému, použité pri jeho aproximácii. Pre aproximáciu sa použijú všetky vzťažné body, pre ktoré nebola testovaním štatistických hypotéz preukázaná zmena ich výšky. Pri vzťažných bodoch, pri ktorých nenastala signifikantná zmena výšky, môžeme ich výšku do vyrovnania zafixovať. Tým dosiahneme to, že na niekoľkých vzťažných bodoch sa nám výška voči predchádzajúcej etape merania nezmení. Pre tento konkrétny príklad to býva spravidla z celkového počtu 12 vzťažných bodov 5 až 6 bodov. Prípady, kedy všetky vzťažné body zmenia svoju výšku, nebýva veľmi prijateľný pre statikov, geotechnikov a ďalšie profesie zaoberajúce sa interpretáciou výsledkov geodetických meraní.



Obr. 1 Východná hrádza vodnej stavby Zemplínska Šírava

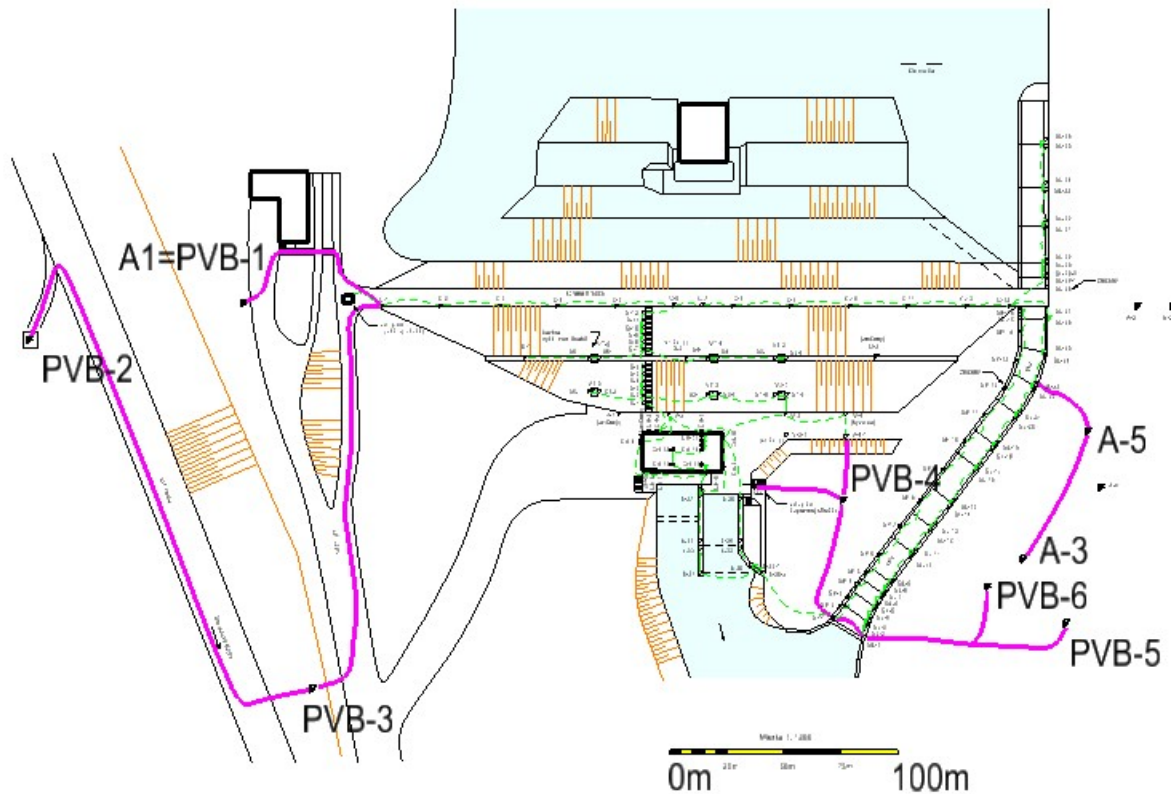
Na vodnej stavbe Bukovec sa nachádza 7 vzťažných bodov F-1 až F-7, z čoho sú dva dlhodobomenované. Vzťažný bod F-3 je stabilizovaný v cestnom priepuste, ostatné body sú stabilizované hĺbkovou stabilizáciou v teréne blízko prístupových komunikácií. Bod F-1 sa využíva aj na určenie vodorovných posunov, ostatné výlučne pre absolútne zvislé posuny. Výška koruny hrádze má kótu 419,50 m. Najnižší vzťažný bod F-1 sa nachádza pod hrádzou

vo výške 375,12 m. Z päťice meraných vzťažných bodov pri etapovom meraní v roku 2013 vykazovali merané prevýšenia medzi tromi bodmi zhodu s predchádzajúcim etapovým meraním a teda ich výšky nebol dôvod meniť. Pri vyrovnaní sme potom definovali podmienku fixovania výšok týchto bodov. Ďalšie dva vzťažné body vykazovali významnú zmenu do -1,00 mm a teda ich výška bola preurčená.



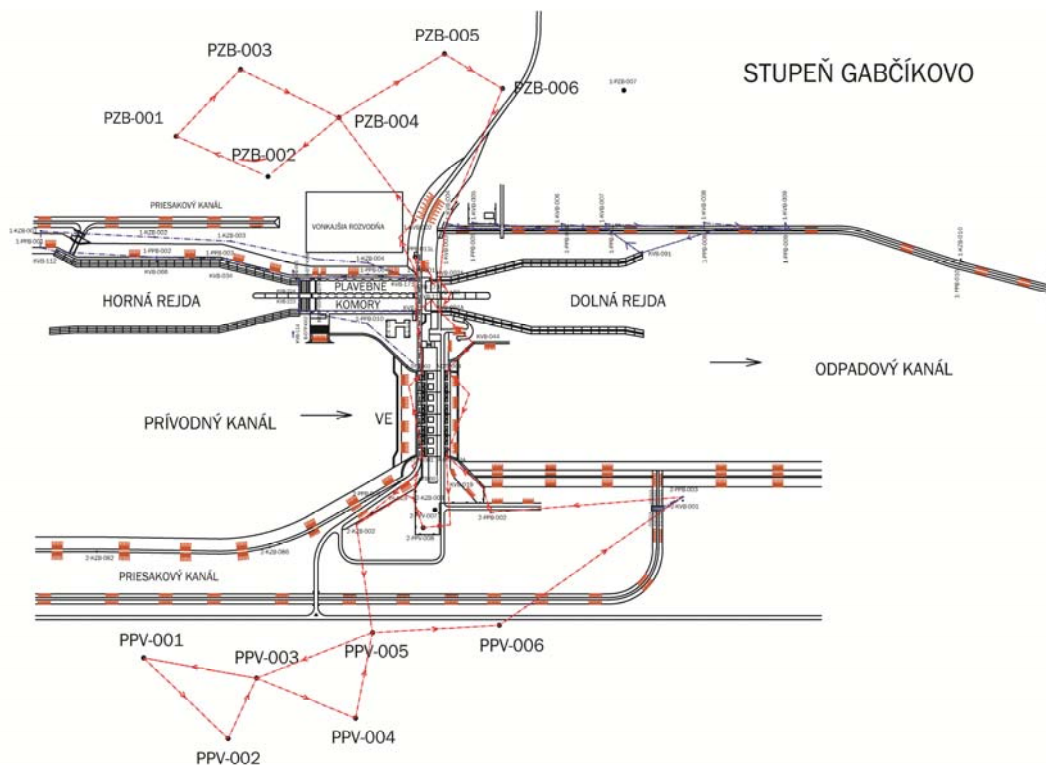
Obr. 2 Rozmiestnenie vzťažných bodov vodnej stavby Bukovec

Na vodnej stavbe Domaša sa nachádza spolu 8 vzťažných bodov, trojica bodov západne od vodnej nádrže a zvyšných päť východne. Bod PVB-2 je stabilizovaný v základe stožiaru vysokého napätia, ostatné body sú vybudované samostatne s hĺbkovou stabilizáciou. Výškový rozdiel medzi najvyššie položeným vzťažným bodom (PVB-2) a najnižším (PVB-4) je 44,50 m. Vzťažné body PVB-1, A-3, A5 slúžia jak na určenie zvislých tak aj vodorovných posunov. Ostatné body plnia funkciu vzťažných bodov na určenie absolútnych zvislých posunov. Meranie v roku 2013 preukázalo vysokú stabilitu bodov vzťažnej siete. Na siedmich vzťažných bodoch sa nepreukázala významná zmena výšky. Bod PVB-3 vykázal zvislý posun +2,4 mm. Vzťažnú sústavu tu definujeme ako vodorovnú rovinu preloženú ťažiskom vzťažných bodov, na základe podmienky $\Sigma\Delta h=0$, kde Δh sú posuny vzťažných bodov vzhľadom k vzťažnému systému, použité pri jeho aproximácii. Pri situácii, kedy máme stabilnú sieť vzťažných bodov možno pre vyrovnanie stanoviť podmienku a teda zafixovať niektoré výšky. Čiastočne nám to môže nepriaznivo ovplyvniť smerodajnú odchýlku z vyrovnania. Konkrétny postup by mal byť zahrnutý v projekte merania posunov pre konkrétnu vodnú stavbu z dôvodu, aby všetci vykonávatelia etapových meraní postupovali jednotne, pretože len tak možno porovnávať jednotlivé etapy a vierohodne interpretovať výsledky.



Obr. 3 Rozmiestnenie vzťažných bodov vodnej stavby Domaša

Na vodnom diele **SVDG – stupeň Gabčíkovo** je spolu 13 vzťažných výškových bodov. Šesť bodov je na ľavej strane stupňa a sedem vzťažných bodov je na pravej strane stupňa Gabčíkovo. Stabilizované sú hĺbkovou stabilizáciou od 8 do 14 m pod povrchom. Väčšina bodov sa nachádza v roli, okrem bodov PPV-004, PPV-006 a PPV-005. Tie sú stabilizované v poľnohospodársky neobrábanom pôdnom fonde. Okolo bodu PPV-004 časom vyrástol lesný porast, no aj napriek tomu patrí medzi najstabilnejšie vzťažné body. Vodné dielo je postavené na štrkovom lôžku a v jeho okolí je pomerne vysoká hladina podzemnej vody. Z tohto dôvodu nemôžeme očakávať, žeby sa vzťažné body nehýbali. Najväčší zvislý posun od vykonávania etapových meraní vykázali vzťažné body PPV-005 ($\Delta h = -36,9$ mm) a PPV-003 ($\Delta h = -21,1$ mm). Ich pohyb sa však za posledných desať rokov minimalizoval, ako u väčšiny vzťažných výškových bodov. Najstabilnejšími bodmi sú bod PPV-002, ktorý zaznamenal od roku 1983 celkový posun ($\Delta h = +0,7$ mm) a bod PZB-006, ktorý zaznamenal od roku 1990 celkový posun ($\Delta h = +0,7$ mm). Vzťažnú sústavu tu definujeme ako vodorovnú rovinu preloženú ťažiskom vzťažných bodov (ktoré spĺňajú nami stanovené kritérium, že v aktuálnom etapovom meraní nevykazujú väčší zvislý posun ako 2 mm), na základe podmienky $\Sigma \Delta h = 0$, kde Δh sú posuny vzťažných výškových bodov. Pri vyrovnaní siete nie sú fixované žiadne výškové body a ich výšky sú považované za náhodné veličiny, ktoré sa môžu meniť. Ich nepresnosť sa pre určované body rešpektuje.



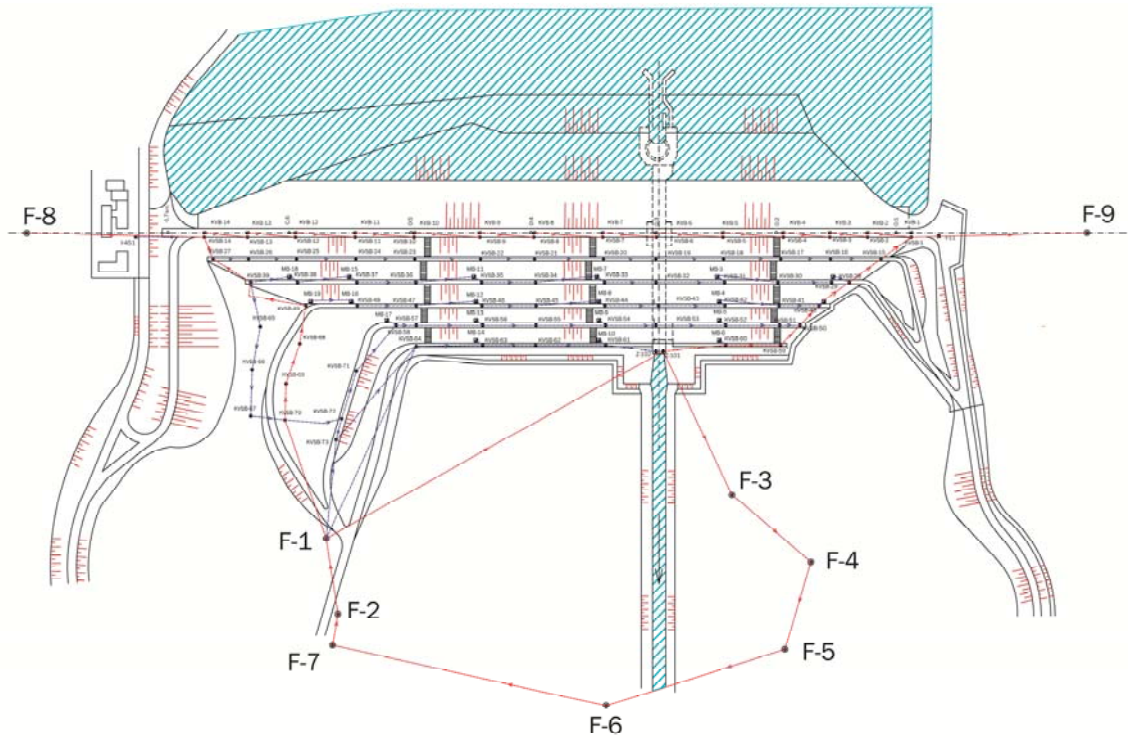
Obr. 4 Rozmiestnenie vzťažných bodov na vodnom diele Gabčíkovo

Na vodnej stavbe **Málinec** je spolu 9 vzťažných výškových bodov. Sedem bodov je stabilizovaných pod objektom vodnej stavby a dva sú stabilizované nad korunou hrádze (jeden vľavo, jeden vpravo). Body sú združenými vzťažnými bodmi, z ktorých je vykonávané aj sledovanie vodorovných posunov vodnej stavby. Geologické podložie údolia, v ktorom je VS vybudovaná, je tvorené prevažne neovulkanitmi. Body sú stabilizované hĺbkovou stabilizáciou do skalného podložia. Väčšina bodov sa nachádza v poli, okrem bodov F-8 a F-9. Bod F-8 je stabilizovaný na pasienku a bod F-9 momentálne obklopuje lesný porast ihličnatých stromov. Kontrolné meranie zvislých posunov v roku 2013 preukázalo stabilitu bodov vzťažnej siete. Zvislé posuny na vzťažných bodoch sú od -0,4 mm do +0,7 mm.

Najstabilnejšími bodmi sú bod F-7 a F-4, ktoré zaznamenali od roku 1991 celkový zvislý posun ($\Delta h = -0,7$ mm). Najmenej stabilnými bodmi sú body F-8 ($\Delta h = -2,5$ mm) a F-9 ($\Delta h = -3,9$ mm), ktoré sú stabilizované nad vodnou stavbou.

Vzťažnú sústavu tu definujeme ako vodorovnú rovinu preloženú ťažiskom vzťažných bodov (ktoré spĺňajú nami stanovené kritérium, že v aktuálnom etapovom meraní nevykazujú väčší zvislý posun ako 2 mm), na základe podmienky $\Sigma \Delta h = 0$, kde Δh sú posuny vzťažných výškových bodov. Pri vyrovnaní siete nie sú fixované žiadne výškové body a ich výšky sú považované za náhodné veličiny, ktoré sa môžu meniť. Ich nepresnosť sa pre určované body rešpektuje. Prax preukázala, že je nevhodné, aby sa vybrané vzťažné body fixovali a im definovali nulové zvislé posuny.

Vodná stavba MÁLINEC - ZEMNÁ HRÁDZA



Obr. 5 Rozmiestnenie vzťahných bodov na vodnej stavbe Málinec

6 ZÁVER

Pri spracovávaní komplexných elaborátov z merania posunov vodných stavieb by sme pri výsledných tabuľkách s posunmi pozorovaných bodov nemali zabúdať na správnu interpretáciu výsledkov nameraných posunov v zmysle čl. 39 STN 73 0405, ktorý hovorí o preukázateľných posunoch, t.j., či určené hodnoty posunov sú dôsledkom skutočného posunu alebo vznikli pôsobením chýb merania. Posudzujú sa na základe vzťahu určených hodnôt posunov a pretvorení k ich konfidenčnému intervalu. Za preukázateľné posuny s príslušným rizikom sa označujú posuny a pretvorenia, určené hodnotami prekračujúcimi konfidenčný interval.

V príspevku predložené príklady overenia stability vzťahných bodov od dvoch subjektov naznačujú odlišné riešenie, čo len podporuje myšlienku naznačenú v úvodných referátoch seminára, že je nevyhnutné vypracovať aktualizované, resp. nové projekty merania posunov, ktoré stanovia jednotný postup overovania stability vzťahných bodov ale aj jednotný postup vyhodnocovania posunov pozorovaných bodov jednotlivých objektov konkrétnych vodných stavieb I. kategórie, so zohľadnením súčasného rozvoja prístrojovej a spracovateľskej techniky.

LITERATÚRA

- [1] PÍŠ,D.: Metodika určovania absolútnych zvislých posunov. Habilitačná práca. Bratislava 1994. 50 s. Stavebná fakulta, Slovenská vysoká škola technická.
- [2] KOPÁČIK,A.: Meranie posunov a pretvorení stavebných objektov. In: Vybrané geodetické a kartografické činnosti vo výstavbe [elektronický zdroj].Bratislava, Komora geodetov a kartografov 2013. ISBN 978-80-89623-01-3. 10s.
- [3] LUKÁČ,Š.: Vyhodnocovanie nameraných údajov a interpretácia výsledkov deformačných meraní rozsiahlych vodných diel. In: XXVIII. Priehradné dni. Bratislava, SPV-SVS 2002. s.
- [4] LUKÁČ,Š.-KOŽÁR,J.: Vývoj a súčasné trendy v oblasti merania, monitorovania a vyhodnocovania deformácií priehrad. In: Meranie, monitorovanie a vyhodnotenie posunov na vodohospodárskych dielach. Gabčíkovo, SZG 2000. s.29-34.