

Monitoring zvislých posunov a pretvorení pri rekonštrukcii objektu Východoslovenskej galérie v Košiciach

Zemen Marián · Prírodné vedy

24.02.2014



Článok sa zaoberá určovaním posunov a pretvorení stavebného objektu Východoslovenská galéria v Košiciach, kde prebieha rekonštrukcia v rámci projektu Košice - Európske hlavné mesto kultúry 2013. Meraniu predchádzalo vypracovanie projektu merania posunov. Etapové merania sa vykonali pomocou digitálneho nivelačného prístroja Leica

DNA 03 s využitím metódy presnej nivelácie. Výsledkami etapových meraní sú grafické a číselné výstupy.

1. Úvod

VSG v Košiciach patrí k najstarším, najväčším a najvýznamnejším slovenským galériám. Nachádza sa na Hlavnej ulici v historickom jadre mesta. Jej priestory sa využívajú na výstavné účely a spoločensko-kultúrne podujatia. Ich kapacita je však nedostatočná - chýba priestor pre prezentáciu rôznych foriem súčasného umenia. Z tohto dôvodu bolo hlavným zámerom projektu vytvorenie nového univerzálneho výstavného priestoru. Výsledkom bude modernizácia existujúcich priestorov a výstavba nových výstavných priestorov v podzemí. V zmysle projektovej dokumentácie stavby bolo počas celého obdobia jej realizácie geodetickými metódami v pravidelných intervaloch monitorovať posuny a pretvorenia existujúcej budovy VSG (obr.1).





Obr. 1: Východoslovenská galéria v Košiciach (www 1., www 2.)

2. Základné pojmy

Posunom (pretvorením) všeobecne rozumieme pozvoľné zmeny v priestorovej polohe(tvare) objektu vplyvom zaťaženia základovej škáry, dynamických prevádzkových účinkov a ďalších, obvykle fyzikálnych faktorov, pôsobiacich na objekt v danom prostredí a čase. Meraním sa overuje priebeh, charakter a veľkosť týchto zmien oproti základnej alebo predchádzajúcej etape merania.

- Posun - zmena v polohe objektu oproti polohe v základnej alebo predchádzajúcej etape merania.
- Pretvorenie (deformácia) - zmena tvaru v konštrukcii objektu oproti tvaru pri základnej alebo predchádzajúcej etape merania.
- Absolútny posun - posun vyjadrený v absolútnej sústave, nezávislej od meraného objektu.
- Relatívny posun - posun vyjadrený v relatívnej sústave vzhľadom na vzťažný bod nachádzajúci sa na objekte. Vyjadruje vzájomné zmeny v polohe pozorovaných bodov objektu.
- Vodorovný posun - vyjadruje vodorovnú zložku posunu meraného bodu. V pravouhlej súradnicovej sústave sa charakterizuje zložkami Δx a Δy .
- Zvislý posun - vyjadruje zvislú zložku posunu meraného bodu. Zvyčajne sa označuje Δz alebo Δh .
- Sadanie (zdvíhanie) - zvislá zložka posunu smerom dolu (hore), obvykle vyvolaná stlačením základovej pôdy.
- Naklonenie - odchýlenie zvislej osi objektu od zvislice.
- Pootočenie - uhlová odchýlka objektu od jeho pôvodnej polohy, pričom je os otáčania vo všeobecnej polohe.
- Priehyb - pretvorenie zvyčajne nosnej konštrukcie objektu v smere kolmom na prevládajúci smer (Kopáček, 2013), (STN 730405).

3. Prehľad metód merania zvislých posunov a pretvorení stavebných objektov

Posuny stavebných objektov možno určovať rozličnými fyzikálnymi meracími metódami (mechanickými, optickými, elektronickými a pod.), medzi ktorými majú významné miesto najmä tieto geodetické metódy:

- metóda geometrickej nivelácie (veľmi presná, presná, technická)
- trigonometrické meranie výšok,
- fotogrametrické metódy,
- hydrostatická nivelácia.

Všeobecne možno uviesť, že na základe teoretických a praktických skúseností, možno metódou veľmi presnej nivelácie dosiahnuť empirickú strednú chybu merania zvislých posunov $\sigma=0,15\text{mm}$ až $0,30\text{mm}$, metódou presnej nivelácie $\sigma=0,40\text{mm}$ až $0,70\text{mm}$ trigonometrickou metódou $\sigma = 0,8\text{mm}$ až $1,5\text{mm}$, fotogrametricky $\sigma= 1,0\text{mm}$ až $3,0\text{mm}$ v závislosti najmä na vzdialenosti pozorovaných a vzťažných bodov (Kopáčik, 2013).

4. Projekt merania posunov a pretvorení

Pre každý stavebný objekt, na ktorom treba merať posuny, sa vypracuje projekt merania posunov. Projekt vypracuje geodet projektanta obvykle za spolupráce statika a investora. V projekte sa uvedú najmä:

- účel a význam meraní,
- údaje o geologických a hydrologických vlastnostiach základovej pôdy,
- spôsob založenia stavby, popis konštrukcie objektu,
- hodnoty očakávaných posunov a ich predpokladaný vývoj,
- vyžadovaná presnosť meraní,
- metódy merania posunov s rozborom presnosti a hospodárnosti meraní,
- spôsob a časový plán rozmiestnenia a stabilizácie meracích zariadení
- harmonogram realizácie meraní,
- spôsob spracovania výsledkov meraní,
- rozpočet nákladov na vybudovanie meracích zariadení

Účelom merania posunov a deformácií konštrukcií stavebných objektov je najmä:

- získať podklady na posudzovanie správania sa základových pôd zaťažených objektom, prehľbovať teoretické vedomosti o podloží a o pôsobení objektu na blízke okolie,
- porovnávať skutočné - merané posuny konštrukcií objektu s očakávanými teoretickými hodnotami a overovať správnosť vypočítaných teoretických hodnôt,
- sledovať stav, funkčnú spoľahlivosť a bezpečnosť konštrukcií stavebného objektu,
- sledovať vplyv budovaného objektu na bezpečnosť jestvujúcich objektov a vplyv rozličných fyzikálnych faktorov prostredia na stabilitu konštrukcií objektu.

Najčastejšie dochádza k sadaniu základov objektu a k zvislým deformáciám nosných konštrukcií, ktoré časovo prebiehajú rôzne podľa druhu, tvaru a rozmerov základov, priebehu zaťaženia a fyzikálnych faktorov prostredia, ktoré rušivo pôsobia na geometrický tvar základových a nosných konštrukcií, najmä ak ide o nerovnomerné sadanie základov alebo deformácie nosných konštrukcií. Informácie získané meraním posunov pozorovaných bodov objektu sa využívajú na overovanie teoretických hodnôt, na diagnostiku a prognózu zmien v správaní sa sledovaných konštrukcií objektu, resp. na včasné odstraňovanie porúch vo výstavbe, prípadne v prevádzke objektu (STN 730405).

5. Vyžadovaná presnosť meraní

Presnosť merania posunov a deformácií stavieb závisí od veľkosti a charakteru posunov za určitý čas. Otázku požadovanej presnosti merania posunov treba prerokovať nielen s projektantom - statikom, ale aj so spracovateľom prieskumu základovej pôdy a ďalšími odborníkmi pre zakladanie stavieb. Pre zakladanie stavieb

spravidla stačí presnosť meraných posunov na 1 mm, pre statické výpočty sa požaduje presnosť o rad vyššia - maximálne s chybou 0,3 mm, pre vedecké experimenty sa zvyčajne požaduje presnosť merania posunov 1% z veľkosti teoretických hodnôt posunov; na technické účely spravidla postačí presnosť merania 5 až 10% z očakávaných hodnôt posunov.

Za dostatočnú presnosť merania posunov možno považovať presnosť, kde pri minimálnych nákladoch na meranie sa dosiahne požadovaný účel merania. Z hľadiska účelne vynaložených prostriedkov na meranie treba vychádzať podľa STN 73 0405 z vypočítaných hodnôt konečných a etapových posunov. Ako ďalší faktor tu pristupuje dĺžka etapy, ktorá by mala byť všeobecne volená tak, aby očakávaný etapový posun bol v primeranom pomere k presnosti merania. Na túto analýzu možno vhodne použiť pomer medzi očakávanou hodnotou posunu p a úplnou strednou chybou posunu m_p v príslušnej etape merania. Tento pomer stanovuje STN 73 0405 hodnotou 1/15. Pomer môže byť však aj v medziach 1/5 až 1/10 vzhľadom na určitú rezervu - pôsobenie premenlivých systematických chýb. Pri nepresnej znalosti kritéria presnosti je pomer 1/10 na hranici účelnosti vynaložených prostriedkov. Úplná výberová stredná chyba m_1 celkového posunu nemá prekročiť podľa STN 73 0405 hodnotu $m_1 = W : 15$, kde W je očakávaný konečný posun objektu, vypočítaný podľa STN 73 1001.

Presnosť merania posunov možno účelne odvodiť aj na základe neistoty vypočítanej teoretickej hodnoty posunu, t. j. nožnej chyby v teoretickej hodnote posunu. Krajná chyba merania v danom prípade nemá prekročiť hodnotu

$$\overline{m}_{\Delta x} = \frac{\Delta \bar{x}}{t} \quad (1)$$

kde $\overline{m}_{\Delta x}$ je úplná základná stredná chyba posunu (alebo smerodajná odchýlka $\sigma_{\Delta x}$), $\Delta \bar{x}$ - krajná chyba vypočítanej teoretickej hodnoty, t - koeficient vymedzujúci interval konfidencie vzhľadom na dané riziko. WERNER uvádza pre presnosť zvislej zložky posunu vzťah

$$m_{\Delta z} = \frac{\Delta z_i}{100} \quad (2)$$

kde Δz je spodná (limitná) hodnota sadania, i - percento z limitnej hodnoty sadania. Presnosť merania posunov sa posudzuje podľa úplnej strednej chyby, a to základnej alebo výberovej

$$m_p = \sqrt{\eta^2 + \sum m_c^2} \quad (3)$$

kde η je výberová náhodná stredná chyba posunu, vyjadrujúca vnútornú presnosť merania, m_c - výberové systematické stredné chyby, vyjadrujúce vplyv vonkajších podmienok merania. Ide o úplnú strednú chybu funkcie dvoch veličín, z ktorých každá je zaťažená chybou. Pre úplnú základnú strednú chybu posunu (rozdiel dvoch meraní) platí vzťah

$$\overline{m}_{\Delta x}^2 = \overline{m}_1^2 + \overline{m}_2^2 + 2r_{12}\overline{m}_1\overline{m}_2 \quad (4)$$

kde r_{12} je koeficient korelácie, vyjadrujúci závislosť oboch stredných chýb meraní

\overline{m}_1 a \overline{m}_2 od systematických chýb (Michalčák a kol., 1985), (STN 730405).

6. Bodové pole pri meraní posunov a pretvorení stavebných objektov

Vzťažné body - vzťahujú sa k nim výsledky merania posunov pozorovaných bodov. Budujú sa v dostatočnom predstihu pred meraním. Ich lokalizácia a stabilizácia v priestore stavby musí byť taká, aby sa ich poloha nezmenila stavebnou činnosťou alebo inými vplyvmi. Na stavenisku sa rozmiestňujú zvyčajne tak, aby ich spojnice tvorili geometrický obrazec, napr. uzavretý nivelačný polygón. Vhodný spôsob rozmiestnenia pevných bodov je v tvare rovnostranného trojuholníka. Overovanie stability takto rozmiestnených bodov možno vykonať z jedného stanovišťa, a to zo stredu vpísanej kružnice do trojuholníka. Overovanie stability sa vykonáva pomocou testovania štatistických hypotéz. Jeden pevný bod na stavenisku s najlepšimi základovými podmienkami sa volí za východiskový, t. j. hlavný vzťažný bod.

Pozorované body sa vybudujú na objekte podľa projektu merania posunov. Na stabilizáciu sa volia čapové alebo klinové značky vyhotovené z materiálov nepodliehajúcich korózii (Obr.2). Osadenie výškových značiek pozorovaných bodov sa urobí tak, aby značky boli pevné a umožňovali jednoznačné zvislé postavenie invarových nivelačných lát. Počet a rozmiestnenie pozorovaných bodov určuje projektant, resp. statik. Má byť taký, aby sa mohli spoľahlivo určovať posuny staticky dôležitých základových alebo nosných častí objektu. Body na objektoch musia byť nenápadné, stabilné a lokalizované na objekte tak, aby poskytovali dostatočne presné a objektívne informácie o prebiehajúcom procese pretvorenia meraných konštrukcií objektu (STN 730405).



Obr. 2: Nivelačné značky

7. Meranie, spracovanie a prezentácia výsledkov

Na základe rozboru presnosti bola za metódu merania zvolená presná nivelácia, ktorá je charakterizovaná strednou kilometrovou chybou m_0 , ktorá sa pohybuje v rozmedzí 1,2 až 2,5 mm. Na meranie bol použitý digitálny nivelačný prístroj Leica DNA03 a kódové invarové laty GPCL2 (obr.3). Technické parametre prístroja sú uvedené v tab.1.



Obr. 3: Nivelačný prístroj Leica DNA03

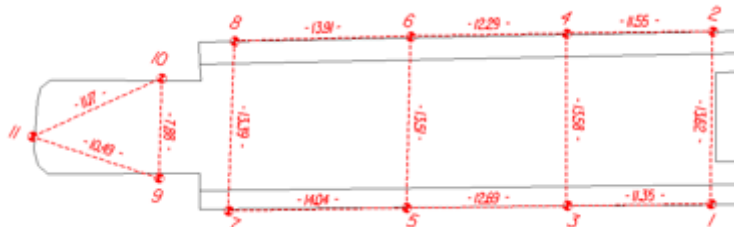
Tab.1: Technické parametre prístroja Leica DNA03

	DNA03
Presnosť TN (lata na tech.niveláciu)	$\pm 1,0$ mm
Presnosť VPN (invarové laty)	$\pm 0,3$ mm
Zväčšenie	24 x
Dosah TN (lata na tech.niveláciu)	1,8m až 110m
Dosah VPN (invarové laty)	1,8m až 60m
Odčítanie laty	0,01 mm
Kompenzátor (rozsah / citlivosť)	$\pm 10' / 0,3''$
Merací čas	3 s

Vzťažnými bodmi boli klincové meračské značky umiestnené mimo staveniska. Ich stabilita bola pred každým meraním overená uzavretým nivelačným ťahom z bodov Štátnej nivelačnej siete (ŠNS). Pri štatistickom testovaní vzťažné body nevykazovali signifikantný posun a boli vo všetkých etapách merania považované za stabilné.

Pozorované body boli stabilizované čapovými nivelačnými značkami nad základovou škárou susediacich objektov. Ich prehľadná situácia je na obr. 4. Podľa projektu merania posunov a pretvorení bolo stabilizovaných 11 pozorovaných bodov. Merané boli metódou presnej nivelácie uzavretým nivelačným ťahom. Sieť bola vyrovnávaná metódou vyrovnania sprostredkujúcich meraní s podmienkami podľa matematického modelu napr. podľa (Bitterer, 2005). Ako sprostredkujúce veličiny boli použité približné (merané) prevýšenia a vodorovné dĺžky.

Meranie jednotlivých etáp bolo realizované v približne dvojtýždňových intervaloch. Celkovo bolo realizovaných 12 etáp merania. Výsledky merania boli interpretované číselne v tabulkách a graficky. V príspevku sú znázornené etapy merania 2,3,6,7,12 v tab.2 až 6 a graficky sú znázornené body 1,3,8 na obr. 5 až 7. Kde na bode 3 došlo k najmenšiemu poklesu bodu a naopak na bode 8 k najväčšiemu.



Obr. 4.: Prehľadná situácia pozorovaných bodov

Tab.2: Číselné porovnanie výšok pozorovaných bodov v 2. etape merania

číslo bodu	1. etapa 24.9.12	2. etapa 23.10.12	Rozdiel 2.etapa - 1.etapa
	Výška [m]	Výška [m]	ΔZ [mm]
1	209,2430	209,2410	-2,0
2	209,3580	209,3575	-0,5
3	209,1850	209,1846	-0,4
4	209,2430	209,2428	-0,2
5	209,3096	209,3090	-0,6
6	209,3315	209,3310	-0,5
7	209,2790	209,2782	-0,8
8	209,2470	209,2452	-1,8
9	209,2496	209,2494	-0,2
10	209,1910	209,1901	-0,9
11	209,2330	209,2313	-1,7

Tab.3: Číselné porovnanie výšok pozorovaných bodov v 3. etape merania

číslo bodu	1. etapa 24.9.12	2. etapa 23.10.12	3. etapa 30.10.12	Rozdiel 3.etapa - 2.etapa	Rozdiel 3.etapa - 1.etapa
	Výška [m]	Výška [m]	Výška [m]	ΔZ [mm]	ΔZ [mm]
1	209,2430	209,2410	209,2409	-0,1	-2,1
2	209,3580	209,3575	209,3568	-0,7	-1,2
3	209,1850	209,1846	209,1846	0	-0,4
4	209,2430	209,2428	209,2428	0	-0,2
5	209,3096	209,3090	209,3078	-1,2	-1,8
6	209,3315	209,3310	209,3303	-0,7	-1,2
7	209,2790	209,2782	209,2770	-1,2	-2,0
8	209,2470	209,2452	209,2444	-0,8	-2,6
9	209,2496	209,2494	209,2491	-0,3	-0,5
10	209,1910	209,1901	209,1888	-1,3	-2,2
11	209,2330	209,2313	209,2308	-0,5	-2,2

Tab.4: Číselné porovnanie výšok pozorovaných bodov v 6. etape merania

číslo bodu	1. etapa 24.9.12	5. etapa 19.11.12	6. etapa 6.12.12	Rozdiel 6.etapa - 5.etapa	Rozdiel 6.etapa - 1.etapa
	Výška [m]	Výška [m]	Výška [m]	ΔZ [mm]	ΔZ [mm]
1	209,2430	209,2361	209,2356	-0,5	-7,4
2	209,3580	209,3560	209,3558	-0,2	-2,2
3	209,1850	209,1823	209,1804	-1,9	-4,6
4	209,2430	209,2423	209,2417	-0,6	-1,3
5	209,3096	209,3073	209,3070	-0,3	-2,6
6	209,3315	209,3300	209,3299	-0,1	-1,6
7	209,2790	209,2760	209,2754	-0,6	-3,6
8	209,2470	209,2427	209,2408	-1,9	-6,2
9	209,2496	209,2488	209,2480	-0,8	-1,6
10	209,1910	209,1876	209,1868	-0,8	-4,2
11	209,2330	209,2301	209,2295	-0,6	-3,5

Tab.5: Číselné porovnanie výšok pozorovaných bodov v 7. etape merania

číslo bodu	1. etapa 24.9.12	6. etapa 6.12.12	7. etapa 19.12.12	Rozdiel 7.etapa - 6.etapa	Rozdiel 7.etapa - 1.etapa
	Výška [m]	Výška [m]	Výška [m]	ΔZ [mm]	ΔZ [mm]
1	209,2430	209,2356	209,2340	-1,6	-9,0
2	209,3580	209,3558	209,3554	-0,4	-2,6
3	209,1850	209,1804	209,1796	-0,8	-5,4
4	209,2430	209,2417	209,2410	-0,7	-2,0
5	209,3096	209,3070	209,3062	-0,8	-3,4
6	209,3315	209,3299	209,3298	-0,1	-1,7
7	209,2790	209,2754	209,2748	-0,6	-4,2
8	209,2470	209,2408	209,2405	-0,3	-6,5
9	209,2496	209,2480	209,2473	-0,7	-2,3
10	209,1910	209,1868	209,1863	-0,5	-4,7
11	209,2330	209,2295	209,2287	-0,8	-4,3

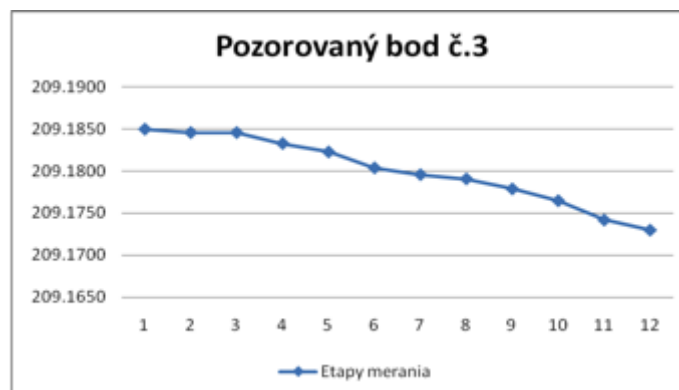
Tab.6: Číselné porovnanie výšok pozorovaných bodov v 12. etape merania

číslo bodu	1. etapa 24.9.12	11. etapa 14.02.13	12. etapa 22.04.13	Rozdiel 12.etapa - 11.etapa	Rozdiel 12.etapa - 1.etapa
	Výška [m]	Výška [m]	Výška [m]	ΔZ [mm]	ΔZ [mm]
1	209,2430	209,2298	209,2277	-2,1	-15,3
2	209,3580	209,3446	209,3430	-1,6	-15,0
3	209,1850	209,1742	209,1730	-1,2	-12,0

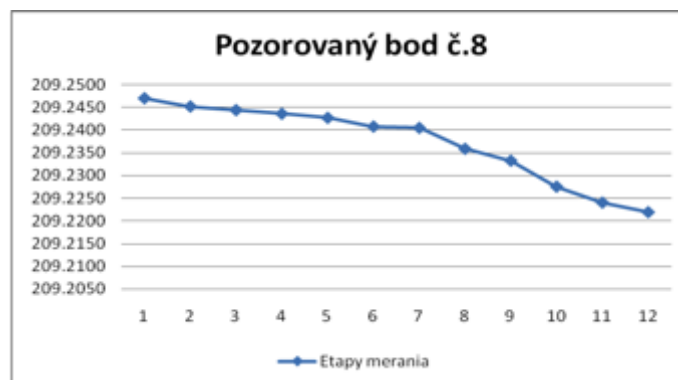
4	209,2430	209,2231	209,2225	-0,6	-20,5
5	209,3096	209,2969	209,2958	-1,1	-13,8
6	209,3315	209,3206	209,3186	-2,0	-12,9
7	209,2790	209,2613	209,2600	-1,3	-19,0
8	209,2470	209,2241	209,2220	-2,1	-25,0
9	209,2496	209,2304	209,2288	-1,6	-20,8
10	209,1910	209,1773	209,1751	-2,2	-15,9
11	209,2330	209,2158	209,2143	-1,5	-18,7



Obr. 5 Grafické znázornene poklesu pozorovaného bodu č.1 v dvanástich etapách merania



Obr. 6 Grafické znázornene poklesu pozorovaného bodu č.3 v dvanástich etapách merania



Obr. 7 Grafické znázornene poklesu pozorovaného bodu č.8 v dvanástich etapách merania

8. Záver

Každý stavebný objekt zaznamenáva počas výstavby, ale aj jeho prevádzky určité priestorové zmeny. Tieto zmeny v polohe objektu rovnako ako aj každá zmena tvaru a rozmerov objektu v dôsledku rôznych silových pôsobení, predstavuje celkovú deformáciu príslušného objektu, alebo jeho časti. To má vplyv na funkčnosť, bezpečnosť a stabilitu priamo dotknutého a aj okolitých objektov. Pri výstavbe a rozsiahlejších rekonštrukčných prácach je potrebné zabezpečiť etapový geodetický monitoring takýchto objektov, aby sa predišlo škodám na majetku a zdraví osôb. V príspevku sú okrem prehľadu pojmov, najčastejšie používaných geodetických metód a popisu bodového poľa uvedené aj postupy merania a spracovania terénnych meraní v číselnej a grafickej podobe.

Na základe vyhodnotenia výsledkov možno konštatovať, že pri všetkých pozorovaných bodoch počas obdobia jednotlivých etáp monitoringu došlo k ich poklesu vplyvom výkopových prác na stavbe. Hodnoty zistených posunov pozorovaných bodov v časovom rozmedzí základnej a poslednej (dvanástej) etapy merania sú v intervale od -0.0120m na bode č. 3 do -0.0250m na bode č. 8. Z uvedených výsledkov vyplýva nutnosť a opodstatnenosť geodetického monitoringu aj s ohľadom na cenu geodetických prác. Z interpretácie zvislých posunov pozorovaných bodov ako aj ďalších zistení hlavného statika stavby sa pristúpilo po ukončení výkopových prác k opatreniam, ktoré majú zabezpečiť spevnenie existujúcich základov stavby tak aby boli dodržané všetky požadované normy pre ďalšie stavebné práce.

Literatúra

1. BITTERER, L.: Geodézia. III., Žilina: Katedra geodézie, Žilinská univerzita v Žiline, 2005. 109 s.
2. KOPÁČIK, A.: Meranie posunov a pretvorení stavebných objektov. In: Vybrané geodetické a kartografické činnosti vo výstavbe, Komora geodetov a kartografov Bratislava, ISBN 978-80-89623-02-0
3. MICHALČÁK, O. - VOSIKA, O. - VESELÝ, M. - NOVÁK Z.: Inžinierska geodézia I. Bratislava : ALFA - vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985. 399s.
4. STN 73 0405: Meranie posunov stavebných objektov: 1985, 16.s
5. <http://slovakia.travel/vychodoslovenska-galeria-kosice>
6. <http://archeosk.sk/vyskum-vychodoslovenskej-galerie-v-kosiciach/>

Spoluautorom článku je Ing. Ľudovít Kovanič, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Fakulta Baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Park Komenského 19, Košice, Ústav geodézie, kartografie a GIS
