

Analyticko-grafické testovanie deformácií na vodnom diele Pod Bukovcom

Miloš Ječný¹

Analytic-graphic testing of deformities at the waterworks Pod Bukovcom

The paper presents some geodetic measurement results in a frame of deformity survey of the bulk dam at the waterworks Pod Bukovcom nearby Košice. Periodic geodetic position and levelling measurement are realized on the dam since 1999. Testing statistics are applied into the deformity survey. Geodetic data obtained from individual measurements in the geodetic network on the bulk dam at the waterworks Pod Bukovcom are adjusted using Gauss-Markov model. Accuracy analysis by means of using relative and confidence ellipses is complemented to geodetic measurements.

Key words: *The water work Pod Bukovcom, analytic-graphic testing deformity, relative ellipsis, confidence ellipsis, test Fisher's, test significance, Gauss – Markov model.*

Úvod

Vplyvom vlastnej váhy, tlaku vody, vnútornej teploty, zmraštenia, atmosférickej teploty a sadania základovej pôdy vznikajú deformácie a pohyby stavebných objektov. Tieto deformácie a pohyby je potrebné skúmať podľa filozofie, že všetko je v neustálom pohybe. Obzvlášť je potrebné zaoberať sa pozorovaním a analyzovaním deformácií a posunov veľkých stavebných diel človeka, ako aj katastrofických prejavov prírody. Z následných analýz deformácií je možné pre budúcnosť uplatniť získané vedomosti pri projektovaní, ako aj pri ochrane ľudských životov a životného prostredia. Podcenenie týchto poznatkov už v minulosti viedlo k mnohým katastrofám a ekologickým haváriám, ktorým sa dalo predísť. Deformačné šetrenia a následná analýza výsledkov sa nikdy nesmie z hľadiska bezpečnosti podceňovať.

Vodné dielo Pod Bukovcom

Vodné dielo Pod Bukovcom je vybudované na Idanskom potoku medzi obcou Bukovec a Malá Ida. Priehradné dielo je situované v morfológicky najvýhodnejšom profile, v mieste starej asi 7 m vysokej hrádze, ktorá bola v dôsledku výstavby dnešného vodného diela odstránená. Účelom vodného diela je predovšetkým havarijne zabezpečenie dodávky priemyselnej vody pre hľadanie technologických zariadení vysokých pecí US Steel s r.o. Košice. Nádrž čiastočne splošňuje povodňové vody a v letnom období slúži na rekreačné účely.

Deformácie objektov

Objekt môže byť umelý alebo prírodný. Každú zmenu geometrického stavu objektu k okoliu, ale aj vo vnútri hmotného objektu v čase a priestore, nazývame deformáciou objektu. Deformácie zapríčiňujú primárne a sekundárne sily pôsobiace na objekt. Primárne sily sú vnútorné sily, ktoré súvisia so statikou objektu. Objekt deformujú z vnútra. Sekundárne sily sú sily vonkajšie, vyvolané pôsobením okolia na samotný objekt.

Deformácie môžu byť elastické alebo plastické. Elastické deformácie sú deformácie dočasné. Vznikajú vplyvom poveternostných podmienok na objekt. Plastické deformácie sú trvalé. Objekt ostáva pôsobením síl deformovaný.

Deformačné prejavy sú zapríčinené pohybom objektu. Tieto pohyby môžu byť vyvolané:

- pohybom objektu,
- vlastným pretvorením objektu.

Pohyby rozdeľujeme na:

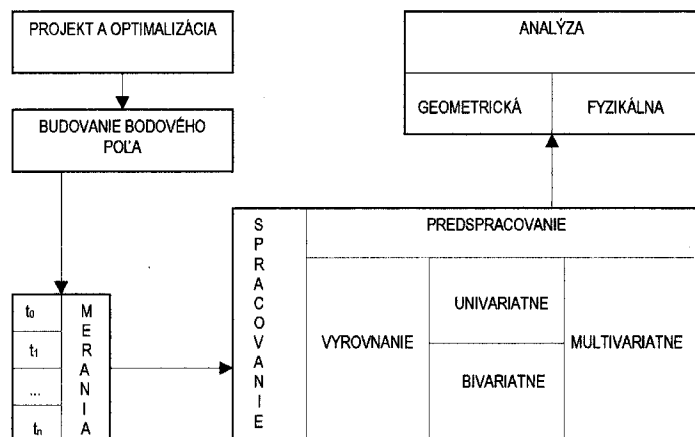
- translačné pohyby (posuny),
- rotačné pohyby (rotácie).

Posuny sa ďalej rozdeľujú na vodorovné, zvislé a priestorové. Podľa druhu sa následné volí metodika merania (pozorovania) a následná analýza výsledkov deformácií.

¹ Ing. Miloš Ječný, GPD, s.r.o. Košice, Slovenskej jednoty 8, 040 01 Košice
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13.8.2001)

Algoritmus deformačného šetrenia

Deformačné šetrenia sa vykonávajú podľa spracovateľského postupu. Tento postup sa nazýva algoritmus. Tento algoritmus môžeme najlepšie vyjadriť schémou (obr. 1.). Ako zo schémy vyplýva celý postup od projektu cez meranie končí analýzou získaných výsledkov zo spracovania. Výsledky spracovania sa analyzujú z hľadiska geometrických alebo fyzikálnych vlastností objektu.



Obr.1. Schéma algoritmu deformačného šetrenia.
Fig.1. Scheme of deformity survey algorithm.

Bodové pole pre sledovanie deformácií

Pre meranie deformácií objektu je potrebné vybudovať bodové pole. Takéto bodové pole sa skladá z dvoch skupín (Abelovič et al., 1990; Dobeš, 1990; Sedlák, 1999):

- pole pevných bodov (referenčné body),
- pole pozorovaných bodov (objektové body).

Tieto polia sa používajú na sledovanie polohových, výškových alebo oboch druhov posunov.

Pevné bodové pole sa ďalej rozdeľuje na:

- observačné body,
- overovacie body,
- zaisťovacie body.

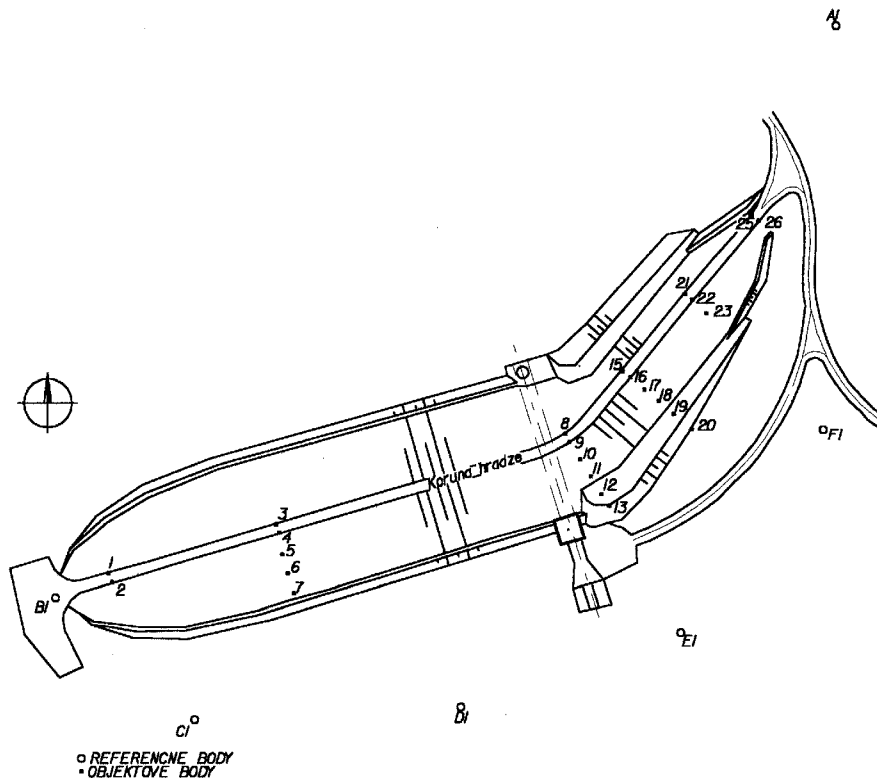
Observačné body sú určené na vykonávanie periodických meraní na objektové body. Stabilizujú sa čo najbližšie k objektovým bodom ale, tak aby bola istota, že ostanú počas celého sledovania deformácií stabilné. Tento predpoklad nie je možné vždy zaručiť.

Overovacie body slúžia na overenie stability observačných bodov. Tieto body sa musia nachádzať mimo územia, kde by sa mohli prejavovať deformačné sily. Na overenie a hlavne zabezpečenie týchto bodov sa v blízkosti umiestňujú zaisťovacie body. V prípade ak nie je možné z observačných bodov realizovať meranie na objektové body, stabilizujú sa dočasne takzvané pomocné (zaisťovacie) body. Tieto pomocné body po vykonaní merania zanikajú, prípadne sa stabilizujú tak, aby slúžili k meraniu pri ďalšej epoche. V niektorých prípadoch nemusia byť observačné body kontrolované overovacími bodmi. Z tohto dôvodu sa overovacie body ani neinštalujú. V tom prípade však musia platiť určité podmienky. Observačné body s istotou nesmú ležať v území, kde sa prejavujú deformačné sily, to znamená, že hranica nestability je jasne definovaná. Kontrola stability observačných bodov sa vykonáva vzájomným meraním medzi bodmi.

Objektové body sú vhodne rozmiestnené na objekte, tak aby vystihli geometriu objektu a pôsobenie deformačných síl na objekt. Musí sa uvažovať optimálna hustota ich rozmiestnenia, pokrytia deformačnej zóny s primeraným rozšírením aj do okrajových častí. Osadzujú sa na objekt podľa toho, čo ide o výškové alebo polohové meranie deformácií. Rozhranie medzi objektovými a referenčnými bodmi vymedzuje hranica nestability. Za touto hranicou sa neprejavujú, alebo len minimálne deformačné sily. Preto sa za touto hranicou stabilizujú referenčné body. Objektové body sa na druhej strane stabilizujú práve v deformačnej zóne, aby vyjadřili deformáciu objektu.

Pri stabilizácii bodového poľa sa zabezpečuje primeraná štandardizácia a unifikácia stabilizácie bodu. Zohľadňujú sa osobitné požiadavky pre funkčnosť stabilizovaných bodov. Je potrebné, aby po stabilizácii hlavne referenčných bodov tieto mali potrebný čas na ustálenie pred použitím. Počas tejto doby by sa referenčné body ustáli a vplyvy okolia na bod sa minimalizujú.

Body majú mať čo najdlhšiu trvácnosť. Táto trvácnosť sa zabezpečuje vhodnou stabilizáciou a ochranou. Ako vhodná stabilizácia referenčných bodov sa javí stabilizovanie bodu zapaženými piliermi a betónovými blokmi s meračskou značkou. Pri stabilizácii objektových bodov treba vyhádzať z toho, aby sa prejavy deformácií preniesli priamo na bod. Z tohto dôvodu sa objektové body stabilizujú dostatočne hlboko, kde dochádza k preneseniu deformačných síl z vnútra objektu na bod.



Obr.2. Bodové pole vodného diela Pod Bukovcom.

Fig.2. The geodetic network point field of the waterworks Pod Bukovcom.

Bodové pole na vodnom diele Pod Bukovcom

Na vodnom diele Pod Bukovcom bolo inštalovaných šesť referenčných bodov, ktoré boli osadené mimo deformačného územia. Nachádzajú sa približne 50–100m od objektu hrádze (Technické podklady, 1965-98). Referenčné body majú označenie A1 až F1. Tieto body nahradili staré referenčné body, z ktorých boli vykonávané merania do roku 1985. Stabilizácia týchto referenčných (observačných) bodov je realizovaná zapaženými piliermi so závitom pre presnú centráciu meračského prístroja (TC Leica 605 L).

Objektové body na objekte hrádze sú rozmiestnené tak, aby čo najlepšie zohľadnili geometriu hrádze a predpokladané tlaky vodnej hladiny na hrádzu. Body boli rozmiestnené po hrádzu v šiestich profiloch. Aby objektové body preniesli deformácie hrádze, museli byť stabilizované do určitej hĺbky. Táto hĺbka je v priemere 1,8m. Celkove je na hrádzu rozmiestnených 26 bodov z ktorých dva sú zničené. Rozmiestnenie bodov (obr. 2.).

Analýza deformačných štetení

Analýza výsledkov spracovania deformačnej siete môže byť vykonaná analytickými alebo analiticko-grafickými spôsobmi, čo sa týka prostriedkov na analýzu kongruentnosti sieti. Použité metódy sa od seba líšia výslednou podobou zobrazenia výsledkov, ale čo sa týka záveru analýzy sú si rovnocenné.

Z hľadiska testovania kongruentnosti sa analýza rozdeľuje na postupy (STN 73 0405):

- štatistické,

- deterministické.

Metóda kongruentnosti geodetických sietí vychádza zo základu skúmania a analýzy polohových súradníc bodov z jednotlivých epoch merania.

Z hľadiska testovaných veličín sa analýza rozdeľuje na:

- metódy parametrické,
- metódy neparametrické.

Parametrické metódy testovania využívajú diferencie súradníc testovaných bodov, zatiaľ čo neparametrické metódy testujú diferencie invariantov prvkov siete. Veličiny na testovanie sieťových štruktúr sa získavajú prostredníctvom odhadovacieho modelu MNS alebo pomocou robustných štatistických modelov.

Na testovanie kongruentnosti deformačných sietí sa najčastejšie používajú štatistické postupy testovania. Úlohou je posúdiť, či diferencie súradníc alebo invariantov siete sú štatistiky významné alebo nevýznamné. Za týmto účelom je potrebné zostaviť nulovú hypotézu H_0 , ktorá má tvar (Ječný, 2000; Sedlák, 1996; Kožarik 2000)

$$H_0 : E(\hat{\mathbf{C}}^1) = E(\hat{\mathbf{C}}^2), \quad (1)$$

respektíve v tvare:

$$H_0 : E(\mathbf{L}^1) = E(\mathbf{L}^2), \quad (2)$$

kde: $\hat{\mathbf{C}}^i$ je vektor vyrovnaných súradníc objektových bodov v epoche i ,

\mathbf{L}^i je vektor meraných veličín v epoche i .

To znamená, že stredná hodnota vektora vyrovnaných súradníc, respektíve meraní z prvej epochy sa rovná strednej hodnote vektora vyrovnaných súradníc respektíve meraní z druhej epochy.

Pre súradnicové diferencie $\delta\hat{\mathbf{C}}^i$ platí vzťah

$$H_0 : E(\delta\hat{\mathbf{C}}^1) = E(\delta\hat{\mathbf{C}}^2). \quad (3)$$

Častý zápis pre vyrovnané súradnice objektových bodov je vo anulovanej forme

$$\hat{\mathbf{C}}^1 - \hat{\mathbf{C}}^2 = \mathbf{0}. \quad (4)$$

Pre nulovú hypotézu H_0 sa používa tiež vzťah v tvare

$$H_0 : \mathbf{H}\boldsymbol{\Theta} = \mathbf{h}, \quad (5)$$

kde: \mathbf{h} je nulový vektor,

$\boldsymbol{\Theta}$ je matica odhadových parametrov.

S nulovou hypotézou sa porovnáva testovacia štatistika T . Univerzálna testovacia štatistika sa najčastejšie zostavuje na princípe pomeru testovanej veličiny a jej strednej chyby s

$$T = \frac{|\delta\hat{\mathbf{C}}|}{s \cdot \delta\hat{\mathbf{C}}}. \quad (6)$$

Pre vektor diferencií súradníc sa zostavuje nulová hypotéza $H_0: \mathbf{H}\boldsymbol{\Theta} = \mathbf{0}$. Podľa nej testovacia štatistika T bude mať tvar

$$T = \frac{\delta\mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_{\delta\hat{\mathbf{C}}}^{-1} \cdot \delta\mathbf{C}}{\frac{k}{\frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{Q}_L^{-1} \cdot \mathbf{v}}{f}}}, \quad (7)$$

kde: \mathbf{Q} je kofaktorová matica deformačného vektora,

\mathbf{v} je vektor opráv.

V čitateli je kvadratická forma súradnicových odchýlok a v menovateli aposteriórny variačný faktor s_0 . Po úprave je tvar testovacej štatistiky

$$T = \frac{\delta\mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_{\delta\hat{\mathbf{C}}}^{-1} \cdot \delta\mathbf{C}}{k \cdot s_0^2} \approx F(1 - \alpha, f_1, f_2), \quad (8)$$

kde: $1 - \alpha$ je koeficient spoľahlivosti,

α je hladina významnosti (95% alebo 99%),

f_1, f_2 sú stupne voľnosti F rozdelenia náhodnej premennej T ,

k je počet súradníc vstupujúcich do vyrovnania siete,

Stupne voľnosti sa volia podľa typu vyrovnania. Pre voľné vyrovanie platia vzťahy

$$f_1 = n - k + d, \quad f_2 = k - d \quad (9)$$

a pre väzbové vyrovanie vzťahy

$$f_1 = n - k, \quad f_2 = k, \quad (10)$$

kde: n je počet meraných veličín vstupujúcich do vyrovnania siete,
 d je defekt siete pri voľnom vyrovaní siete.

Testovaciu štatistiku T podrobíme porovnaniu s kritickou testovacou štatistikou T_{KRIT} . Tá sa vyhľadáva v tabuľkách F rozdelenia (Fischerovo rozdelenie) podľa stupňov voľnosti siete.

Pri porovnávaní môžu nastať dva prípady:

- $T \leq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa prijíma, čo znamená že hodnoty vektora diferencií súradníc sú nevýznamné;
- $T \geq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa zamieta, čo znamená že hodnoty vektora diferencií súradníc sú štatisticky významné. V takomto prípade môžeme tvrdiť, že nastala deformácia s hladinou významnosti α .

Analitický spôsob testovania

Ako prvý krok je definovanie nulovej hypotézy H_0 podľa vzťahu (Böhm et al., 1990)

$$H_0 = E(s_0^{2I}) = E(s_0^{2II}) = \sigma_0^2, \quad (11)$$

kde: σ_0 je výberová varácia .

Pri testovaní sa používa Fischerovo F rozdelenie, ktoré má stupne voľnosti f_1 a f_2 . Celé testovanie prebieha v troch fázach. Prvá fáza je testovanie porovnávacie, ktoré otestuje či merania v epochách boli rovnocenné. Druhá fáza je prevedenie globálneho testu, ktorý preukáže, či sa v spracovateľskom vektore vyskytujú údaje štatisticky významné. Tretia etapa je test identifikačný. Tento test sa realizuje iba ak sa nepotvrdí nulová hypotéza pri globálnom teste. Identifikačný test preverí štatistickú významnosť každého bodu jednotlivo.

Pri testovaní je vhodné najprv preverovať referenčné body. Ak niektorý referenčný bod testom neprejde, to znamená že je s pravdepodobnosťou α posunutý. Takýto bod sa preradí medzi objektové body, alebo sa zo spracovania vylúči.

Ak máme istotu, že referenčné body sú stabilné, tak testovaniu podliehajú iba body objektové. Porovnávací test pracuje s testovacou štatistikou T podľa vzťahu

$$T = \frac{s_0^{2I}}{s_0^{2II}} \approx F(f_1, f_2). \quad (12)$$

kde: I, II sú epochy merania.

Kritická hodnota T_{KRIT} sa vyhľadá v tabuľkách Fischerovho rozdelenia podľa stupňov voľnosti. $f_1=f_2=n-k$ alebo $f_1=f_2=n-k+d$.

Testovacia štatistika sa porovná s kritickou hodnotou a posudzuje sa nulová hypotéza:

- $T \leq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa prijíma, čo znamená, že merania v epochách sú si rovnocenné.
- $T \geq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa zamieta, čo znamená, že merania v epochách nie sú si rovnocenné.

Globálny test pracuje s testovacou štatistikou T_G podľa vzťahu

$$T_G = \frac{\hat{\delta C}^T \cdot Q_{\hat{\delta C}}^{-1} \cdot \hat{\delta C}}{k \cdot s_0^2} \approx F(f_1, f_2), \quad (13)$$

kde

$$s_0^2 = \frac{(v^T \cdot Q_L^{-1} v)^I + (v^T \cdot Q_L^{-1} v)^{II}}{f_1 + f_2}. \quad (14)$$

Kritická hodnota T_{KRIT} sa vyhľadá v tabuľkách Fischerovho rozdelenia podľa stupňov voľnosti. $f_1=k, f_2=n-k$ alebo $f_1=k+d, f_2=n-k+d$.

Testovacia štatistika sa porovná s kritickou hodnotou a posudzuje sa nulová hypotéza:

- $T \leq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa prijíma, čo znamená že, hodnoty vektora diferencií súradníc sú nevýznamné.
- $T \geq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa zamieta, čo znamená že, hodnoty vektora diferencií súradníc sú štatisticky významné. V tomto prípade musí prebehnúť tretia fáza, pri ktorej sa zistia body, ktoré vykazujú posun.

Identifikačný test pracuje so testovacou štatistikou T_i podľa vzťahu

$$T_i = \frac{\delta\hat{C}_i^T \cdot \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}}^{-1} \cdot \delta\hat{C}_i}{s_0^2} \approx F(f_1, f_2). \quad (15)$$

Kritická hodnota T_{KRIT} sa vyhľadá v tabuľkách Fischerovho rozdelenia podľa stupňov voľnosti. $f_1=n$ a $f_2=n-k$ alebo $f_1=1$ a $f_2=n-k+d$.

Testovacia štatistika sa porovná s kritickou hodnotou a posudzuje sa nulová hypotéza:

- $T \leq T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa prijíma, čo znamená že, hodnota rozdielu vyrovnaných súradníc testovaného bodu je štatisticky nevýznamná.
- $T > T_{KRIT}$ nulová hypotéza H_0 sa zamietá, čo znamená že, hodnota rozdielu vyrovnaných súradníc testovaného bodu je štatisticky významná. Bod preukazuje s pravdepodobnosťou α posun.

Po zistení posunu bodu sa z testovania vylúči a celý súbor sa podrobí testovaniu ešte raz.

Určenie kofaktorovej matice deformačného vektora

Aby mohlo prebehnúť testovanie diferencií súradníc, je potrebnú určiť kofaktorovú maticu diferencií súradníc $\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}}$. Jej veľkosť sa určí vzťahom

$$\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}} = \mathbf{Q}_{\hat{C}}^I + \mathbf{Q}_{\hat{C}}^{II} - (\mathbf{Q}_{\hat{C}}^{I,II} + \mathbf{Q}_{\hat{C}}^{II,I}). \quad (16)$$

Tento vzťah je platný pri spoločnom vyrovnaní siete. Pri separátnom vyrovnaní deformačnej siete platí nasledujúci vzťah

$$\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}} = \mathbf{Q}_{\hat{C}}^I + \mathbf{Q}_{\hat{C}}^{II}. \quad (17)$$

Z tohto vyplýva, že je potrebné zvoliť vhodnú štruktúru a následný postup spracovania deformačnej siete.

Analiticko–grafický spôsob testovania

Výsledkom je grafická podoba posunu bodu, pričom sa vychádza zo vzťahu

$$\delta\hat{C}^T \cdot \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}}^{-1} \cdot \delta\hat{C} = T \cdot k \cdot s_0^2. \quad (18)$$

Tento vzťah predstavuje rovnicu elipsy. Na vykreslenie elipsy je potrebné poznať hodnoty poloosi elipsy a hodnotu uhla pootočenia elipsy okolo súradnicového systému. K výpočtu hodnôt poloosi $a_{i\alpha}$, $b_{i\alpha}$ použijeme nasledujúce vzťahy

$$a_{i\alpha}^2 = ((\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}} + \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{yi}}) + \sqrt{(2\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}} - \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{yi}})^2 + 4 \cdot (\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}\delta\hat{C}_{yi}}^2)}). F(1-\alpha, 2, n-k) \cdot s_0^2, \quad (19)$$

$$b_{i\alpha}^2 = ((\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}} + \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{yi}}) - \sqrt{(2\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}} - \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{yi}})^2 + 4 \cdot (\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}\delta\hat{C}_{yi}}^2)}). F(1-\alpha, 2, n-k) \cdot s_0^2, \quad (20)$$

kde $a_{i\alpha}$ je veľkosť hlavnej poloosi elipsy v mm,

$b_{i\alpha}$ je veľkosť vedľajšej poloosi elipsy v mm.

Uhol pootočenia φ sa určí podľa vzťahu

$$\operatorname{tg} 2\varphi_a = \frac{2 \cdot \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}\delta\hat{C}_{yi}}}{\mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{xi}} - \mathbf{Q}_{\delta\hat{C}_{yi}}}. \quad (21)$$

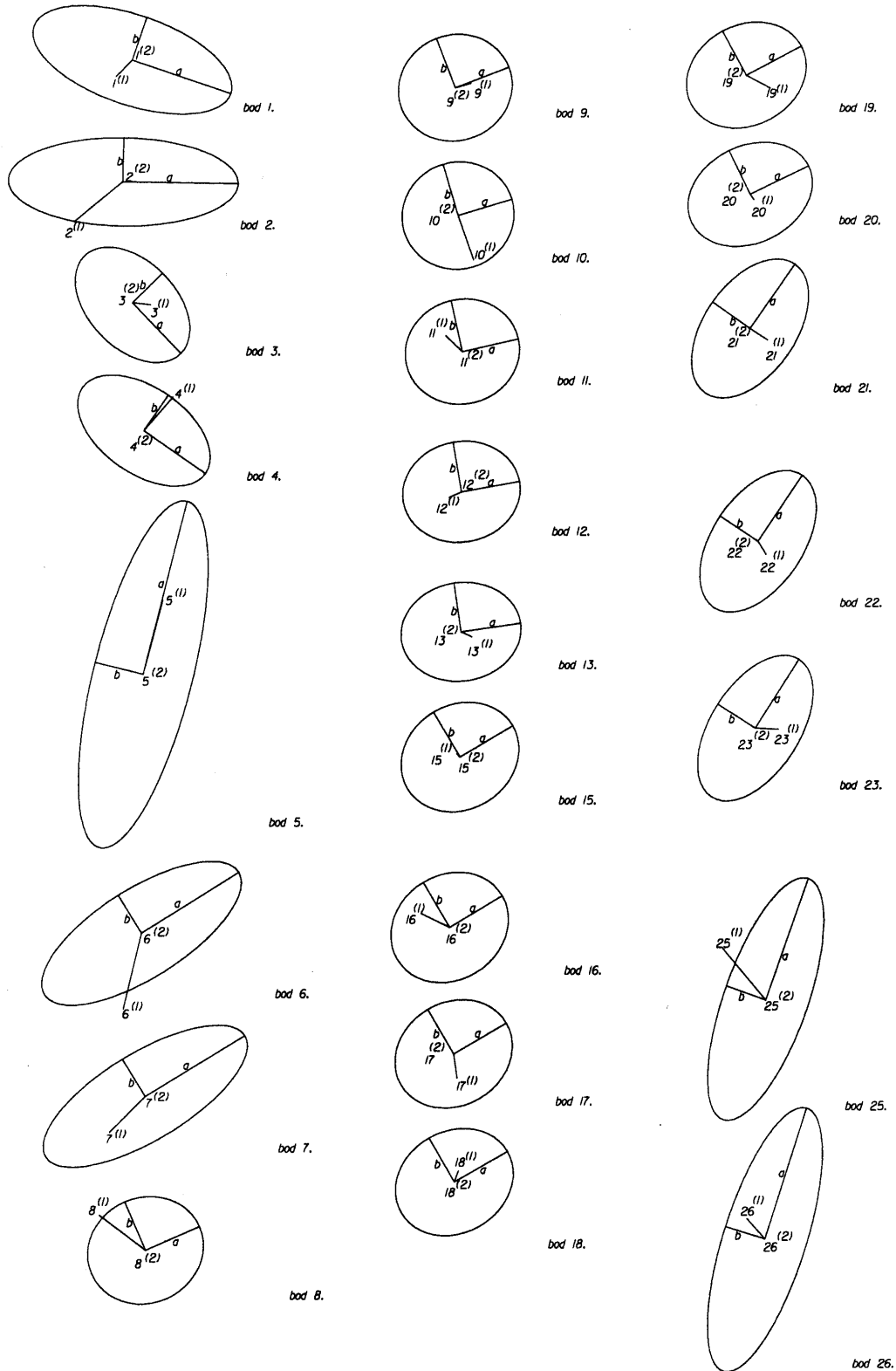
Takéto elipsy sa nazývajú konfidenčné (relatívne). Dajú sa zostaviť len v prípade, ak sa zvolí spoločný postup spracovania deformačnej siete. Konfidenčná elipsa sa vykreslí podľa konštrukčných prvkov so stredom v bode z druhej epochy. Zobrazí sa tiež polohový vektor medzi polohou bodu z druhej a prvej epochy. Nulová hypotéza je formulovaná konfidenčnou elipsou, ktorá pokrýva celý polohový vektor v plnom rozsahu. Elipsa necharakterizuje posun bodu ak, pokrýva polohový vektor v plnom rozsahu. Nulová hypotéza sa prijíma. Elipsa charakterizuje posun bodu ak, nepokrýva polohový vektor v plnom rozsahu. Nulová hypotéza sa zamietá.

Výsledky analyticko–grafickej analýzy

Meranie a spracovanie bolo realizované v epochách jar 1999 a jar 2000. Časový úsek medzi epochami bol dvanásť mesiacov. Išlo o polohové pozorovanie deformácií vodného diela Pod Bukovcom. Realizovalo sa voľné, spoločné vyrovnanie deformačnej siete objektových bodov. Sieť bola spracovaná metódou najmenších štvorcov (MNS). Spracovateľský postup bol riadený matematickým modelom Gauss–Markovým (GMM). Vzhľadom na to boli určené aj hladiny významnosti a stupne voľnosti. Zvolená sieť mala dostatočnú redundanciu, nadbytočnosť

meraní. Z kofaktorovej matice za použitia príslušných vzorcov boli vypočítané konštrukčné prvky konfi- denčných elíps, ktoré sú obsiahnuté v tabuľke (tab. 1.) a konfi denčné elipsy (obr. 3.). (Ječný, 2000).

Po spracovaní výsledkov bola prevedená pre porovnanie aj analytická analýza. Podľa tejto analýzy mala hodnota globálneho testu T_G hodnotu 1,5498 a hodnota T_{KRIT} hodnotu 1,8284. Z tohto vyplýva, že ani jeden objektový bod nezaznamenal štatisticky významný posun za obdobie medzi epochami. Bolo otázne či sa výsledky z analytickej analýzy potvrdia aj pri analiticko-grafickej analýze.



Obr.3. Konfi denčné elipsy ($M=10:1$).
Fig.3. The confidence ellipsis ($M=10:1$).

Tab.1. Výsledky analiticko-grafického testovania.
Tab.1. The analytic-graphic testing results.

BOD	a [mm]	b [mm]	φ_a [°]
1	10,785	4,654	289,1788
2	11,917	4,572	271,1377
3	7,251	4,341	316,2047
4	7,772	4,440	304,6711
5	18,460	5,119	194,1328
6	11,803	4,582	238,1088
7	12,063	4,548	238,6154
8	6,086	5,444	246,6188
9	5,962	5,503	249,0293
10	5,841	5,537	253,5228
11	5,962	5,380	257,2947
12	6,140	5,212	260,2185
13	6,269	5,106	261,8504
15	6,358	5,406	239,4482
16	6,344	5,389	239,4007
17	6,338	5,352	239,5853
18	6,360	5,299	240,3191
19	6,450	5,209	241,8465
20	6,713	5,045	244,1852
21	8,076	4,754	215,0106
22	8,221	4,710	213,8748
23	8,421	4,648	212,3949
25	13,162	4,317	199,6478
26	14,239	4,276	197,5029

Záver

Nezávislé výsledky analiticko-grafickej analýzy potvrdili predpoklad, že objektové body a tým aj objekt hrádze nezaznamenal štatisticky významný posun s určitou na 95%. Konfidenčné elipsy bodov číslo 6, 8 a 25 nespĺňajú nulovú hypotézu, pretože deformačný vektor elipsu presahuje. Nepokrytie polohového vektora je však nepatrné, z čoho bol dedukovaný záver, že posun u týchto bodov nenastal.

Pozorovanie hrádze vodného diela Pod Bukovcom sa vykonáva od jeho dostavby až po súčasnosť. Pozorovanie je pravidelné. Časový úsek medzi epochami sa po stabilnom priebehu pohybov objektu hrádze postupne predĺžil z pol roka na dobu dvoch rokov. Výsledky tento stabilný trend iba potvrdili. Z geodetických analýz spracúvaných po každom pozorovaní sa získané poznatky uplatnia pri projektovaní a pozorovaní deformácií podobných vodných diel. Tým sa zvýši bezpečnosť pre obyvateľov žijúcich v blízkosti a predíde sa i prípadným ekonomickým a ekologickým škodám zapríčineným haváriou na vodnom diele.

Literatúra

- ABELOVIČ, J., MIČUDA, J., MITÁŠ, J. A WEIGEL, J.: Meranie v geodetických sieťach. *Alfa*, Bratislava, 1990.
- BÖHM, J., RADOUCH, V. A HAMPACHER, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. *GKP*, Praha, 1990.
- DOBEŠ, J.: Presné lokálne geodetické siete. *Slovenská kartografia*, Bratislava, 1990.
- JEČNÝ, M.: Polohové zameranie hrádze Pod Bukovcom a určenie horizontálnych pohybov. *Diplomová práca*. KGaG F BERG, TU Košice, 2000, 84s.
- KOŽARÍK, M.: Analýza výsledkov merania zvislých posunov vybraných objektov jadrovej elektrárne V-1 v Jaslovských Bohuniciach. *Acta Montanistica Slovaca*, roč.5, č. 2/2000, 130-140.
- SEDLÁK, V.: Matematické modelovanie lomových bodov v poklesových kotlinách. *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 1, č. 4/1996, 317-328.
- SEDLÁK, V.: Zem a priestorové súradnicové systémy. *Monograph, Štroffek (vyd.)*, Košice, 1999, 78s.
- STN 73 0405: Meranie posunov stavebných objektov.
- TC Leica 605 L: *Manuál a tech. materiály*, 1999.
- Technické podklady a výsledky pozorovania deformácií vodného diela pod Bukovcom. *Tech. správy*, VSŽ, a.s. Košice, 1965-98.