

FOTOM 2001 a vizualizace procesu měření důlních děl

Lačezar Ličev¹

FOTOM 2001 and visualization of measurement process of mining holes

The paper acquaints us with the area of scientific photogrammetry, especially with mining and digital photogrammetry. By making us of knowledge from this area, the system FOTOM 2001 was developed, which serves largely for measuring profiles of vertical mining holes using photogrammetry, newly, also for measuring data in other spheres. In the paper, the system is described along with its functions.

Úvod

Hlavním úkolem vizualizace procesu měření je prezentovat naměřené údaje, a to zcela jiným způsobem než jsou výsledky měření zobrazovány v tabulkách nebo sestavách. Přímá řeč čísel je sice jasná, avšak vyjádření výsledků měření i grafickou formou může mít někdy větší vypovídací hodnotu. Článek se zabývá moderními metodami při zpracování snímku v rámci měření objektů na něm.

2D modelování

Objekty

Je navrženo šest druhů zájmových objektů: samostatný bod, hrana, vrchol, kružnice, elipsa a polygon. Tyto objekty se definují v režimu editace bodů označením určitého počtu zájmových bodů a vyvoláním příkazu pro vytvoření určitého druhu objektu. Popis jednotlivých druhů zájmových objektů:

- **Bod**
Nejjednodušší objekt, prostě bod. Sledovaným parametrem je souřadnicová poloha bodu na snímku.
- **Hrana**
Objekt daný dvěma body tvořícími úsečku. Sledovaný parametr je poloha středu této úsečky.
- **Vrchol**
Jedná se o průsečík dvou přímek, kde každá přímka je dána dvěma body. Vrchol je tedy definován čtyřmi body. Sledovaným parametrem je poloha tohoto vrcholu.
- **Kružnice**
Sledovanými parametry kružnice jsou poloha jejího středu, poloměr kružnice, plocha kružnice a také její intenzita. Kružnice je dána alespoň třemi body.
- **Elipsa**
Sledovanými parametry elipsy jsou poloha jejího středu, délka hlavní a vedlejší poloosy, úhel natočení hlavní poloosy od osy x, dále plocha elipsy a také její intenzita. Elipsa je dána pěti body.
- **Polygon**
Polygon je uzavřená hranice vytvořená spojením n bodů n-1 hranami. U polygonu sledujeme polohu jeho těžiště, plochu kterou zabírá a také intenzitu polygonu. Křivost určuje prohnutí křivek, které prokládají hrany polygonu.

Společným parametrem všech zájmových objektů je pozice jejich středu v rámci snímku. Při práci s měřickým snímkem budeme nejčastěji využívat ty objekty, které mají vnitřní plochu (kružnice, elipsa a polygon). Tyto objekty jsou vhodné pro označení světelné stopy na snímku. Tyto objekty mají svůj obsah, a proto je lze použít k výpočtu objemu, např. důlní jámy, jež zabírá v zemi. Tytéž objekty mohou mít definovány kromě obsahu i parametr intenzity, jehož využijeme v jiných oborech, a to např. v lékařství, kde můžeme určovat velikost a intenzitu novotvarů na rentgenovém snímku. V tomto případě pak jako interval měření používáme časový interval (datum nebo čas).

Příklad snímku, na kterém jsou zobrazené některé ze zájmových objektů uvádí *obr. 1*.

Relativní natočení objektů

Profil důlního díla má např. kruhový tvar. Pokud je jáma zdeformována ohybem a my se na ní díváme z boku, můžeme dojít k různým výsledkům. V takovémto případě záleží z jakého úhlu se díváme. Pokud se budeme dívat z mezního úhlu (0°), bude se i prohnutá kanálová plocha jevit jako nezdeformovaná.

¹ Doc. Ing. Lačezar Ličev, CSc., Katedra informatiky VŠB – Technická univerzita Ostrava, tř. 17. Listopadu, 708 33 Ostrava – Poruba (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11.7.2001)

Proto by byla na místě možnost volby úhlu pohledu, ze kterého se na daný zájmový objekt díváme, tzv. **relativní natočení**.

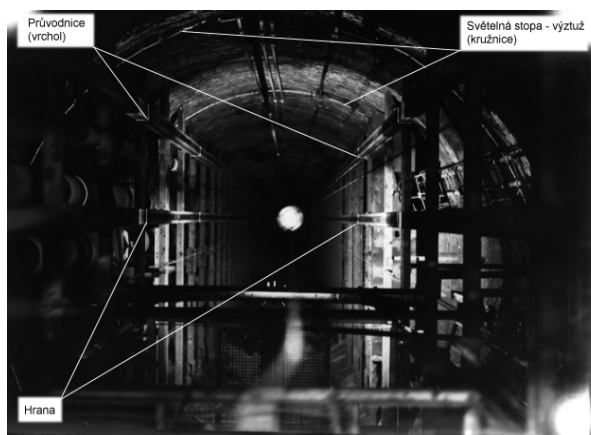
Vzdálenosti mezi objekty

Neméně významnými ukazateli pro zjištění deformací důlního díla jsou **vzdálenosti mezi středy zájmových objektů** v jednotlivých profilech. Ty mohou přinést další údaje o celkové statice důlního díla. Parametry jednotlivých zájmových objektů poskytují informace o změně geometrických vlastností samotných objektů, rovinné vzdálenosti mezi různými objekty poukazují na změnu vzájemné pozice (středů) těchto objektů v rovině profilu. Pokud zobrazíme graf na jehož y-ové ose zobrazíme příslušnou vzdálenost mezi dvěma objekty pro každý měřený profil na ose x, získáme přehled o vzájemné změně polohy obou objektů v rámci všech profilů najednou.

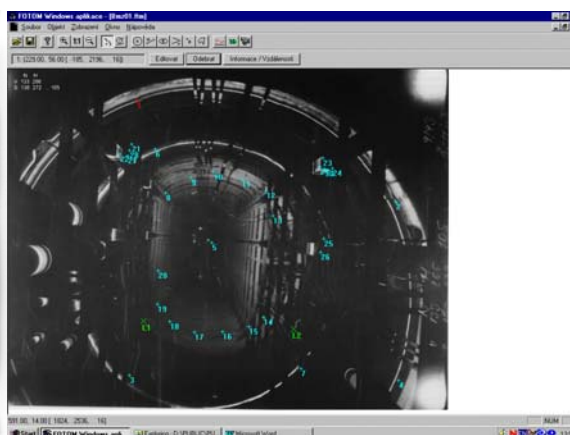
Moduly systému FOTOM 2001, které řeší problematiku 2D modelování jsou FOTOM1 a FOTOM2, viz. obr. 2 a 3.

3D modelování

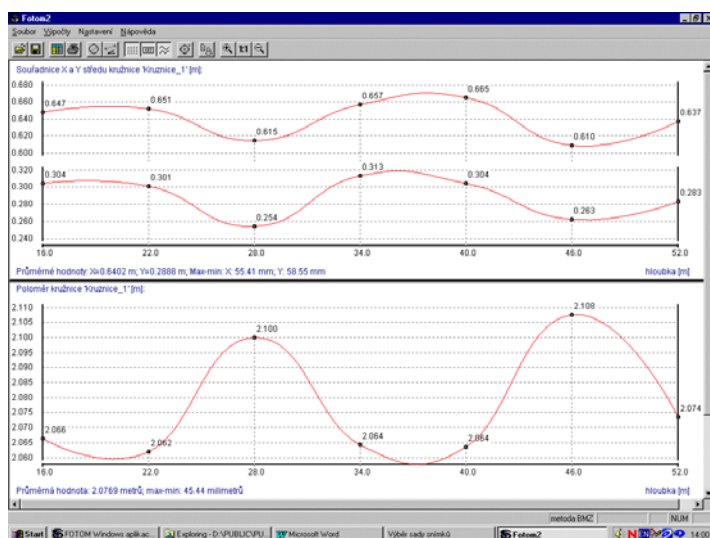
K zobrazení trojrozměrné scény (3D) na monitoru počítače, který má fyzickou schopnost zobrazovat pouze dvojrozměrné objekty, je nutno tuto 3D scénu převést. K tomuto účelu se v počítačové grafice užívá promítání. Promítáním rozumíme zobrazení vektoru (x',y',z') \rightarrow (x,y) . Nejznámější druhy promítání jsou následující (Žára, 1992).



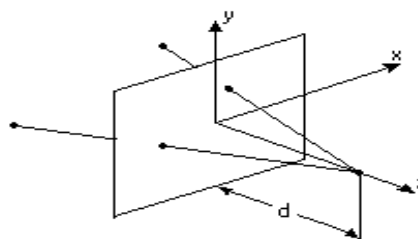
Obr.1. Snímek profilu jámy - druhy zájmových objektů.



Obr.2. Modul FOTOM1 – označení zájmových bodů a objektů.



Obr.3. Modul FOTOM2 – 2D modelování procesu měření.



Obr.4. Středové promítání.

Středové promítání

Střed promítání (x_c, y_c, z_c) , pod kterým si můžeme představit oko pozorovatele, bývá často umístěn na ose z v konečné vzdálenosti od průmětny xy ($z=0$). V takovém případě má souřadnice jednoduše $(0,0,d)$, kde jeho výška d je totožná se vzdáleností od průmětny (*obr. 4*). Při promítání prostorového bodu $P_1=(x_1, y_1, z_1)$ zapíšeme promítací paprsek v parametrickém tvaru:

$$\begin{aligned} x &= x_1 - tx_1 \\ y &= y_1 - ty_1 \\ z &= z_1 - t(z_1 - d), \end{aligned} \quad \text{kde } t \in \langle 0,1 \rangle. \quad (2.1)$$

Hledaný bod $P_2=(x_2, y_2, z_2)$ v průmětně má souřadnici $z_2=0$. Parametr t nabývá pro $z=0$ hodnoty $z_1/(z_1-d)$. Dosazením do rovnic (2.1) určíme zbylé dvě souřadnice bodu P_2 :

$$(x_2, y_2) = \left(x_1 \frac{d}{d - z_1}, y_1 \frac{d}{d - z_1} \right) = \left(x_1 \frac{1}{1 - z_1/d}, y_1 \frac{1}{1 - z_1/d} \right). \quad (2.2)$$

Použijeme-li trojrozměrné homogenní souřadnice, můžeme zapsat středovou transformaci v maticovém tvaru:

$$P_2 = [x_2 \quad y_2 \quad z_2 \quad 1] = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 0 & 1 - \frac{z_1}{d} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Rovnoběžné promítání

Při tomto způsobu promítání jsou všechny paprsky rovnoběžné. Podle toho, jaký svírají úhel s průmětnou, dělíme rovnoběžné promítání na pravoúhlé pro úhel 90° a kosoúhlé pro ostatní úhly.

Typickými strojními výkresy, které vznikly pravoúhlým promítáním, jsou půdorysy, nárýsy, či bokorysy. Jsou to průměty do průměten kolmých na jednu ze souřadnicových os. Nejjednodušší z nich – půdorys – získáme pouhým zanedbáním souřadnice z . Matice tohoto pravoúhlého promítání má tvar:

$$M_{pravo.} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Kosoúhlé promítání

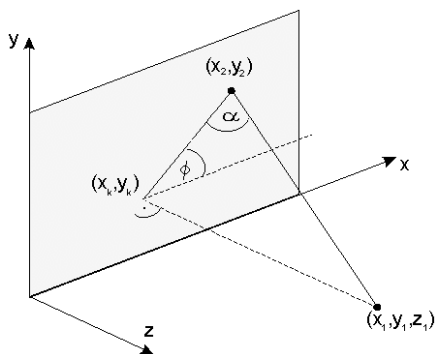
Kosoúhlý průmět získáme promítnutím bodů do průmětny ve směru, který není kolmý k průmětně. Na *obr. 5* je zobrazeno kosoúhlé promítání bodu (x_1, y_1, z_1) promítacím paprskem do polohy (x_k, y_k) . Promítací paprsek svírá úhel α s úsečkou v průmětně, která je určena body (x_2, y_2) a (x_k, y_k) . Tato úsečka má délku L a svírá úhel ϕ s vodorovným směrem v průmětně.

Prostorové ořezávání

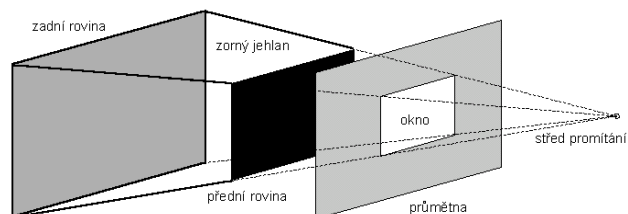
Podobně jako objektiv fotoaparátu dokáže zachytit jen určitý výřez okolního prostoru, také zde je žádoucí vybrat úsek trojrozměrného prostoru, ve kterém leží promítané objekty (Žára, 1992).

Při rovnoběžném promítání vybereme objekty nejsnáze tak, že definujeme **zorný hranol**, který obklopí potřebnou prostorovou oblast. Zorný hranol má stěny rovnoběžné se souřadnicovými osami. Umístění stěn hranolu a jeho rozměry vlastně určují okénko v průmětně. Hranol je kolmý na průmětnu a jeho přední a zadní stěna (ořezávací rovina) je určena dvěma rovinami rovnoběžnými s průmětnou.

Výběr prostorové oblasti určené k zobrazení se u středového promítání provádí pomocí **zorného jehlanu**. Jeho vrchol je v místě stanoviště pozorovatele, jeho strany vytínají rovnoběžník odpovídající okénku v průmětně (obr. 6). Po zadání přední a zadní ořezávací roviny se zorný jehlan mění na komolý.

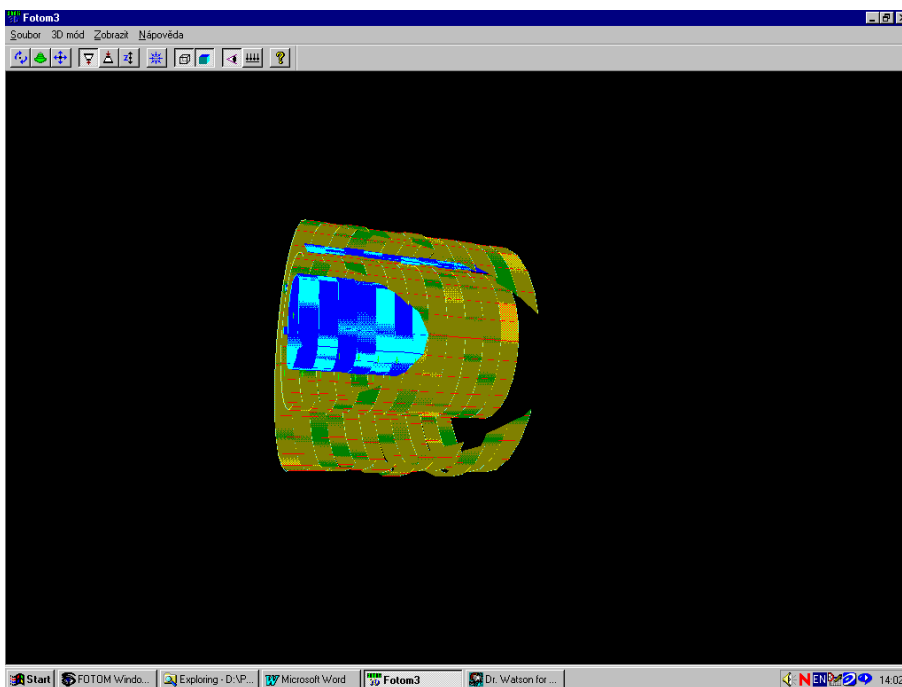


Obr.5. Rovnoběžné promítání kosohlé.



Obr.6. Promítání pomocí zorného jehlanu

Modul systému FOTOM 2001, který řeší problematiku 3D modelování je FOTOM3, viz. obr. 7.



Obr.7. Modul FOTOM3 – 3D modelování procesu měření.

Animace procesu měření

Počítačová animace obecně

Vznik oboru počítačové grafiky nazývaného počítačová animace se datuje do doby, kdy byly počítače poprvé použity jako pomocníci animátorů, kteří se zabývají klasickou dvojrozměrnou animací. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější spíše než počítačová animace říkat počítačem podporovaná animace, protože počítač je používán jako nástroj, a ne něco, co samo aktivně tvoří (Beneš, 1999).

Podle způsobu, jak jednotlivé algoritmy řeší úlohy pohybu, můžeme rozdělit počítačovou animaci na nízkoúrovňovou a vysokoúrovňovou. Na nižší úrovni se například zabýváme tím, jak se pohybuje hmotný bod po křivce, jak se chová látka, která pokrývá virtuální figurku, jak padají kapky vody z mraku na zem, jak se mezi sebou odrážejí kameny vyletující ze sopky, jaký tvar má oheň aj. Animace na vyšší úrovni je založena na animaci nízkoúrovňové tak, že dílčí úlohy jsou chápány jako jakési bloky, které se nemusejí řešit a z nichž se skládají pohyby komplikovanější. Na vyšší úrovni se zabýváme například tím, jak má nějaká ruka uchopit

objekt, například virtuální panáček virtuální sklenici virtuálního nápoje. Řešení kolizí, výpočet dynamiky pohybu atd. přenecháváme algoritmům nižší úrovně. Nejde tedy o dva oddělené světy, ale vyšší úroveň je přímo založena na úrovni nižší. Mezi vyšší animační techniky patří zejména inverzní a přímá kinematika.

Využití animace ve fotogrammetrii

Hlavním úkolem je pomocí animace prezentovat naměřené údaje, a to zcela jiným způsobem než jsou výsledky měření zobrazovány v grafech.

Druhý případ snímkové animace má již praktičtější využití. Každý digitalizovaný měřický snímek je podroben rotaci, změně měřítka a nakonec při zobrazování i posunu v obou osách. Touto transformací zajistíme, že snímky budou na sebe navzájem správně navázány a při spuštění animace docílíme vjemu pohybu šachtou apod.

• Animace objektů

Animace objektů je stěžejní zobrazovací mód modulu pro animaci FOTOM4. Jedná se o zobrazování nebo animaci zájmových objektů na nějakém pozadí, kterým je často samotný zdigitalizovaný měřický snímek. Takto můžeme názorně analyzovat či prezentovat měření sledováním polohy nebo geometrických vlastností zájmových objektů, prozrazující deformace např. důlního díla a jiné.

Animace rychle za sebou jdoucích snímků měřených profilů spolu s jejich zájmovými objekty má význam hlavně ve spojitosti s výpočtem transformací, které provádíme kvůli zajištění správné vzájemné orientace zobrazovaných objektů. Stejně jako při animaci snímků se i zde jedná o transformace lokálních vřícovacích bodů na pozici totožných lokálních vřícovacích bodů v referenčním profilu. Jakmile tedy získáme rotaci, změnu měřítka a posun, použijeme je na transformaci bodů.

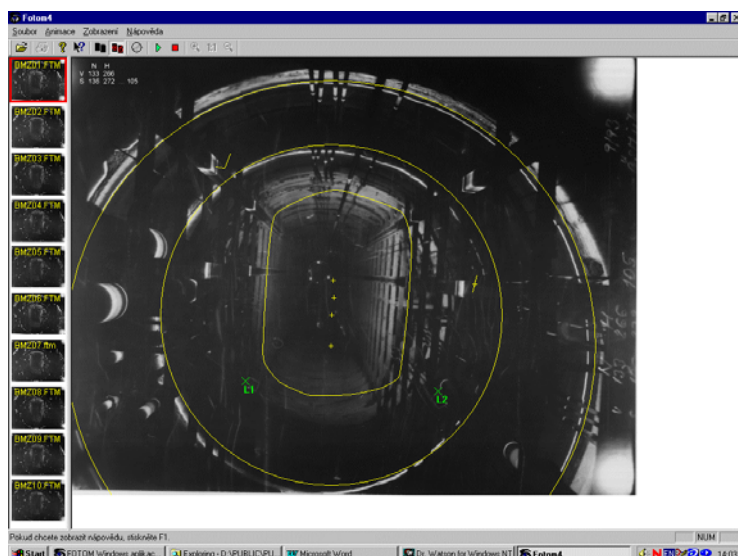
• Animace snímků

Pod pojmem animace snímků rozumíme zobrazování nebo animaci měřických snímků, ať už jsou transformovány či nikoli.

Samozřejmě, že využití animace snímků při prezentaci výsledků měření má smysl hlavně pokud transformace snímků provádíme. Avšak i když tomu tak není, můžeme si při takové animaci udělat základní představu o kvalitě jednotlivých snímků: např. o kvalitě jejich naskenování, také lze vidět rozdílné expoziční doby a přeexponování či podexponování snímků atd. I tady je tedy animace namístě, zvláště když si uvědomíme, že tak ihned dostaneme ucelený přehled o kvalitě celé sady měřických snímků a parametrů zájmových objektů.

Další zvýšení čitelnosti zobrazovaných dat

Pro větší názornost se také používá zobrazování více zájmových objektů z různých profilů současně. Vždy jsou zobrazovány totožné zájmové objekty (tj. jedná se vždy o objekt stejného typu, který je nadefinován ve všech analyzovaných profilech) – navíc profily, jejichž objekty jsou zobrazovány najednou, jsou často voleny tak, že spolu bezprostředně sousedí. Tím získáme ještě větší čitelnost zobrazených informací založenou na předpokladu přímého srovnání pozic anebo geometrických vlastností zájmových objektů z různých profilů. Zájmové objekty každého profilu jsou pak vykreslovány svou specifickou barvou, pro lepší odlišení od objektů z jiných profilů.



Jednou z neposledních možností zlepšení názornosti je cyklická změna pozadí zájmových objektů. Jistě by bylo praktické zobrazovat transformované zájmové objekty na pozadí, které by stále tvořil netransformovaný měřický snímek referenčního profilu. Tak bychom mohli vizuálně porovnat, zda např. vybraný zájmový objekt leží přesně na světelné stopě na snímku. Také však může být výhodné měnit snímky na pozadí častěji po každém n-tém zobrazeném profilu.

Modul systému FOTOM 2001, které řeší problematiku animace procesu měření je FOTOM4, viz. obr. 8.

Obr.8. Modul FOTOM4 – animace procesu měření.

Měření odchylek důlních jam a syntéza dvou měření

Měření odchylek

Provádíme-li měření jámy pomocí fotogrammetrických metod, vedle přímých hodnot parametrů zájmových objektů nás zajímají také i odchylky těchto hodnot od pevně stanoveného zvoleného průměru nebo projektových hodnot. Například odchylka od průměrné hodnoty může odhalit v důlní jámě místa deformace.

Při výpočtu odchylek je důležité určit správně průměrnou hodnotu, ke které se odchylka vztahuje. První a nejjednodušší možností je volba aritmetického průměru naměřených hodnot. Dále můžeme označit soubor charakterizující dané měření pro nás vhodným způsobem jako projektový soubor a za průměrnou hodnotu použít hodnotu parametru z tohoto souboru.

- **Odchylky od vypočteného aritmetického průměru**

Aritmetický průměr získáme dělením součtu hodnot parametrů v celé sérii snímků počtem snímků v sérii. Získáme tak střední hodnotu parametru, se kterou však většinou žádná z hodnot parametrů není shodná a vykazuje vůči ní odchylku. Tyto odchylky nabývají vždy jak kladných, tak i záporných hodnot. Jestliže použijeme aritmetický průměr pro výpočet odchylek, můžeme z jejich velikosti snadno zjistit například místa největších deformací v jámě apod.

- **Odchylky od projektovaných hodnot**

V tomto případě je místo průměrné hodnoty pro výpočet odchylek brána hodnota parametrů ze souboru charakterizujícího projektovaný stav. Tento soubor nazýváme *projektový* a hodnoty parametrů uložené v něm odpovídají hodnotám projektovým.

Při použití této metody je nutné přesně vytvořit projektový soubor tak, aby hodnoty v něm uložené určily skutečné hodnoty odchylek, ze kterých je možné zjistit změny stavu měřeného objektu apod.

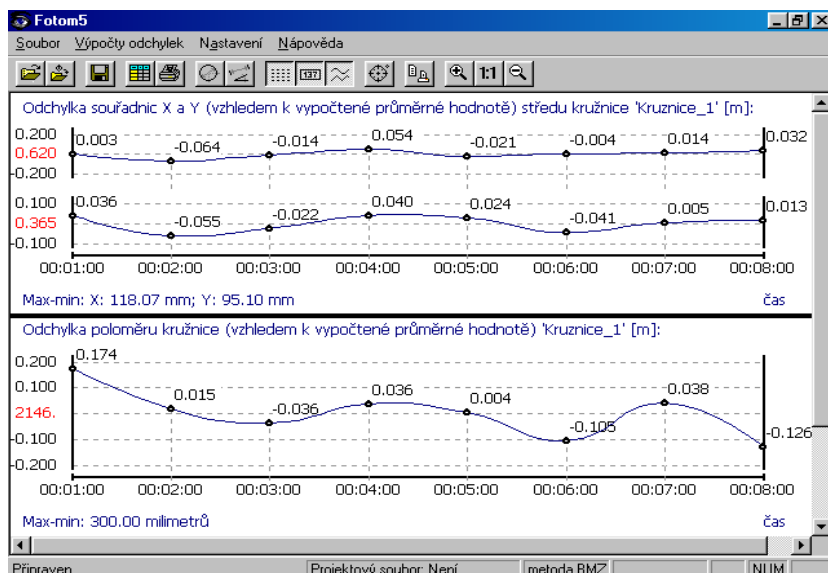
Porovnání obou přístupů k měření odchylek:

Nedostatkem aritmetického průměru je skutečnost, že se jeho velikost pro různá měření může měnit a dále vypovídá pouze o aktuálním stavu jámy, nezjistíme z něj kde se parametry v poslední době nejvíce změnily, což nás také zajímá.

Jestliže potřebujeme zjistit aktuální stav měřeného objektu použijeme projektované hodnoty, a tím získáme přesný obraz aktuálního stavu a to pro celý měření interval.

Je nutné před započítím vyhodnocení odchylek zvážit, co přesně potřebujeme a vybrat průměrnou nebo projektovou hodnotu, se kterou docílíme potřebných výsledků.

Modul systému FOTOM 2001, které řeší problematiku měření odchylek je FOTOM5, viz. obr. 9.



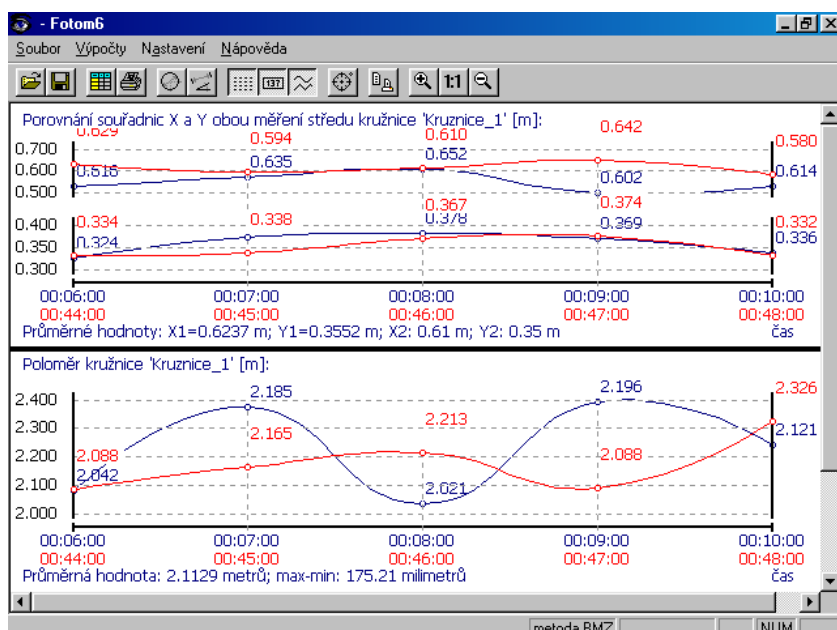
Obr. 9. Modul FOTOM5 – měření hodnot odchylek.

Syntéza dvou měření

V některých případech nám ovšem ani odchylky od průměrných nebo projektových hodnot nestačí. Jestliže například potřebujeme zjistit změny hodnot parametrů zájmových objektů, které nastaly od minulého měření,

a to v každém bodě měřicího intervalu. V tomto případě je vhodnější zobrazit parametry z aktuálního měření do jednoho grafu spolu s parametry z měření dřívějšího, oproti kterému chceme zjistit změny.

Modul systému FOTOM 2001, které řeší syntézu dvou měření je FOTOM6, viz. obr. 10.



Obr.10. Modul FOTOM6 – syntéza dvou měření.

Architektura systému FOTOM2001

Systém FOTOM2001 vznikl doplněním systému FOTOM2000 o další funkci modulu FOTOM1 a o další moduly FOTOM5 a FOTOM6. Tyto nové moduly byly taktéž vypracovány na katedře informatiky FEI VŠB TU Ostrava.

- Modul FOTOM1 – označení zájmových bodů a objektů,
- Modul FOTOM2 – 2D modelování procesu měření,
- Modul FOTOM3 – 3D modelování procesu měření,
- Modul FOTOM4 – animace procesu měření,
- Modul FOTOM5 - měření hodnot odchylek,
- Modul FOTOM6 - porovnání dvou měření.

Závěr

Článek se zabývá moderními metodami použitými při zpracování snímku v rámci měření objektů na snímku.

V článku je popsáno 2D modelování procesu měření. Zde byly stanoveny a popsány objekty na snímku. Interval měření může být podle charakteru měření v metrech nebo v čase (datum nebo hodiny). Dále je v rámci 2D modelování procesu měření vyřešena i otázka relativního natočení objektů.

V článku je popsáno také i 3D modelování. Zde byla analyzována problematika promítání, které tvoří základ převedení prostorového obrazu do dvourozměrného.

Dále je popsáno řešení problematiky počítačové animace a to animace objektů a animace snímků.

Vedle přímých hodnot parametrů zájmových objektů, nás zajímají také i odchylky těchto hodnot od vypočtených průměrů nebo od projektových hodnot parametrů. Nástroje umožňující měření a modelování těchto odchylek a porovnávání dvou měření na tohož objektu jsou součástí systému FOTOM 2001.

Literatura

- BENEŠ, B.: Počítačová grafika od 2D do 3D – 11. část, *CHIP*, ročník IX/1999, číslo 3, ISSN 1210-0684
 ŽÁRA, J. a kolektiv: Počítačová grafika – principy algoritmy, První vydání, Praha, *GRADA*, 1992. ISBN 80-85623-00-5