

Analýza deformací v poddolovaných lokalitách z opakovaných polohových měření s využitím webové aplikace a mapových služeb WMS

Talich Milan¹

Deformation analysis of the repeated positional surveys in the undermined localities using web applications and WMS map services

The XML web application for on-line calculations of deformation analysis from the repeated positional surveys using Internet service and data is described. Parameters of deformation field (strain tensors, total dilatations) are determined in a grid network covering the zone of interest. Displacement vectors from repeated measurements at given points of a geodetic network represent the input data of calculation. The calculation is based on application of the theory of continuum mechanics and its fundamental prerequisite is homogeneity of the researched territory.

The application currently utilizes the Web Map Services - WMS for the graphic presentation of calculated results as GIS. This service for example enables on-line thematic map composition as defined by the user in the window of Internet explorer based on data given by servers of WMS service. Thus the user does not need to own any geographic data to create his/her GIS.

Furthermore there are also given application examples of the repeated geodetic surveys used in the field at localities in the forefront of ČSA giant quarry at Komořany and in the undermined territory in Ostrava region. The examples show the independence of calculated values of tensors from rotation and translation of the coordinate systems in practise. This fact gives the evidence that the deformation analysis is more objective dynamic indicator in the researched area and not only the calculus and representation of point displacement vectors. After registration this application is at all interested persons disposal to on-line calculations via the Internet.

Keywords: deformation analysis, undermined localities, XML, WMS, displacement vectors

Úvod

Analýza polohových deformací zemského povrchu za účelem zjištění geodynamiky zájmového území nepatří mezi úlohy, které by řada geodetů řešila ve své každodenní běžné praxi. Jako velmi výhodné se pro tento úkol ukazuje použití mechaniky kontinua, a to z několika důvodů, které budou podrobněji popsány dále. Nutným předpokladem je zde ovšem homogenita vyšetřovaného území. Znamená to, že není-li podmínka splněna, nezbyvá než pokusit se rozdělit území na několik homogenních částí a výpočty provádět pro každou tuto část odděleně.

Praktičtí geodeti také obvykle nemají běžně k dispozici potřebné SW nástroje k jejímu výpočtu. Výpočty jsou totiž poměrně náročné a stejně tak i požadavky na potřebné teoretické znalosti. V tomto okamžiku se pak nabízí využít možností a vlastností webových výpočetních aplikací k řešení zmíněné úlohy. Z jejich hlavních výhod v tomto případě můžeme uvést:

- uživatel nepotřebuje mít podrobné teoretické znalosti pro zvládnutí složitější výpočetní úlohy, stačí mu znát principy řešení, jeho věcný význam a omezení pro použití,
- uživatel nepotřebuje vlastnit software pro méně běžné nebo složité výpočty,
- výpočty provedené on-line webovou aplikací zaručují dodržení stanovených výpočetních metod a postupů daných aplikací a umožňovat tak pozdější srovnání s výpočty provedenými jiným SW,
- webové aplikace s XML rozhraním usnadňují propojení aplikací od různých výrobců. Jednotlivé aplikační servery mohou být založeny na technologiích různých firem, ale díky standardizovanému rozhraní spolu mohou komunikovat. Podmínkou zde ovšem je existence rozhraní XML s jeho popisem.

Uživateli se tak díky zde popsané aplikaci dostává k dispozici výpočetního nástroje, který mu umožňuje s úspěchem řešit i pro něj ne zcela obvyklou úlohu v praxi.

Princip výpočtu

Velmi stručně popíšeme princip výpočtu analýzy deformací z opakovaného zaměření geodetické sítě. Budeme přitom uvažovat pouze geometrické řešení a vše pro účely tohoto článku velmi zjednodušíme.

Jedná se o to, že na základě polohových změn bodů geodetické sítě, které jsou určeny právě jejím opakovaným zaměřením, vypočteme nejprve parametry diskrétně vyjádřeného pole posunů, což jsou posuny interpolované do čtvercové sítě a poté dále z nich vypočteme parametry opět diskrétně vyjádřeného pole

¹ Ing. Milan Talich, Ph.D., Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Ústecká 98, 250 66 Zdiby, Czech Republic, tel: +420 284 890 515, Milan.Talich@yugtk.cz
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 5. 5. 2007)

deformací, charakterizované tenzory napětí (extenzi a kompresi). Teoretické řešení a odvození potřebných vzorců lze nalézt v celé řadě publikací (Altiner, 1999; Talich, 1994; Talich et al., 1993). Stručně si jej naznačíme, abychom věděli alespoň co je výsledkem výpočtu.

$$\mathbf{e}_i = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{12} & e_{22} & e_{23} \\ e_{13} & e_{23} & e_{33} \end{pmatrix}_i = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \frac{1}{2}(\varepsilon_{12} + \varepsilon_{21}) & \frac{1}{2}(\varepsilon_{13} + \varepsilon_{31}) \\ \frac{1}{2}(\varepsilon_{12} + \varepsilon_{21}) & \varepsilon_{22} & \frac{1}{2}(\varepsilon_{23} + \varepsilon_{32}) \\ \frac{1}{2}(\varepsilon_{13} + \varepsilon_{31}) & \frac{1}{2}(\varepsilon_{23} + \varepsilon_{32}) & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}_i$$

Nejde nám tedy o určení polohy bodů v obvyklém smyslu, jak jsou geodeti zvyklí, ale o určení jejich posunů, z nichž se poté určují deformace sítě, které budeme považovat za deformace daného vyšetřovaného území (v případě splnění určitých podmínek pro rozmístění geodynamických bodů, homogenity vyšetřovaného území, atd.). Celý výpočet je založen na teorii mechaniky kontinua.

Jak bylo již uvedeno výše, princip užití geodetických metod spočívá v opakovaném zaměření a porovnání výsledků etap měření. Zjištěné rozdíly v polohách bodů poté označujeme jako jejich posuny. Vyjádříme nejprve vektor posunu bodu:

$$\mathbf{d}_i = (u_1, u_2, u_3)_i^T = \mathbf{x}_i^o - \mathbf{x}_i^t$$

Kde \mathbf{x}_i^o (resp. \mathbf{x}_i^t) je vektor souřadnic bodu P_i pro základní (resp. aktuální v čase t) etapu. Tento vektor můžeme vyjádřit jako funkci souřadnic:

$$\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)^T = \mathbf{u}(\mathbf{x}) = (u_1(\mathbf{x}), u_2(\mathbf{x}), u_3(\mathbf{x}))^T = \mathbf{d}, \quad \mathbf{x} = (x, y, z)^T$$

Potom tenzor deformace v bodě P_i je definován jako gradient této funkce v tomto bodě:

$$\mathbf{E}_i = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}_i = \text{grad}(\mathbf{d}_i) = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial x} & \frac{\partial u_1}{\partial y} & \frac{\partial u_1}{\partial z} \\ \frac{\partial u_2}{\partial x} & \frac{\partial u_2}{\partial y} & \frac{\partial u_2}{\partial z} \\ \frac{\partial u_3}{\partial x} & \frac{\partial u_3}{\partial y} & \frac{\partial u_3}{\partial z} \end{pmatrix}_i$$

V poli pohybů platí následující vztah (Welsch, 1983):

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{E}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{t}$$

kde: \mathbf{d}_i je vektor posunu,
 \mathbf{E}_i je gradient posunu,
 \mathbf{x}_i je vektor souřadnic,
 \mathbf{t} je vektor prvků translace.

Tenzor deformace můžeme rozdělit na dvě části:

$$\mathbf{E}_i = \mathbf{e}_i + \mathbf{\Omega}_i = (\varepsilon_{jl})_i + (\omega_{jl})_i \quad j, l = 1, 2, 3$$

kde: \mathbf{e}_i je symetrický tenzor deformace,
 $\mathbf{\Omega}_i$ je antisymetrický tenzor rotace,
 $\varepsilon_{jl} = (\varepsilon_{jl} + \varepsilon_{lj})$,
 $\omega_{jl} = (\varepsilon_{jl} - \varepsilon_{lj})$.

$$\mathbf{\Omega}_i = \begin{pmatrix} 0 & \omega_{12} & \omega_{13} \\ -\omega_{12} & 0 & \omega_{23} \\ -\omega_{13} & -\omega_{23} & 0 \end{pmatrix}_i = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}(\varepsilon_{12} - \varepsilon_{21}) & \frac{1}{2}(\varepsilon_{13} - \varepsilon_{31}) \\ -\frac{1}{2}(\varepsilon_{12} - \varepsilon_{21}) & 0 & \frac{1}{2}(\varepsilon_{23} - \varepsilon_{32}) \\ -\frac{1}{2}(\varepsilon_{13} - \varepsilon_{31}) & -\frac{1}{2}(\varepsilon_{23} - \varepsilon_{32}) & 0 \end{pmatrix}_i$$

Potom můžeme psát:

$$\mathbf{d}_i = (\mathbf{e}_i + \mathbf{\Omega}_i) \mathbf{x}_i + \mathbf{t}$$

Z hodnot \mathbf{e}_i a $\mathbf{\Omega}_i$ můžeme určit velikosti parametrů deformací. Toto lze provést jednak pro 3D řešení, jednak pro rovinná řešení, kde touto rovinou může být např. rovina rovnoběžná s rovinou XY nebo XZ nebo YZ, nebo také obecně jakákoliv rovina lokálního souřadnicového systému do které se prostorové posuny promítnou.

Například pro průmět posunů do roviny XY lokálního souřadnicového systému platí:

$$\begin{aligned} \Delta &= e_{11} + e_{22} && - \text{úplná dilatace} \\ \gamma_1 &= e_{11} - e_{22} && - \text{čistý stříh} \\ \gamma_2 &= 2e_{12} && - \text{technický stříh} \\ \gamma &= \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2} && - \text{úplný stříh} \\ e_1 &= \frac{1}{2} (\Delta + \gamma) && - \text{hlavní poloosa deformace} \\ e_2 &= \frac{1}{2} (\Delta - \gamma) && - \text{vedlejší poloosa deformace} \\ \varphi &= \frac{1}{2} \arctg(\gamma_2 / \gamma_1) && - \text{směrník hlavní poloosy deformace} \\ \psi &= \varphi + \frac{1}{4}\pi \text{ pro } \omega_{12} > 0 && - \text{směrník střížné deformace} \\ \psi &= \varphi - \frac{1}{4}\pi \text{ pro } \omega_{12} < 0 && - \text{směrník střížné deformace} \end{aligned}$$

Je velmi důležité poznamenat, že všechny posuny jsou závislé na zvoleném souřadnicovém rámci. Naproti tomu všechny parametry deformací z posledních rovnic, kromě směrníků ψ a φ , jsou nezávislé na použitém souřadnicovém rámci. A to také zdůvodňuje význam výpočtu parametrů deformací a jejich užití v praxi. Není totiž třeba se zabývat tím, jak při výpočtu souřadnic (vyrovnání sítě) volit potřebné podmínky pro umístění geodetické sítě v souřadnicovém systému (volba pevných bodů). Jinými slovy, které z bodů sítě považovat za „stabilní“ a které ne. Jediné co je třeba dodržet, je výpočet vyrovnání sítě jako sítě volné, tj. volit pouze nezbytný počet podmínek pro její umístění v souřadnicovém systému a tím vyrovnanou síť „nezdeformovat“. Ty jsou v případě polohové sítě s určeným rozměrem (s alespoň jednou měřenou délkou) tři a v případě polohové sítě bez určeného rozměru čtyři. Různé volby podmínek totiž v případě volné sítě s určeným rozměrem neznamenají nic jiného než aplikaci translace a rotace a vůči té je výpočet deformací nezávislý. Dostáváme tak při použití různých podmínek stále tytéž hodnoty parametrů deformací. V praxi to znamená, že se zcela eliminují chyby pramenící ze špatných (chybných, mylných) předpokladů o stabilitě některých vybraných bodů, které při běžných výpočtech posunů z opakovaných etapových měření považujeme za stabilní (ve stabilní části lokality). Znamená to, že pouze deformace jsou objektivním měřítkem pro odhalení reálných relativních geodynamických trendů ve vyšetřovaném území.

O výhodách použití teorie mechaniky kontinua pro analýzy deformací z opakovaných geodetických měření se z poslední doby podrobněji hovoří například i v (Szostak, Chrzanowski et al., 2006). Je zde obsažen i vývoj integrovaného přístupu k monitorování a analýzám deformací z geodetických měření včetně fyzikálních interpretací. Mechanika kontinua je zde navrhována jako základ pro komunikaci v multidisciplinárním přístupu ke geodetickému a geotechnickému monitorování.

Popis aplikace, vstupní a výstupní hodnoty

Parametry uvedené v posledních rovnicích jsou také výslednými hodnotami určovanými webovou aplikací. Konkrétní výpočetní vztahy použité v této webové aplikaci jsou pak detailněji popsány v publikaci (Kostelecký, 1986), protože vycházejí z dřívější klasické off-line programové aplikace tam popsané. Ta také posloužila jako základ pro vytvoření této webové aplikace XML.

Provedeme-li shrnutí, pak **vstupem do aplikace jsou:**

- přibližné hodnoty souřadnic daných bodů geodetické sítě,
- hodnoty posunů daných bodů geodetické sítě (rozdílů souřadnic z etapových měření),
- čísla daných bodů geodetické sítě,
- doprovodné textové komentáře a další aplikací on-line vyžádané informace (typ souřadnicového systému, parametry čtvercové sítě pro interpolaci a výpočet, měřítka sítě, posunů a deformací pro zobrazení, výběr prvků pro zobrazení, atd.),
- zvláštní vstup tvoří obrázky mapových podkladů poskytovaných serverem s WMS (bude upřesněno dále).

Poznámka: místo přibližných souřadnic a hodnot posunů daných bodů mohou být vstupem též hodnoty souřadnic ze dvou etap geodetické sítě a aplikace si jejich rozdílem určí hodnoty posunů.

Výstupem z aplikace jsou:

- vypočtené hodnoty interpolovaných posunů do čtvercové sítě (diskrétní vyjádření pole posunů),
- vypočtené hodnoty pole deformací v téže čtvercové síti (opět v diskrétním vyjádření),
- grafické znázornění hodnot pole posunů i deformací v mapě,
- možnost vložení topografického podkladu do mapy s výsledky s využitím služby WMS,
- výstupní hodnoty jsou ve formátu XML (GML, SVG), dále jde o textový protokol a grafický ESRI Shapefile.

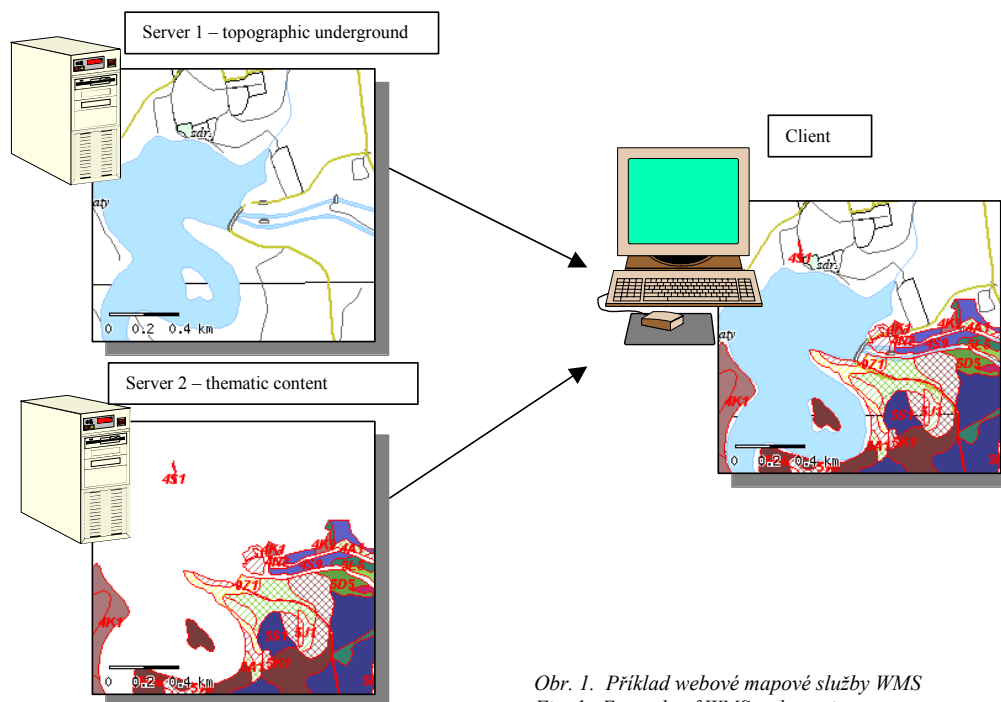
Vstupy jsou předávány klientem on-line prostřednictvím Internetu aplikaci na server. V současném stavu rozpracovanosti aplikace jsou vstupní data ve formátu prostých textových souborů a v některých případech i ve formátu XML.

Výstupy jsou předávány aplikací ze serveru klientovi. Jsou jednak v jednoduché textové podobě výpočetního protokolu a dále ve formátu XML. Ten je tvořen souborem **GML** obsahujícím bodové údaje o vstupních bodech, vypočtených posunech a deformacích včetně spolehlivosti v uživatelem zadané síti. Dalším XML výstupem je **SVG** soubor. Poslední možností grafického výstupu výsledků je **ESRI Shapefile** (ESRI Shapefile Technical Description - <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>).

WMS a způsob jejího využití

V poslední době stále více dochází ke vzniku internetových mapových aplikací. Tyto aplikace pak využívají webové mapové služby (Web Map Service – WMS). Nejčastěji se jedná o služby definované otevřenými standardy Open Geospatial Consortium (OGC – <http://www.opengeospatial.org/>).

Hlavním přínosem webových mapových služeb definovaných dle Open Geospatial konsorcia je **umožnění sdílení dat GIS v distribuovaném prostředí Internetu**. Uživatelé tím mohou sdílet mapy a aplikace bez nutnosti mít příslušná data na svém počítači nebo serveru. Typickým příkladem je zobrazení komplexní tematické mapy obsahující data z různých serverů on-line v internetovém prohlížeči (tenkém klientovi) nebo v nějakém desktopovém GIS programu (tlustém klientovi). Právě takto lze s úspěchem budovat komplexní prostorovou datovou infrastrukturu v jakémkoliv měřítku, tj i v národním či nadnárodním. Na obrázku 1 je schematicky znázorněn příklad, kdy si klient vytvoří on-line svou vlastní tematickou mapu s využitím podkladů z různých serverů prostřednictvím Internetu či intranetu.



Obr. 1. Příklad webové mapové služby WMS
Fig. 1. Example of WMS web service.

Hlavní výhody praktického využití webových mapových služeb WMS vyplývají již ze samotné podstaty věci, tj. z jejich on-line poskytování. Pro účely naší aplikace vyberme alespoň následující:

- uživatel nemusí mít potřebná mapová data na svém počítači,
- v případě WMS se uživatel dostane pouze k výslednému obrázku sestavenému z dat, což může snižovat riziko zneužití a nedovoleného šíření originálních dat vůči jejich poskytovatelům,
- obvykle postačí jednoduchá aplikace na straně uživatele pro přístup a využití dat (tenký klient, například webový prohlížeč),
- uživatel využívá jen ty služby a ta data, která opravdu potřebuje,
- uživatel není závislý na žádné softwarové platformě, obvykle ani nepozná na jakém software daný server, jehož služby využívá, běží.

V naší uváděné aplikaci pro analýzu deformací je pak služby WMS využito právě pro **vkládání topografických podkladů do grafického znázornění výstupních hodnot určených aplikací**. Uživatel tak dostane velmi přehledný výstup, ze kterého je patrné kde se ve vyšetřovaném území nachází jaká geodynamická aktivita.

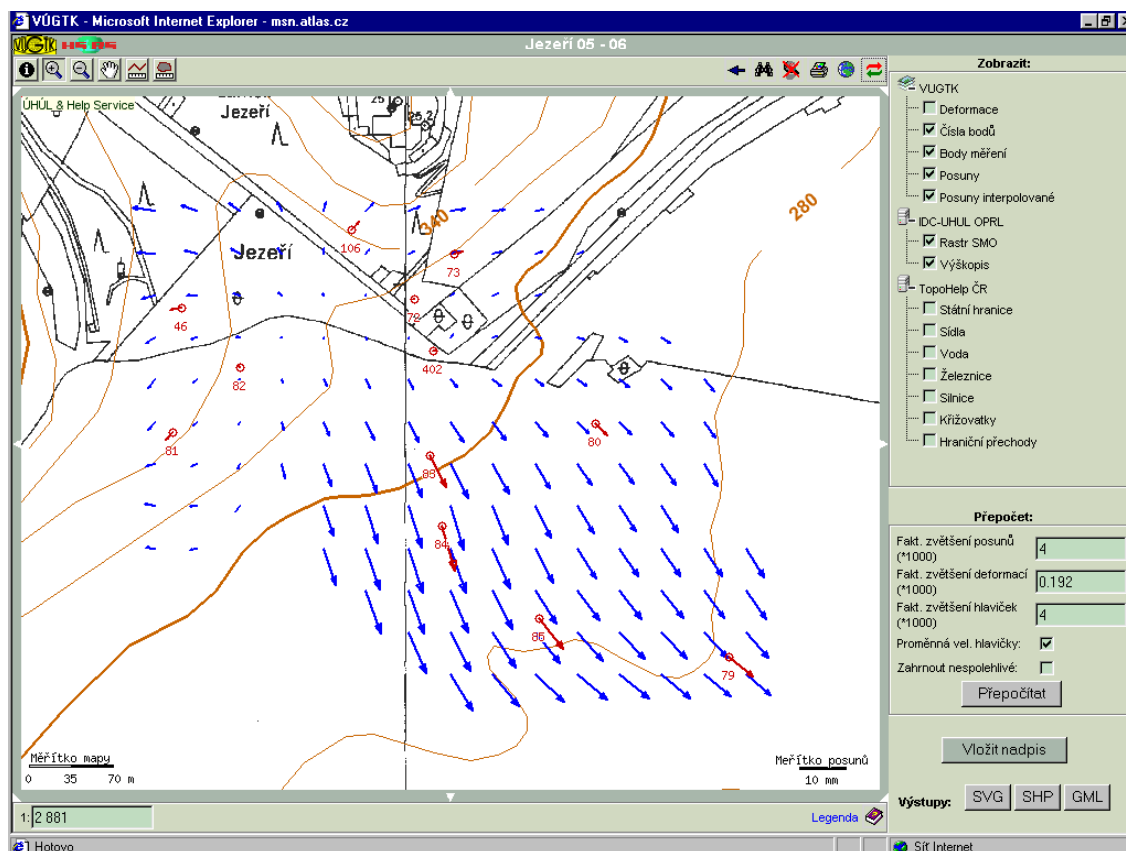
Pro zabezpečení této funkce se využívá freewarový (Open Source license) **mapový server Mapserver** z University Minesotta, USA (<http://mapserver.gis.umn.edu/>). Jde o velmi výkonnou CGI aplikaci poskytující velkou řadu funkcí pro vykreslování map v prostředí Internetu a podporující služby WMS podle specifikací OGC. Pracuje jak v prostředí UNIXU (např. Linux), tak i Microsoft Windows.

Další podrobnější informace o aplikaci lze nalézt například v (Talich, 2003).

Příklady použití aplikace

Předpolí velkolomu ČSA v Komořanech

Prvním příkladem použití aplikace je **sledování pohybů území v předpolí velkolomu Československé armády v Komořanech v Krušných horách**. Pro účely sledování pohybů bylo během 70., 80. a první poloviny 90. let 20. století v této lokalitě spolu s inklinometry a dalšími geofyzikálními pozorováními vytvořeno několik speciálních sledovacích geodetických sítí. Geodetické sítě se opakovaně proměřovaly vždy podle jejich charakteru jednou či dvakrát ročně, některé mikrosítě ve zvláště exponovaných lokalitách i 4 až 6 x ročně.



Obr. 2. Výsledné interpolované posuny pro síť Jezeří únor - květen 1994 včetně podkladové mapy SMO 5.

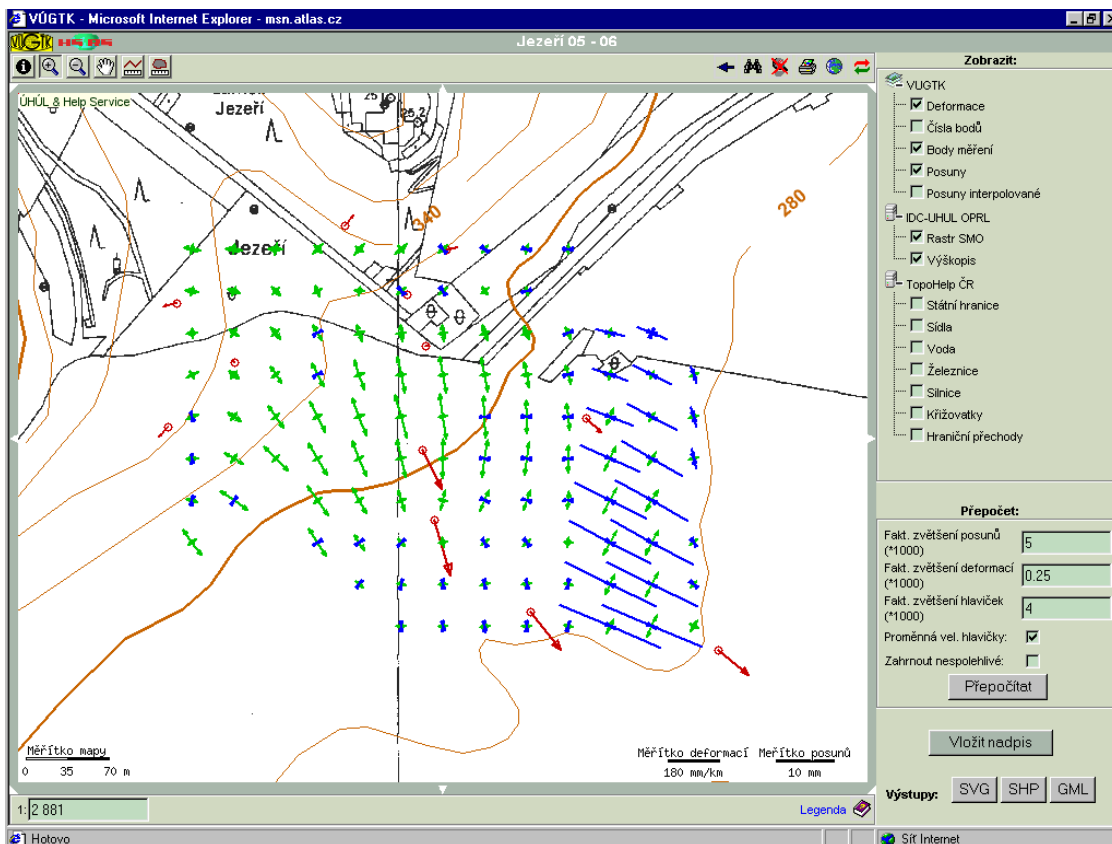
Fig. 2. Resulting interpolated movements for the network of Jezeří February - May 1994 network including the underlay map SMO 5.

Pro ukázkou výpočtu byla zvolena mikrosíť "Jezeří" z oblasti pod zámek Jezeří, kde byla těžba hnědého uhlí těsně na úpatí Krušných hor. Z tohoto důvodu docházelo k občasným skluzům vrchní zeminy na svazích hor nad velkolomem směrem do vlastního velkolomu a hrozilo, že dojde i ke skluzům většího rázu, které by mohly ohrozit bezpečnost provozu velkolomu. Taktéž i stabilita ostrohu s vlastním zámekem Jezeří mohla být ohrožena.

Do výpočtu tedy vstupují výsledky zpracování dvou etap polohové geodetické sítě Jezeří, konkrétně jde o etapy "jezeří_05" z února 1994 a "jezeří_06" z května 1994. Vstupem jsou tudíž dva soubory se souřadnicemi bodů geodetické sítě a aplikace si výsledné posuny určí výpočtem.

Ve zde uvedeném konkrétním příkladě byl pro topografický podklad použit WMS server IDC ÚHÚL OPRL s rastrem SMO5 a výškopisem. Na obr. 2 jsou červeně uvedeny posuny na daných bodech geodetické sítě a modře z nich vyinterpolované posuny do čtvercové sítě znázorňující pole posunů. Na obr. 3 jsou opět pro ilustraci uvedeny červeně posuny na daných bodech, dále pak ve čtvercové síti znázorněny hlavní a vedlejší poloosy tenzorů deformací, přičemž zeleně jsou znázorněny extenze a modře komprese.

Pokusíme-li se velmi zjednodušeně komentovat dosažené výsledky zpracování, tak vidíme, že znázorněné pole posunů jasně charakterizuje k jakým posunům v daném území za pouhé tři měsíce došlo. Průběh vrstevnic z podkladové SMO5 ukazuje směr svahu se kterým posuny korespondují (posuny se dějí přibližně po spádnici), přitom zářez ve vrstevnicích v horní části svahu ukazuje, kde nejspíše dochází k častým skluzům (úbytkům) zeminy, která se poté hromadí níže po spádnici, kde naopak vzniká výběžek taktéž zachycený vrstevnicemi. Směr daných a tudíž i vyinterpolovaných posunů v horní (severozápadní) části lokality však směřuje proti směru svahu. To může být způsobeno buď odlehčením po provedeném skluzu kdy došlo k ústupu zeminy zpět proti směru svahu (málo pravděpodobné), nebo metodikou zpracování geodetických měření, kdy pro vyrovnání geodetické sítě byla použita helmertova transformace k umístění volné sítě do souřadnicového systému a po ztotožnění těžiště identických bodů a minimalizaci odchylek na nich může dojít k tomuto efektu. Ukazuje to, že použití pouze posunů pro charakterizaci geodynamických jevů územních lokalit je velmi sporné vzhledem k jejich závislosti na zvoleném souřadnicovém systému. Naproti tomu na obr. 3 s tenzory deformací je vidět kde a v jakých směrech skutečně dochází k extenzím, tedy kde a jak se skutečně zemina "napíná" až dojde ke skluzu. Po přesunu zeminy pak dochází k jejímu hromadění ve spodní (jihovýchodní) části, kde tudíž dochází k jejím kompresím. Znázorněné pole deformací tak objektivně popisuje geodynamiku dané lokality bez jakýchkoliv závislostí na souřadnicových systémech, tudíž bez ovlivnění volbou bodů, ke kterým jsou posuny vztaženy.



Obr. 3. Dané posuny a určené deformace pro síť Jezeří únor - květen 1994 včetně podkladové mapy.

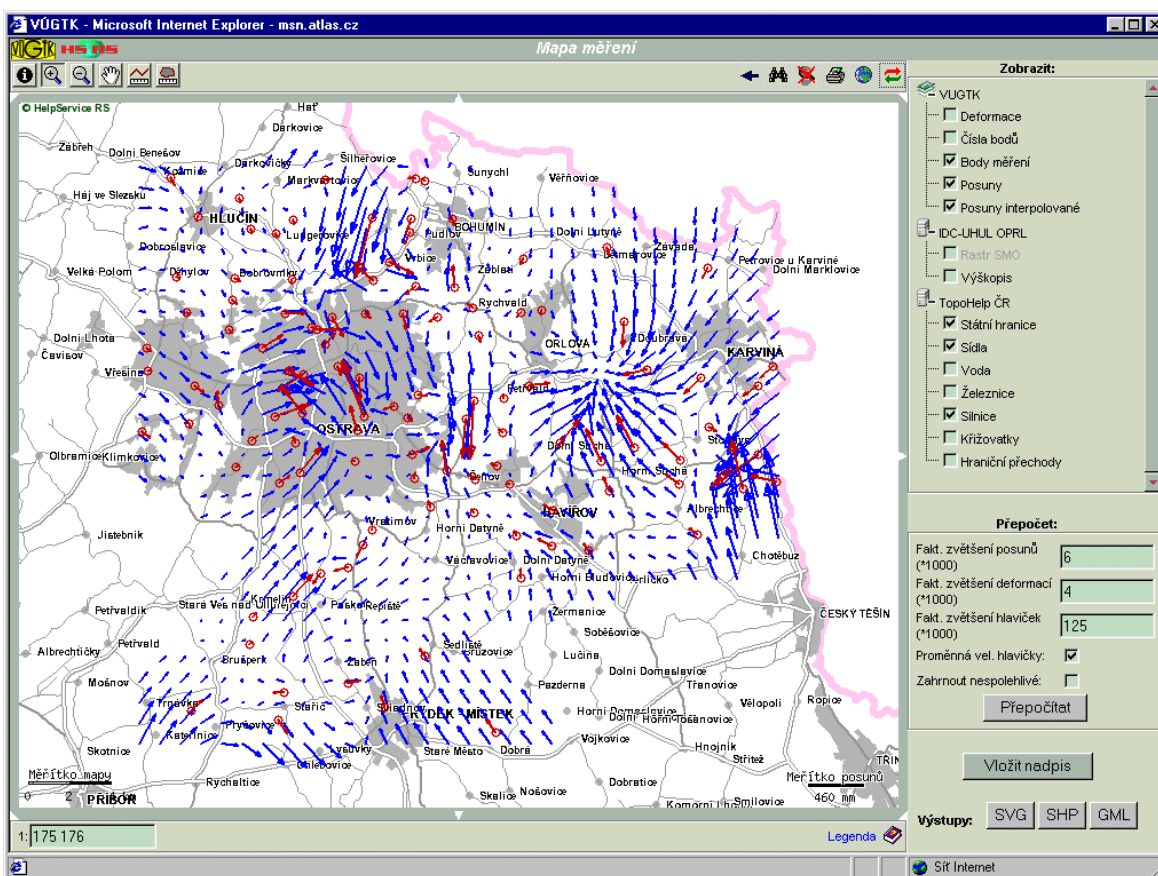
Fig. 3. Given translations and determined deformations for the network of Jezeří February - May 1994 network including underlay map.

Ostravsko

Druhý příklad použití aplikace je v **určení pohybů v poddolovaném území v Ostravsko-karvinské uhelné pánvi v ČR**, kde probíhala v letech 1974 a 1980 obnova trigonometrické sítě. I když přesnost zaměření trigonometrické sítě v rámci její obnovy není nijak zvlášť vysoká v porovnání s přesnostmi speciálních geodynamických sítí, lze usuzovat, že v této poddolované lokalitě bude docházet k tak velkým pohybům, že budou i tehdejšími klasickými technikami identifikovatelné. Výsledky jsou znázorněny graficky na obrázcích 4 a 5. Pro zobrazení podkladové mapy byl použit server TopoHelp ČR s vybráním vrstev státní hranice, sídla a silnice.

V tomto případě je vstupem pouze jeden soubor dat obsahující již hodnoty posunů bodů geodetické sítě spolu s jejich přibližnými souřadnicemi a čísly bodů (celkem 114 vstupních bodů):

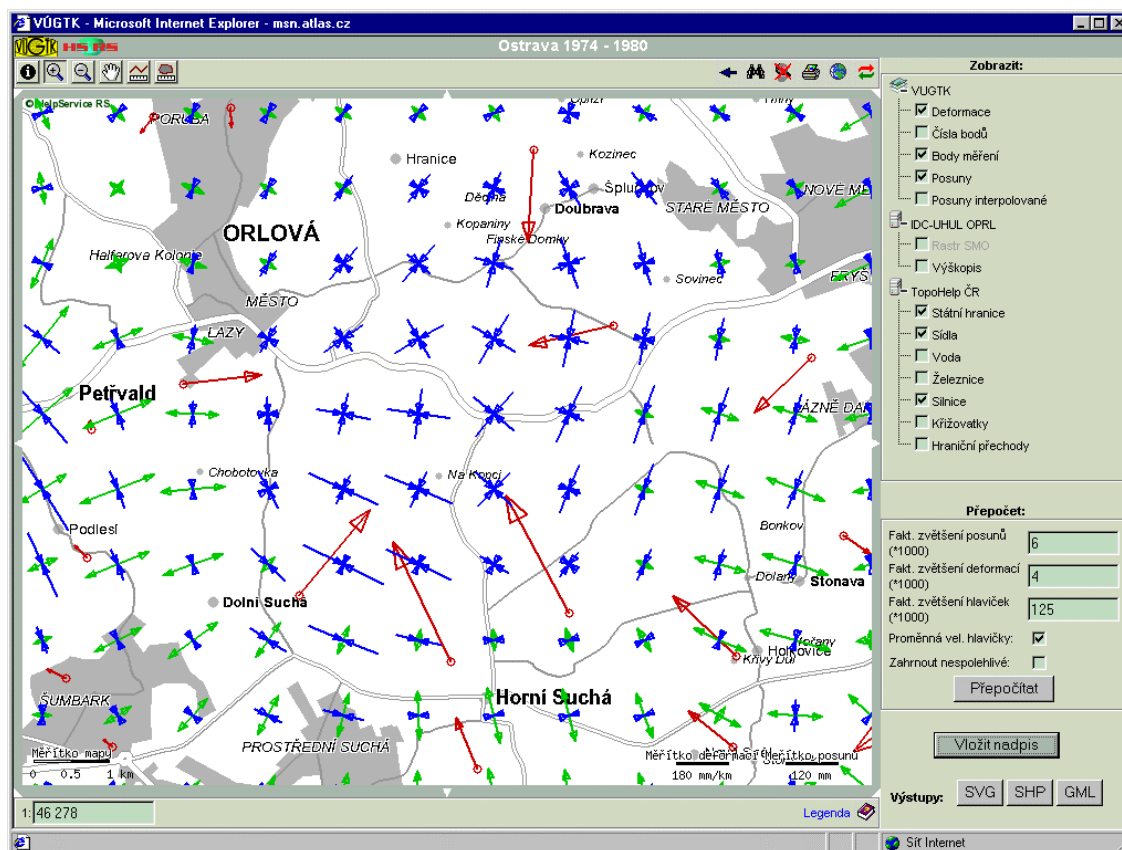
Při pokusu o zjednodušenou interpretaci výsledků pak na výsledcích vidíme jasně identifikovatelné oblasti do kterých se sbíhají dané a tudíž i interpolované posuny a jim odpovídající oblasti s vysokými hodnotami komprese či extenze. Velikosti posunů (i více jak 0,5 m za uvedených 6 let) a jim odpovídajících deformací jsou skutečně značné a právě to umožňuje spolehlivě tyto oblasti určit. Pro lepší ilustraci je na obrázku 5 s využitím možnosti aplikace proveden výřez jedné takové oblasti se znázorněním daných posunů na bodech geodetické sítě a z nich určených deformací.



Obr. 4. Výsledné interpolované posuny pro síť Ostrava 1974 - 1980 včetně podkladové mapy.

Fig. 4. Resulting interpolated movements for the network of Ostrava 1974 - 1980 network including the underlay map.

Zde uvedené příklady jsou reálnými úlohami, které byly řešeny autorem článku v rámci prací Mezinárodního centra recentních pohybů zemské kůry (ICRCM - International Center on Recent Crustal Movements), týkající se poddolovaných lokalit. Další informace o ICRCM lze nalézt například v (Kostecký et al., 1994). Jiný příklad z poslední doby s využitím zpracování GPS měření lze nalézt například v (Talich, 2006).



Obr. 5. Výřez s danými posuny a určenými deformacemi pro síť Ostrava 1974 - 1980 včetně podkladové mapy.
Fig. 5. Outline with the given translations and determined deformations for the network of Ostrava 1974 - 1980 network including the underlay map.

Závěr

Účelem tohoto příspěvku je ukázat proč je velmi výhodné pro analýzy deformací lokalit na zemském povrchu využívat vztahy vycházející z teorie mechaniky kontinua. Hlavní výhodou je zde nezávislost na souřadnicovém rámci, tudíž i na podmínkách volených pro umístění vyrovnané geodetické sítě v souřadnicovém systému. Pro určení parametrů deformací tak není důležité jaké „pevné“ body se pro vyrovnání sítě volí, což je naopak zcela rozhodující pro výpočty posunů bodů. Pro objektivní určení charakteristiky geodynamické aktivity území je tak zapotřebí nezastavit se již při výpočtu posunů bodů z etapových geodetických měření, ale přistoupit i k navazujícímu kroku, kterým je právě určení parametrů deformací za použití mechaniky kontinua. Samozřejmě toto lze jen za splnění podmínky homogenity vyšetřované lokality.

Dalším účelem tohoto příspěvku je pak podat základní informaci o existenci webové aplikace pro on-line výpočty analýz polohových deformací z opakovaných geodetických měření, která využívá výše zmíněné teorie mechaniky kontinua. Tato aplikace se nachází na [URL: http://www.vugtk.cz/~deformace/](http://www.vugtk.cz/~deformace/) a je k dispozici všem zájemcům o její využití. Běžný uživatel tak nemusí mít ani podrobné teoretické znalosti o výpočtu analýzy deformací, ani potřebný SW nástroj. Výpočty probíhají on-line na serveru, uživatel pouze zadá cestu ke svým datům a zpět obdrží protokol o výpočtu včetně grafického znázornění výsledků. Volitelně si může do grafického znázornění výsledků vložit topografický podklad využitím služby WMS, což mu usnadní jejich interpretaci. Vstupní data je možné zadávat ve formátu prostých textových souborů, nebo ve formátu XML. Využití XML formátu tak přináší možnost snazšího navázání aplikace na jiné ve zpracovatelském procesu předcházející aplikace připravující vstupní data (např. aplikace pro vyrovnání polohových geodetických sítí či GPS výpočty). Další podrobnosti jsou již na uvedených webových stránkách.

Literatura - References

- Altiner, Y.: Analytical Surface Deformation Theory for Detection of the Earth's Crust Movements. *Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York*. 1999, X, 100 pp. 20 figs., ISBN: 3-540-65820-3.
- Kostecký, J.: Výpočetní programy pro interpretaci horizontálních posunů. *Technická zpráva. Zdiaby : VÚGTK, 1986, 21 s.*
- Kostecký, J., Talich, M., Vyskočil, P.: Crustal Deformation Analysis in the International Center on Recent Crustal Movements. *Journal of the Geodetic Society of Japan - 40/4 (1994), s. 301-308, 3 obr.*
- Szostak – Chrzanowski, A., Prószyński, W., Gambin, W.: Continuum Mechanics as a Support for Deformation Monitoring, Analysis, and Interpretation. *In: 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006, Baden, ISBN: 3-9501492-3-6.*
- Talich, M., Kostecký, J., Vyskočil, P.: Modelling of Horizontal Movements and Computing Method of Deformation Fields at the International Center On Recent Crustal Movements. *In: Zpráva o řešení vědeckého projektu 4-01-60 Geodézie a dynamika Země v roce 1993, edice VÚGTK, 1993, s.104 -115.*
- Talich, M.: Využití metajazyka XML pro zeměměřictví a efektivní zpracování a poskytování informací prostřednictvím Internetu, *Výzk. zpr. č. 1063/2003, Zdiaby, VÚGTK 2003. 29 s., 15 obr., tab., http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/vyzk_zpravy/Vz_1063.pdf*
- Talich, M.: Web Application to Deformation Analysis of Repeated Geodetical Measurement Using WMS. *In: 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006, Baden, ISBN: 3-9501492-3-6.*
- Talich, M.: Using GPS Data for Deformations Analysis. *1994 IERS and IGS Workshops Paris and Saint Mandé, 1994, March 21-25, p.6.*
- Welsch, W. M.: Finite elements analysis of strain patterns from geodetic observations across a plate margin. *Tectonophysics 97, pp.57-71. Elsevier. Amsterdam 1983.*