

Ing. Lumír S k a l s k ý , CSc., Geofyzikální ústav ČSAV, Praha
Ing. Jan J e ř á b e k , Geofyzikální ústav ČSAV, Praha

Geofyzikální náklonoměrná měření na úpatí Krušných hor

Úvod

Koncem r. 1981 se obrátili představitelé k. p. DVIL Komořany na ředitele Geofyzikálního ústavu ČSAV akademika V. Buchu s žádostí o spolupráci v rámci úkolu státního plánu technického výzkumu C.52-347-205 "Výzkum stabilitních problémů otvírky uhelných lomů při úpatí Krušných hor". Na základě této žádosti byla mezi oběma institucemi uzavřena 1.9.1982 hospodářská smlouva č. 525/82 o provedení zkušebních náklonoměrných pozorování, jejichž realizací bylo pověřeno gravimetrické oddělení GFÚ ČSAV.

Bylo rozhodnuto ověřit především možnost sledování průběhu lokálních, vertikálních deformací v těch místech těžbou ohrožené oblasti, kde nelze pro nepatrnou velikost očekávaných deformací použít klasických geodetických a geologických metod. V úvahu přicházely zejména hlubší partie krystalinika, kdy narušení jeho stability by mohlo mít katastrofální důsledky.

K provedení vlastních měření byly vybrány vysoce citlivé fotoelektrické náklonoměry, používané dosud téměř výhradně pro pozorování slapových deformací Země. Rozlišovací schopnost těchto přístrojů se pohybuje řádově v oblasti desetitisícin úhlové vteřiny, takže jsou schopny zaregistrovat vertikální posun 0,00005 mm na vzdálenost 100 m. Jsou dálkově ovladatelné, umožňují nepřetržitou registraci působících náklonů a jejich citlivost lze spojitě měnit ve značném rozsahu. K jejich nevýhodám však patří značná citlivost na variace teploty vzduchu v jejich bezprostředním okolí (statický teplotní koeficient je řádově $1''/^{\circ}\text{C}$) a poměrně krátká báze působících náklonů (i s pou-

žitím speciálních žulových desek maximálně 1,2 m). Musí se proto co nejdokonaleji tepelně izolovat a pozorované náklony lze interpretovat pouze v oblasti, v níž lze předpokládat stejné relativní deformace a posuny jako v místě instalace náklonoměrů.

Náklonoměrné stanice a jejich vybavení

První náklonoměrná stanice, určená ke sledování stability krystalinika, byla zřízena v září 1982 na konci 409 m dlouhé štoly Jezeří. Byla vybavena párem fotoelektrických náklonoměrů Ostrovského [1] (založených na principu jednoduchého horizontálního kyvadla) s dálkovým ovládáním a fotografickou registrací, citlivým odporovým termografem (s rozlišovací schopností pod $0,001^{\circ}\text{C}$) a později též barografem (s citlivostí zhruba $0,3\text{ hPa/mm}$), přesnými staničními teploměry a tlakoměry. Stanice je dosud v provozu.

Již při vyhodnocení prvních měření bylo prokázáno, že plně uspokojují vytyčené požadavky a že při pečlivé obsluze a pravidelné kontrole lze jejich interpretací získat důležité informace o stabilitě krystalinika i o případných systematických změnách v průběhu deformačního procesu. Hospodářské smlouvy o provádění náklonoměrných měření byly proto stále obnovovány (nejnovější platí do konce r. 1990) a síť náklonoměrných stanic se postupně rozšiřovala.

V červenci 1984 byla uvedena do provozu náklonoměrná stanice JEZERKA - 1. Je umístěna ve vzdálenosti asi 100 m od ústí štoly Jezerka a asi 1,6 km od stanice JEZEŘÍ. Původně byla vybavena podobně jako stanice JEZEŘÍ. V červenci 1987 bylo však ovládací zařízení přemístěno z operativních důvodů ze štoly na povrch do budovy Monitoringu k. p. DVIL Komořany, kam byla instalována i nová registrační aparatura, využívající dvoukanálového kompenzačního zapisovače typu TZ 4620.

Po vyhodnocení měření ze stanice JEZERKA - 1, svědčících o tom, že se tato stanice nachází v geologicky porušené části krystalinika, bylo rozhodnuto vybudovat ve štolě Jezerka další náklonoměrnou stanici ve stabilnější partii krystalinika. Byla uvedena do provozu v červenci 1987 pod označením JEZERKA-2. Je umístěna ve vzdálenosti asi 280 m od ústí štoly a 163 m od stanice JEZERKA-1 na konci 38 m dlouhé rozrážky ve zhruba jihozápadním směru. Je vybavena podobně jako stanice JEZERKA-1. Ovládací i registrační aparatura byly od počátku měření instalovány na povrchu v budově Monitoringu.

Prostor, v němž byly náklonoměry na každé stanici umístěny, byl od přístupných chodeb oddělen kvůli lepší tepelní izolaci dvěma zděnými přepážkami s dveřmi. Vlastní náklonoměry byly instalovány na speciální žulové desky lichoběžníkového tvaru o délce 1,2 m, šířce základen 0,6 a 0,3 m a tloušťce 0,08 m. Desky byly přesně orientovány tak, aby jejich delší strany ležely v astronomických směrech NS a EW. Vahadla náklonoměrů byla nastavena do takové pracovní polohy, aby registrovala složky náklonů ve směrech NS a EW s chybou menší než $\pm 5''$ a celá aparatura byla zakryta polystyrénovými deskami a igelitovou fólií. Protože na stanicích JEZEŘÍ a JEZERKA - 2 vyvěrá značné množství vody, musel zde být vybudován speciální odvodňovací systém na principu spojitých nádob, zajišťující minimální konstantní výšku vodní hladiny v celém prostoru stanice.

K dálkovému ovládání pracovní polohy náklonoměrů v rozsahu zhruba $\pm 5''$ se používá elektrického proudu, vháněného do cívek na jejich vahadlech. Podobným způsobem je zajištěna automatická kalibrace náklonoměrů proudovými kalibračními impulsy, prováděná dvakrát denně. Registrační citlivost náklonoměrů lze regulovat v rozsahu zhruba od 0,0002"/mm do 0,05" mm.

Dosavadní výsledky náklonoměrných měření

Protože prováděná náklonoměrná měření jsou plně automatizována a probíhají nepřetržitě, bylo za uplynulých 6 let získáno takové množství konkrétních interpretovatelných údajů, že se jejich souhrnné uvedení i ve stručné formě vymyká z rozsahu tohoto příspěvku. Uvádíme zde proto v tab. 1 - 3 na ukázkou pouze jeden ze základních interpretovatelných výsledků - charakteristiky časových úseků s výrazně odlišným základním směrem náklonu na jednotlivých stanicích v celém dosavadním pozorovacím období.

Podrobné výsledky náklonoměrných měření jsou v numerické i grafické formě uvedeny spolu s popisem vyhodnocovacího postupu a všemi potřebnými informačními údaji v ročních zprávách o plnění hospodářských smluv [2 - 7], které jsou k dispozici v k. p. DVIL Komořany, VÚHU Most, n. p. Stavební geologie, ÚGG ČSAV a GFÚ ČSAV v Praze. V těchto zprávách jsou v přílohách m.j. zařazeny z každé stanice:

1. tabulky hodinových hodnot složek relativních náklonů ve směrech NS a EW, a to jak přímo pozorovaných, tak i po vyloučení slapových variací,
2. vektorové grafy průběhu relativních náklonů po vyloučení slapových variací (dosud 21 grafů pro stanici JEZEŘÍ, 15 grafů pro stanici JEZEŘKA - 1 a 3 grafy pro stanici JEZEŘKA - 2,
3. charakteristiky časových úseků s odlišným základním směrem náklonu (viz ukázka v tab. 1 - 3),
4. hodinové a denní hodnoty rychlosti a azimutu neslapových náklonů, a to jak v numerické, tak grafické formě.

Pokusíme-li se charakterizovat probíhající deformační proces v místech náklonoměrných stanic z hlediska náklonového režimu, pak je i z údajů uvedených v tab. 1 - 3 zřejmé, že relativně "nejklidnějším" místem je stanice JEZEŘÍ. Po počátečním více než dvouletém monotónním náklonu v ZJZ směru (ve středním azimutu 259°), který dosáhl celkové velikosti $4,84''$ (což

Tab. 1. Charakteristiky časových úseků s odlišným základním směrem
náklonu na stanici JEZEŘÍ

Hranice úseků		Složka		Počet dnů	Azimut náklonu [°]	Celkový náklon ["]	Denní náklon ["]
Datum	UT [h]	NS(+S) ["]	EW(+W) ["]				
26. 9.1982	0	0	0	763,00	259	4,843	0,0063
28.10.1984	0	0,931	4,753				
22. 1.1985	11	0,331	4,545	86,46	19	0,635	0,0073
3. 2.1985	10	0,488	4,704	11,96	225	0,223	0,0187
22. 2.1985	20	0,299	4,456	19,42	53	0,312	0,0161
12.10.1985	16	1,455	6,021	231,83	234	1,946	0,0084
2.12.1985	7	0,926	5,608	50,62	38	0,671	0,0133
28.12.1985	0	1,050	5,768	25,71	232	0,202	0,0079
1. 3.1986	19	0,071	4,827	63,79	44	1,358	0,0213
5. 4.1986	5	0,790	5,232	34,42	209	0,825	0,0240
27. 4.1986	0	0,239	4,308	21,79	59	1,076	0,0494
15.10.1986	0	0,689	4,460	171,00	199	0,475	0,0028
19.11.1986	23	0,690	4,444	35,96	94	0,016	0,0004
20. 3.1987	21	0,553	4,066	120,92	70	0,402	0,0033
7.10.1987	0	1,365	5,307	200,12	237	1,483	0,0074
20.11.1987	9	1,413	5,115	44,38	104	0,198	0,0045
23. 2.1988	8	1,443	5,433	94,96	265	0,319	0,0034
19. 3.1988	0	1,412	5,228	24,67	81	0,207	0,0084
7. 6.1988	15	1,528	5,380	80,62	233	0,191	0,0024
26.9.1982 (0) - 7.6.1988 (15)				2081,62	254	5,593	0,0027

2. Charakteristiky časových úseků s odlišným základním směrem
náklonu na stanici JEZERKA-1

hranice úseků		Složka		Počet dnů	Azimut náklonu [°]	Celkový náklon ["]	Denní náklon ["]
Datum	UT [h]	NS(+S) ["]	EW(+W) ["]				
8.1984	0	0	0	43,00	158	0,212	0,0049
9.1984	0	0,196	-0,080	172,00	241	18,119	0,1053
3.1985	0	9,100	15,700	90,83	73	2,986	0,0329
6.1985	20	8,206	12,851	30,50	294	0,606	0,0199
7.1985	8	7,955	13,403	53,21	132	0,118	0,0022
9.1985	13	8,033	13,315	26,33	287	0,456	0,0173
10.1985	21	7,896	13,750	152,25	221	1,201	0,0079
3.1986	3	8,797	14,544	296,62	34	2,242	0,0076
12.1986	18	6,932	13,299	13,46	191	1,522	0,1131
1.1987	5	8,426	13,587	30,50	4	1,043	0,0342
2.1987	17	7,385	13,520	8,38	205	0,950	0,1135
2.1987	2	8,249	13,916	186,58	350	12,376	0,0663
8.1987	16	-3,954	15,978	209,12	169	4,126	0,0197
3.1988	19	0,097	15,196	78,75	343	4,841	0,0615
6.1988	13	-4,533	16,610				
8.1984 (0) - 8.6.1988 (13)				1391,54	285	17,217	0,0124

3. Charakteristiky časových úseků s odlišným základním směrem
náklonu na stanici JEZERKA-2

hranice úseků		Složka		Počet dnů	Azimut náklonu [°]	Celkový náklon ["]	Denní náklon ["]
Datum	UT [h]	NS(+S) ["]	EW(+W) ["]				
7.1987	0	0	0	157,88	222	2,524	0,0160
12.1987	21	1,881	1,683	66,62	198	1,115	0,0167
2.1988	12	2,944	2,021	30,25	139	0,742	0,0245
3.1988	18	3,501	1,531	79,79	224	1,216	0,0152
6.1988	13	4,377	2,374				
7.1987 (0) - 8.6.1988 (13)				334,54	208	4,979	0,0149

odpovídá vertikálnímu posunu 2,35 mm/100 m) a průměrné denní rychlosti 0,0063" jsou zde od 28. 10. 1984 pozorovány pouze kolébavé náklony v různých směrech (často vratného charakteru), nepřesahující svou velikostí 2". Nejvyšší rychlost náklonu (0,115"/den) zde byla zaregistrována 13. 3. 1986 [7, tab. 10]. V posledním analyzovaném období (9. 4. 1987 - 12. 4. 1988) byla průměrná rychlost neslapového náklonu bez ohledu na případné změny směru 0,0089"/den (což odpovídá průměrnému dennímu vertikálnímu posunu 0,0043 mm/100 m) [7, tab. 12 a str. 9].

Méně klidný náklonový režim byl pozorován na stanici JEZERKA - 2. Od počátku měření v červenci 1987 je zde registrován téměř monotónní náklon s krátkodobými změnami směru ve středním azimutu 208° (t.j. zhruba na JJZ), který do 8. 6. 1988 dosáhl celkové velikosti 4,98" (což odpovídá vertikálnímu posunu 2,41 mm/100 m) při průměrné změně v základním směru 0,0149"/den. Nejvyšší rychlost náklonu (0,104"/den) byla zaregistrována 10. 12. 1987 [7, tab. 10]. Nebereme-li v úvahu změny směru, pak byla průměrná rychlost neslapového náklonu 0,0224"/den (což odpovídá průměrnému dennímu vertikálnímu posunu 0,0109 mm/100 m) [7, tab. 12 a str. 9].

Zajímavým společným rysem zjištěným na stanicích JEZEŘÍ a JEZERKA - 2 (vzdálených od sebe 1 590 m), je shodná periodičita variací rychlosti náklonu v období, pro něž jsou k dispozici výsledky z obou stanic (t.j. od 10. 7. 1987 do 7. 4. 1988) s průměrnou hodnotou 26 dnů (i když k maximálním změnám nedocházelo vždy ve stejný okamžik na obou stanicích) [7, str. 10]. Spojovacím článkem je zřejmě krystalinikum, v němž se obě stanice nachází, protože na stanici JEZERKA - 1, vzdálené od JEZERKY - 2 pouze 163 m, je pozorován zcela odlišný průběh rychlosti náklonu (zhruba roční periodičita s maximem v dubnu a minimem v říjnu - viz [7, tab. 12]).

"Nejpohyblivějším" místem z hlediska náklonového režimu je stanice JEZERKA - 1. Po zhruba dvouměsíčním období relativního klidu po zahájení měření zde byl od 29. 9. 1984 do 20. 3. 1985 pozorován téměř monotónní náklon celkové velikosti 18,12" (což odpovídá vertikálnímu posunu 8,78 mm/100 m) ve středním azimutu 241° s průměrnou změnou 0,1053"/den (což odpovídá dennímu vertikálnímu posunu 0,0511 mm/100 m). V následujících 2 letech až do 20. 2. 1987 zde byly registrovány většinou monotónní náklony (s častými obraty až o 180°), které však ani svou dílčí velikostí, ani celkovou změnou vztaženou k 20. 3. 1985 nepřesáhly 3" (viz tab. 2). Teprve 20. 2. 1987 začal náklon ve středním azimutu 350° (t.j. téměř na sever), který za půl roku do 25. 8. 1987 dosáhl celkové velikosti 12,38" (což odpovídá vertikálnímu posunu 6,00 mm/100 m) při průměrné změně 0,0663"/den (což odpovídá dennímu vertikálnímu posunu 0,0322 mm/100 m). Tímto náklonem byl také překročen původně navržený varovný stav pro krystalinikum (t.j. 6"). 25. 8. 1987 se náklon obrátil téměř přesně o 180° (do azimutu 169°) a do dalšího obratu 21. 3. 1988 dosáhl celkové velikosti 4,13" (což odpovídá vertikálnímu posunu 2,00 mm/100 m) s průměrnou denní změnou 0,0197". Po obratu 21. 3. 1988 do středního azimutu 343° se rychlost náklonu zvýšila více než trojnásobně (až na průměrnou hodnotu 0,0615"/den), takže do 8. 6. 1988 dosáhl náklon celkové velikosti 4,84" (což odpovídá vertikálnímu posunu 2,35 mm/100 m).

Nejvyšší rychlost náklonu 0,913"/den (což odpovídá dennímu vertikálnímu posunu 0,443 mm/100 m) byla na stanici JEZERKA - 1 zaregistrována 21. 1. 1985 [7, tab. 10]. V posledním analyzovaném ročním období dosáhla průměrná rychlost neslapového náklonu bez ohledu na změny směru velikosti 0,0592"/den (což odpovídá průměrnému dennímu vertikálnímu posunu 0,0287 mm/100 m) [7, tab. 12 a str. 9].

Z uvedených údajů je zřejmé, že jedinou kvantitativní charakteristikou, kterou lze použít k relativnímu srovnání náklonového režimu na jednotlivých stanicích je průměrná rychlost náklonu (bez ohledu na změny směru) po vyloučení slapových variací. V posledním ročním analyzovaném období je tato hodnota na stanicích JEZEŘÍ, JEZERKA - 2 a JEZERKA - 1 v poměru 1 : 2,52 : 6,64.

Z výsledků posledního analyzovaného období byly pro každou stanici navrženy jako zvláštní lokální charakteristiky pod označením "hranice zvýšené rychlosti" hodnoty hodinové, resp. denní změny náklonu, které byly na příslušné stanici překročeny v 10 % z celkového počtu pozorovaných dnů. V případě hodinových rychlostí jsou to hodnoty 0,0009"/h, 0,0017"/h a 0,0058"/h (v pořadí JEZEŘÍ, JEZERKA - 2 a JEZERKA - 1), v případě denních rychlostí pak 0,012"/den, 0,032"/den a 0,116"/den [7, tab. 12]. Pozorované překročení těchto hranic lze považovat za náznak systematické změny průběhu deformačního procesu.

Dosud získaný pozorovací materiál obsahuje však i řadu dalších, podle našeho názoru důležitých, informací o specifické reakci podloží v místě náklonoměrných stanic na působící síly globálního, regionálního i lokálního charakteru. Mimo rámec hospodářských smluv jsme se zaměřili zvláště na působení slapových sil a na vliv variací tlaku vzduchu. Na stanici JEZERKA - 1 byla prokázána [6, str. 16 - 18, tab. 12 - 15 a obr. 15 - 17] anomální, ve světě ojedinělá, reakce podloží ve směru NS na obě síly. Pozorovaná slapová deformace je svou velikostí zhruba třikrát větší než by měla být, má opačný smysl průběhu a téměř opačný směr. Náklonový ekvivalent variace tlaku vzduchu kolísá ve směru NS v rozmezí $(3 - 7) \cdot 10^{-3}$ /hPa, což je zhruba 10krát vyšší hodnota, než jaká byla pozorována na stanici JEZEŘÍ $\{(0,3 - 0,8) \cdot 10^{-3}$ /hPa [6, str. 15]].

Závěr

Dosavadní výsledky téměř 6 let náklonoměrných měření ve štolách Jezeří a Jezerka [2 - 7] prokázaly, že pro geodetickou a geologickou interpretaci lze vhodným zpracováním pozorovacího materiálu získat pro každou náklonoměrnou stanicí a určité časové období tyto informační údaje, charakterizující typ a případné systematické změny lokálního průběhu deformačního procesu z hlediska náklonového režimu:

- 1) obecný charakter náklonového režimu (např. klidný bez větších náklonů, kolísavé náklony náhodného směru a proměnné rychlosti, "smyčkovité" náklony vratného charakteru, systematické monotónní náklony v charakteristickém základním směru apod.),
- 2) okamžiky náhlých systematických změn pozorovaného deformačního procesu projevující se
 - a) změnami charakteru náklonového režimu (zvláště počátky a konce monotónních náklonů - viz bod 1),
 - b) změnami základního směru monotónního náklonu (zvláště ostrými obraty po delších časových obdobích),
 - c) změnami rychlosti náklonu (zvláště náhlým zrychlením),
- 3) průměrné hodinové a denní změny náklonu a jeho azimut.

Použitá literatura:

1. Ostrovskij, A. E.: Naklonoměr s fotoelektričeskou registrací.
Sb. "Izučeniye zemnykh prilivov", No. 2, ser. Rezultaty MGG. Izd. AN SSSR, Moskva 1961, 41.
2. Skalský, L., Jeřábek, J.: Vyhodnocení zkušebních náklonoměrných měření na úpatí Krušných hor v pokusné štolě Jezeří v období od 17. 9. 1982 do 17. 3. 1983. Zpráva o dílčím plnění HS č. 525/82. GFÚ ČSAV, Praha 1983.