

Geomorfologická interpretace měření ve štolě Jezeří

RNDr. Jan Burda, Ph.D.¹, prof. RNDr. Vít Vilímek, CSc.², RNDr. Jan Mrlina, Ph.D.³ a Ing. Petr Stanislav⁴

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; burda@vuhu.cz

²Katedra Fyzické Geografie a Geoekologie, Přírodovědecká Fakulta, Univerzita Karlova, Praha

³Geofyzikální ústav AV ČR, Praha

⁴Coal Services a.s., Most

Přijato: 28. 1. 2021, recenzováno: 11., 12. a 15. 2. 2021

Abstrakt

Nivelační měření vertikálních pohybů ve štolě Jezeří probíhá od roku 1985 a patří tak k nejdéle prováděným měřením v okolí lomu ČSA vůbec. V současné době jsou nivelační měření ve štolě Jezeří začleněna do komplexní sítě monitoringu bočních svahů lomu ČSA. Cílem nivelačních měření ve štolě Jezeří bylo ověřit případný vliv povrchové těžby hnědého uhlí v lomu ČSA na stabilitní poměry tektonicky porušeného krystalinika Krušných hor. Výsledky měření reflektují základní litologickou a strukturní odlišnost geologického prostředí, v němž je štola vyražena. Zároveň měření prokázala rozdílné trendy při jarních a podzimních měřeních.

Geomorphological interpretation of measurements in the Jezeří exploration gallery

Leveling measurements of vertical movements in the Jezeří exploration gallery have been taking place since 1985 and thus belong to the longest performed measurements in the vicinity of the ČSA open-pit mine. At present, levelling measurements in the Jezeří gallery are included in the comprehensive network of monitoring of the side slopes of the ČSA open-pit mine. The aim of the levelling measurements in the Jezeří gallery was to verify the possible influence of surface brown coal mining in the ČSA open-pit mine on the stability conditions of the tectonically disturbed crystalline rocks of the Krušné hory Mts. The measurement results reflect the basic lithological and structural differences of the geological environment in which the gallery is excavated. At the same time, the measurements showed different trends in spring and autumn measurements.

Geomorphologische Interpretation von Messungen im Stollen Eisenberg

Die Nivellierungsmessungen der vertikalen Bewegungen im Stollen Eisenberg verlaufen seit 1985 und gehören zu den an den längsten vorgenommenen Messungen in der Umgebung des Tagebaus ČSA überhaupt. Zurzeit werden Nivellierungsmessungen im Stollen Eisenberg in das Komplexnetz des Monitorings der Seitenböschungen des Tagebaus ČSA eingegliedert. Das Ziel der Nivellierungsmessungen im Stollen Eisenberg wurde die etwaige Wirkung des obertätigen Abbaus der Braunkohle im Tagebau ČSA auf Stabilitätsverhältnisse der tektonisch gestörten Krystallinikum des Erzgebirges zu überprüfen. Die Ergebnisse von Messungen reflektieren grundlegende lithologische und strukturelle Unterschiedlichkeit des geologischen Milieus, in dem der Stollen ausgetrieben ist. Gleichzeitig haben die Messungen unterschiedliche Trends bei den Frühlings- und Herbstmessungen nachgewiesen.

Klíčová slova: štola Jezeří, nivelace, zámek Jezeří, svahové pohyby, Krušné hory.

Keywords: Jezeří exploration gallery, levelling, Jezeří Castle, mass movements, Krušné hory Mts.

1 Úvod

V souvislosti s postupem lomu ČSA směrem k úpatí Krušných hor začala koncem 60. let 20. století vyvstávat otázka stabilitní problematiky lomových svahů při úpatí krušnohorského zlomového svahu. Od počátku 70. let 20. století pak probíhaly intenzivní inženýrsko-geologické průzkumné práce, které vyvrcholily v 80. letech ražbou velkých důlních děl Jezerka, Jezeří, Černice a Jiřetín (Mühldorf 1981, Smolař 1985, Horáček 1994). Rovněž vznikla obava nejen o stabilitu bočního svahu lomu ČSA v prostoru výchozových partií pánve, ale také o stabilitu celého strukturního svahu krušnohorského krystalinika až k jeho vrcholovým partiím. V nejkritičtějších partiích svahu, pod vrchem Jezeří (706 m n. m.) a v oblasti zámku Jezeří, proto byly ponechány ochranné pilíře a byl aplikován rozsáhlý soubor geotechnického monitoringu.

Z hlediska komplexnosti naprosto unikátní systém kontrolního sledování vznikl v oblasti Jezerka (1983-1985) a Janský vrch – Jezeří (1986), kde byla uplatněna celá řada metod, jimiž

se zahustila stávající soustava vnější geodetické sítě intervalově sledující polohové i výškové změny (Vyskočil 1983 a 1989, Kalvoda a Vilímek 1989, Kalvoda et al. 1990). Ve své době nejpropracovanější systém kontrolního sledování byl v 80. letech 20. stol. instrumentován v ochranném pilíři Jezerka (Mann a Janečková 1989, Rybář 1996, Rybář 1997, Valeš 1986 a 1998).

V současné době jsou z původní rozsáhlé sítě monitoringu zachována pravidelná nivelační měření a velmi přesná náklonoměrná měření Geofyzikálního ústavu AV ČR (Mrlina et al. 2016) ve štolě Jezeří, kde rovněž Ústav struktury a mechaniky hornin (ÚSMH) dodnes provozuje měřidlo TM 71 (Košťák et al. 2011). Zbylá důlní díla a vrty, kde se měření prováděla, již z větší části neexistují a metody měření na povrchu jsou dnes prováděna omezeně, s četností pro geotechnický monitoring nevyhovující.

Níže jsou popsány výsledky nivelačních měření ve štolě Jezeří, ty jsou konfrontovány s výsledky velmi přesné nivelace a náklonoměrných měření a dále porovnány s výsledky

modelování metodou konečných prvků (MKP). Hlavním cílem pak bylo měřené pohyby geomorfologicky interpretovat a určit, do jaké míry mohou být ovlivněny povrchovou těžbou.

2 Metodika

2.1 Niveláčnické měření

Základem dlouhodobých měření ve štolě se stala geometrická nivelace ze středu, která se provádí od dubna 1985. Původní měření 19 stabilizovaných bodů zahájil n. p. Stavební geologie a od začátku 90. let 20. stol. jej provádí sesterská servisní organizace těžbařské společnosti (oddělení měřictví a geoinformatiky – OMG).

Ucelený soubor dat pololetních měření (jaro a podzim) je k dispozici od konce roku 2000 a pokrývá tedy dvě dekády. Přesná nivelace je prováděna digitálním kompenzátorovým niveláčnickým přístrojem Leica DNA03 se střední kilometrovou chybou $m_0 = \pm 0,3$ mm. Výchozím bodem pro měření je bod MUS-J1, který má relativní výšku 292,3333 m, kontrolním bodem je $Z_2b_3 - 134,1$ s relativní výškou 269,8666 m. Totožnost a neměnnost výchozího bodu J_1 k bodu 134,1 je ověřována před každou etapou měření a periodicky každých 5 let jsou měření ČVUT (České vysoké učení technické) ověřovány relativní výšky (Jiříkovský a Seidl 2018).

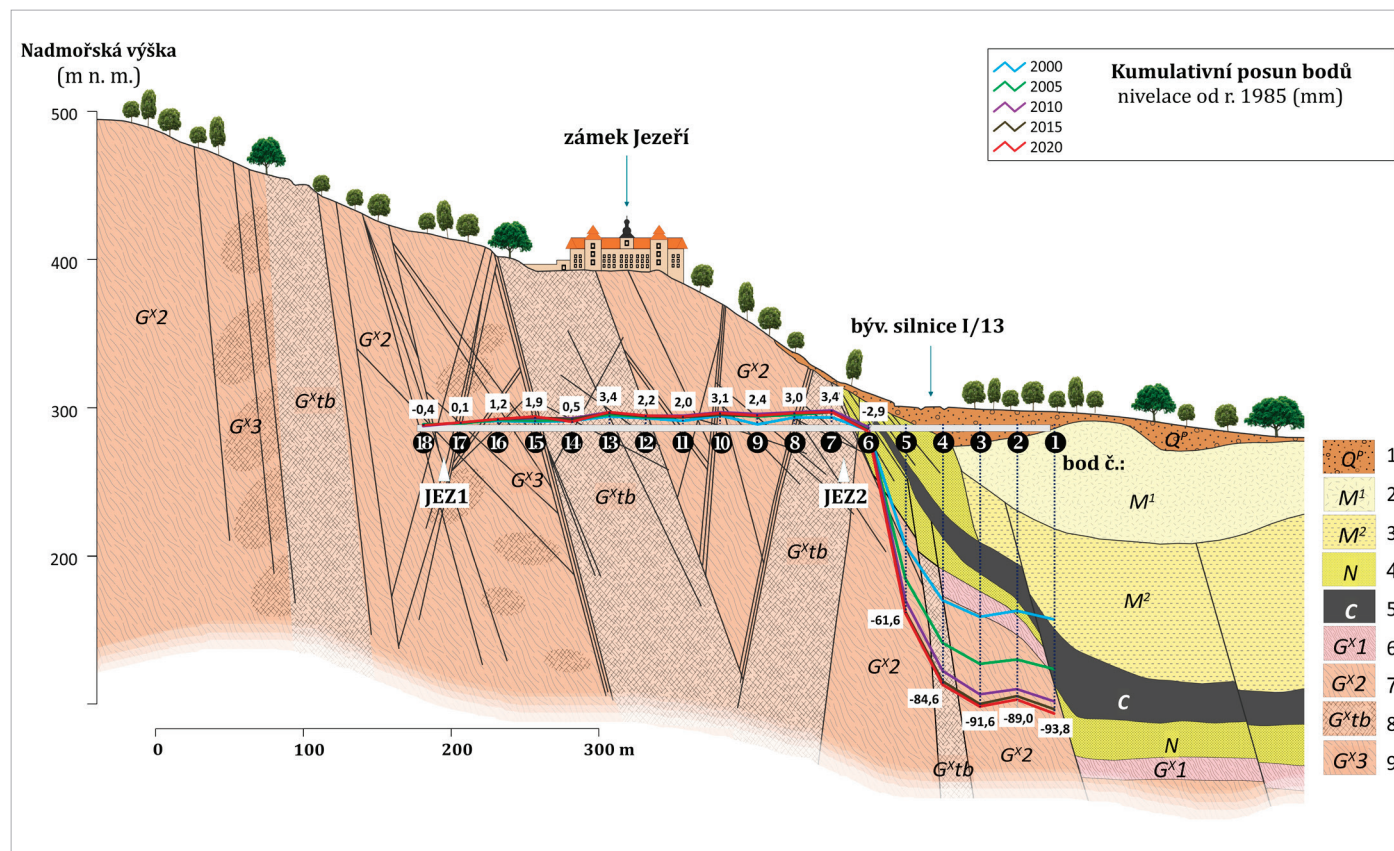
Vlastní měření probíhají na bodech instrumentovaných ve štolě Jezeří – sledováno 19 bodů (obrázek č. 1), z nichž bod č. 19 je určen jako výchozí/nultý.

2.2 Modelování MKP

Pro věrohodnější geomorfologickou interpretaci výsledků byly měřené pohyby porovnávány s výsledky modelového výpočtu MKP, v němž byl simulován dlouhodobý postup lomu v pánevní oblasti. Cílem bylo pokusit se definovat míru vlivu těžby na měřené pohyby. V modelu proto bylo zohledněno pět fází stavu povrchové těžby:

- I. fáze modeluje výchozí poměry před zahájením těžby;
- II. fáze zachycuje stav rozfárání před rokem 2000;
- III. fáze stav rozfárání v letech 2000-2005, kdy se povrchový lom začal intenzivně zahlubovat v předpolí štol;
- IV. fáze zachycuje maximální rozsah těžební činnosti v letech 2005-2010;
- V. fáze zachycuje stav zpětného vyplňování zbytkové jámy vnitřní výsypkou.

Modelování a výpočet byly provedeny pomocí 2D MKP softwaru, použit byl nelineární materiálový model Drucker-Prager, který se v lokálních podmínkách osvědčil již dříve (Vanneschi et al. 2018). Vstupními parametry pro tento model



Obr. 1: Idealizovaný geologický řez štolou Jezeří ilustrující kumulativní vertikální deformace štol v období 1985-2020. V obrázku je rovněž vyznačena poloha náklonoměrných stanic JEZ1 a JEZ2.

Legenda: 1) hlinitopísčito-kamenité svahové sutě a písčité poruluvální šterky; 2) miocenní prachovité jílly porušené, proklouzané, prohnětené, s drobně střípkovým rozpadem; 3) miocenní prachovité jílly pevné, kaolinicko-ilitické; 4) neogenní příbřežní nebo mělkovodní sedimenty charakteru středně až hrubozrnných pískovců; 5) uhelná sloj; 6) krystalinikum silně porušené, zejm. kaolinizací; 7) krystalinikum pevné – plástevnaté ortoruly s úklonem foliace 40-60° do pánve; 8) krystalinikum silně tektonicky porušené a chemicky alterované, charakteru tektonické brekcie; 9) krystalinikum pevné, ale rozvolněné a rozházené se silným zvodněním (zjednodušeno podle: Mühlendorf 1981).

Tab. 1: Fyzikální vlastnosti hornin (podle Mühldorf 1981 a Burda et al. 2020).

Hornina	γ [kN/m ³]	E^o [MPa]	E [MPa]	μ	φ [°]	c [MPa]
Q^p	20	150	500	0,20	40	0,05
M^1	19	15	40	0,40	18	0,01
M^2	20	70	350	0,25	15	0,35
N	22	900	1400	0,20	35	0,15
C	14	600	900	0,16	40	0,10
G^*1	22	200	450	0,25	25	0,06
G^*tb	24–25	900 – 1300	1 200 – 1 700	0,15 – 0,20	20 – 37*	0,05 – 0,55*
G^*2	25	4 500	5 000	0,10	36 – 50*	0,10 – 0,95*
G^*3	25	3 600	5 000	0,10	38 – 53*	0,30 – 1,00*

* rozpětí hodnot pro obor napětí σ_n od 0–4 MPa

jsou modul pružnosti zeminy E a Poissonovo číslo, dále pak úhel vnitřního tření a soudržnost zeminy, které určují hranici plasticity.

Program modeluje ustálený stav po redistribuci pórových tlaků a používá tedy efektivní parametry úhlu vnitřního tření φ_{ef} a soudržnosti c_{ef} . Jako základní vstupní data pro vytvoření modelu byly použity výsledky laboratorních a polních geotechnických zkoušek, které byly součástí realizace štoly Jezeří (Burda et al. 2021): Průzkumná důlní díla na úpatí Krušných hor), doplněné o laboratorní výsledky z nejnovějších inženýrskogeologických průzkumů (Burda et al. 2020). Vznikl tak statisticky robustní soubor dat vycházející celkem ze 122 vzorků, použité hodnoty jsou uvedeny v tab. 1. Vliv vody byl zohledněn ve všech vrstvách s výjimkou nadložních jílu (M^2), které jsou chápány jako izolátor a voda v nich uvažována nebyla (Vanneschi et al. 2018).

3 Výsledky

3.1 Nivelační měření

Projekce výsledků kumulativních vertikálních pohybů geodetických bodů v období 1985–2020 je znázorněna na obrázku č. 1. Je zřejmé, že body č. 1 až 5 jsou situovány v úvodní části štoly, která prochází sedimentární výplní, zatímco body č. 6 až 18 jsou síťovány v té části štoly, která prochází krystalinikem s různým stupněm tektonického porušení a alterace. V této zóně se kumulativní vertikální pohyb bodů pohyboval v rozmezí +0,1 až +3,4 mm. Jedinou výjimkou je bod č. 18, s kumulativním vertikálním posunem -0,4 mm (což je výrazně pod mezí dlouhodobé přesnosti měření), a bod č. 6, s kumulativním svislým posunem -2,9 mm. Tento bod je situován na rozhraní sedimentární výplně pánve v tektonicky silně porušených horninách krystalinika. Trvale zcela odlišný trend je zřejmý u bodů č. 1 až 5, umístěných v úvodní části štoly. Tyto body vykazují místo mírného zdvihu výrazný dlouhodobý pokles v rozmezí od -61,6 mm do -93,8 mm (v období 1985 až 2020).

Výsledky ucelených pololetních měření nivelace dostupných od konce roku 2000 jsou uvedeny na obrázku č. 4. Zjištěný rozsah kumulativních posunů je v rozmezí +2,1 až -32,8 mm, opět je zřejmý intenzivní vertikální pokles u bodů č. 1 až 5 (od -23,2 do -32,1 mm; s dlouhodobým průměrem -1,10 až -1,53 mm/rok).

Setrvalý pokles těchto bodů je patrný od roku 2000 až do začátku roku 2010. Poté průměrné hodnoty ročních poklesů klesly na -0,49 až -0,59 mm/rok, zatímco před rokem 2010 dosahovaly průměrných hodnot -1,90 až -2,80 mm/rok. Pokles této části štoly je historicky doložen extenzí štoly ve staničení 61,5–86,5 m, tj. mezi body č. 4 a č. 5. Největší pokles historicky vykazovaly právě body č. 1 – 5, oddělené výraznou tahovou trhlinou (cca na 70 m, viz obrázky č. 2 a 3).

Pro nekompletnost dat nelze podrobně popsat výsledky v období 1985–2000. Lze jen konstatovat, že v čelní části štoly byl u bodů č. 1–5 prokázán celkový pokles v rozmezí -38,4 až -61,7 mm (což odpovídá průměru -2,56 až -4,11 mm/rok), zatímco u bodů č. 6 až 18 se hodnoty celkových deformací pohybovaly v rozmezí -2,1 až +2,4 mm (odpovídá průměrným rychlostem -0,14 až +0,16 mm/rok).

Z úplného souboru dat pořízených po roce 2000 (měření probíhají dvakrát ročně, jarní etapa v období duben až květen, podzimní etapa v období říjen až listopad) lze vysledovat několik zajímavých trendů a změn, které měření v uplynulých dvaceti letech prokázala. Prvním je významný dlouhodobý rozdíl mezi jarními a podzimními trendy pohybu. Zatímco přední část štoly Jezeří (body č. 1–5) se vyznačuje dlouhodobě rozdílnou rychlostí poklesu při jarní a podzimní etapě, ve zbylé části štoly je při jarní a podzimní etapě zjevný vždy zcela protichůdný trend. Během jarních měření (obrázek č. 5) se v přední části štoly průměrné hodnoty poklesu pohybovaly v rozmezí -0,73 až -1,22 mm/rok, zatímco v podzimním období (obr. 6) byly průměrné hodnoty poklesů dvakrát až třikrát nižší (-0,33 až -0,40 mm/rok). Tento sezónní rozdíl rychlostí se ještě prohloubil po roce 2010, kdy se průměrné hodnoty jarních poklesů snížily na -0,36 až -0,63 mm/rok (před rokem 2010 se pohybovaly v rozmezí -1,28 až -2,04 mm/rok), ale podzimní měření začala indikovat úplné ustálení pohybů, neboť průměrné hodnoty poklesů klesly na -0,01 až +0,06 mm/rok (před rokem 2010 se pohybovaly v rozmezí -0,80 až -0,90 mm/rok).

Dalším fenoménem, sledovaným v zadní části štoly (body č. 6–18), je dlouhodobá protichůdnost výsledků z jarních a podzimních etap měření (obrázky č. 7 a 8). V této části štoly byly prokázány průměrné hodnoty jarních vertikálních pohybů v rozpětí mezi -0,3 až -2,8 mm (s výjimkou bodu č. 15 (+0,7 mm) a bodu č. 13 (+0,1 mm)). Podzimní etapa měření je však charakterizována průměrnými hodnotami vertikálních pohybů



Obr. 2: Extenze štolý Jezeří se ve staničení 61,5-85,6 m projevila vznikem tahové trhliny (Foto: J. Burda, 2012).

v rozmezí +0,1 až +3,8 mm. Srovnání výsledků jarních a podzimních měření nejen že indikuje dlouhodobě odlišné trendy pohybů, ale zároveň jednoznačnou nepřímou závislost jarních a podzimních trendů (průměrná hodnota korelačního koeficientu je $r = -0,78$, nejsilnější korelace převyšující $r = -0,9$ byly zjištěny u datových řad bodů č. 7, 14, 16 a 17 a minimální $r = -0,26$ u bodu č. 18).

3.2 Modelování MKP

Časový průběh hornické činnosti spojený se zahlubováním lomu ČSA v linii osy štolý Jezeří je schematicky zřejmý z řezů na obrázku č. 9. Intenzivní zahlubování lomu probíhalo přibližně do roku 2010, relativní hloubka dna lomu přesahovala 200 m. Po roce 2010 se hloubka snižovala v důsledku zpětného zasypávání vnitřní výsypkou. Vývoj těžby, resp. napěťo-deformační změny vyvolané těžbou se odráží i ve výsledcích MKP. Obrázek č. 9 ilustruje modelový vývoj vertikálních deformací (d_z) vyvolaných plastickým přetvořením uvnitř masivu zasaženého těžbou (obrázek č. 10).

Z výsledků vyplývá, že k plastickému přetváření dochází ve dvou zónách, odpovídajícím různým mechanismům pohybu: mělkým sesuvům a hluboce založeným deformacím celého bočního svahu lomu.

Tento výsledek plně koresponduje se závěry dříve publikovaných numerických modelů (např. Vanneschi et al. 2018). Zóna hluboce založených deformací je vázána na terciární sedimenty strmě vyvlečené podél linie tektonického zlomu (obrázek č. 10).

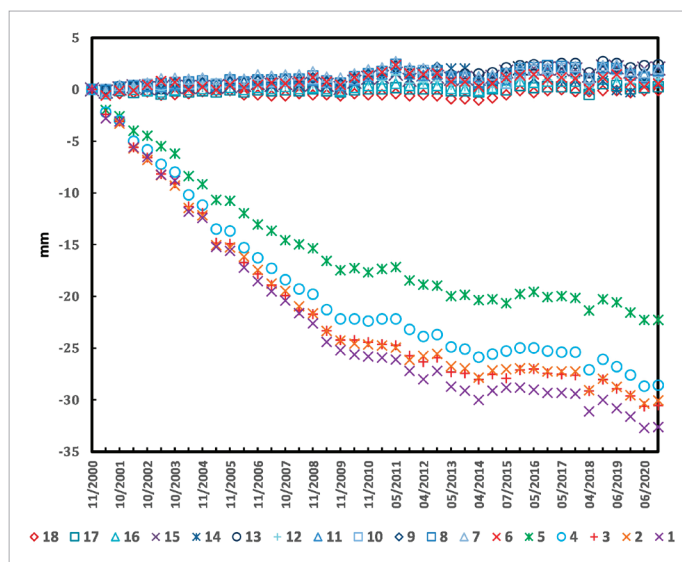


Obr. 3: Tahová trhlina ve štolě Jezeří porušující výztuž štolý po celém jejím obvodu (Foto: J. Burda, 2012).

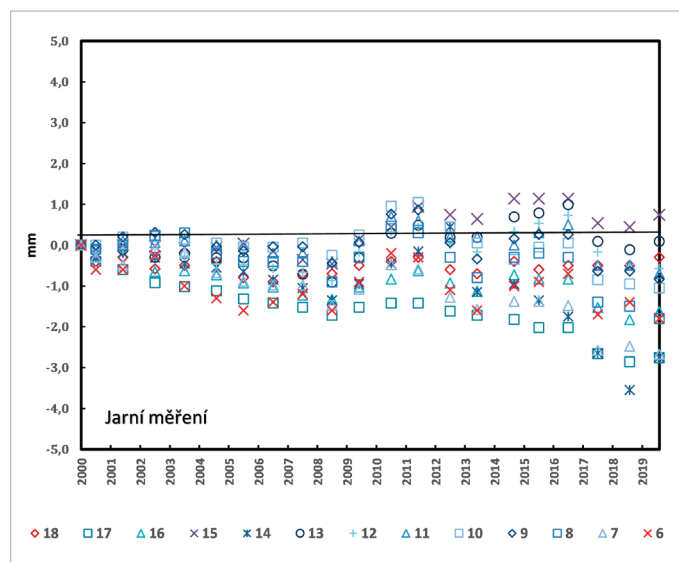
Dle modelu je podmínka plasticity překročena ve staničení 100 až 105 m. V reálné situaci je toto staničení poblíž první rozrážky (staničení 97,3 m) a mezi nivelačními body č. 5 a 6. U bodů č. 1 až 5 nivelační měření skutečně zaznamenala dlouhodobý pokles (-93,8 až -61,6 mm za období 35 let).

Zóna mělkých deformací je litologicky reprezentována mísovitě uloženými měkkými miocenními jíly tzv. regulační zóny, v mocnosti až 60 m. Tyto jíly jsou obvykle vodou nasycené, plastické a náchylné ke vzniku válcových a válcově-planárních smykových ploch (Pletichová 2006).

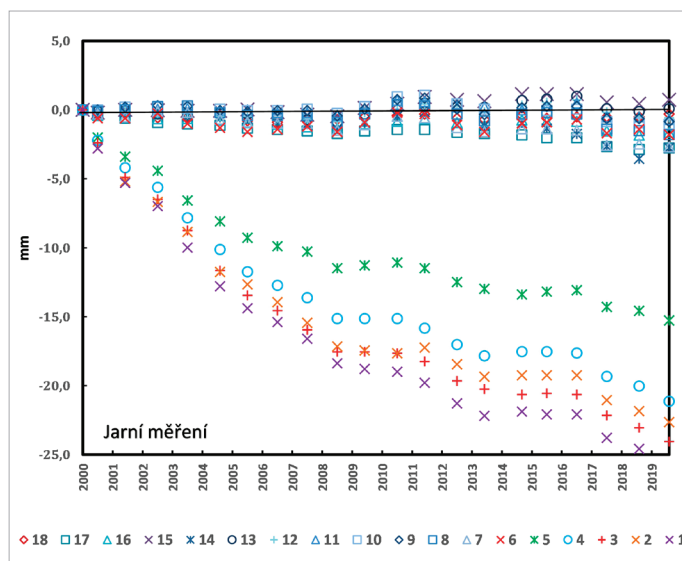
Dle předpokladu se napěťo-deformační změny vyvolané těžbou (obrázek č. 9) projevují v ponechaných pánevních sedimentech. V oblasti krystalinika však byly modelem predikovány minimální deformace. Modelované deformace se celkově velmi dobře shodují s deformacemi naměřenými in-situ (obrázek č. 11). Ačkoliv u bodů č. 1 až 6 model přepokládá výrazné poklesy, shoda modelových poklesů s poklesy měřenými in-situ je pouze u bodu č. 1. U bodů č. 2 až 5 jsou modelové hodnoty oproti měřením podhodnocené. Tuto skutečnost lze dát jednoznačně do souvislosti se dvěma faktory, které nebylo možno v takto prostorově rozsáhlém a geometricky složitým modelu lépe zohlednit. První je hydrogeologická složitost kontaktu pánve a krystalinika, druhou pak historické porušení pánevní výplně hlubinou těžbou dolu M. Koněv, které je zde dokumentované od 50. let minulého stol. Hlubinná těžba zde byla spojena s výraznými poklesy nadloží, které v takto strmě ukloněných sedimentech vedlo k jejich tahovému porušení a vzniku soustavy rozevřených tahových trhlin s výrazným-



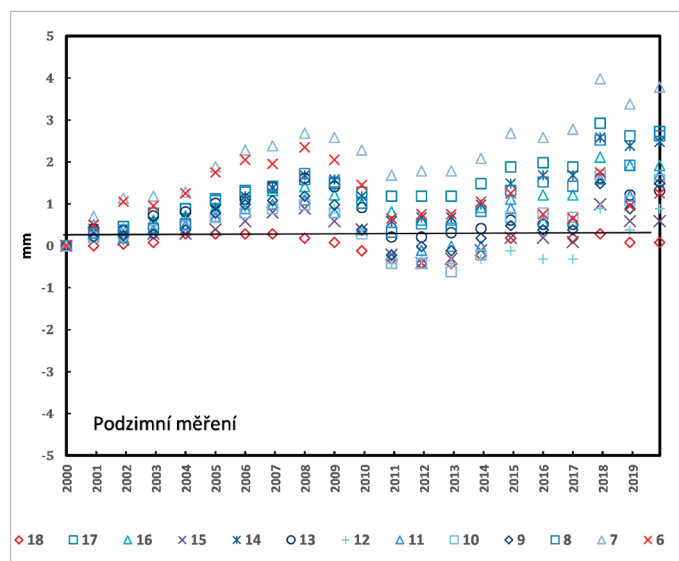
Obr. 4: Kumulativní vertikální změny ve štolě Jezeří v období let 2000-2020.



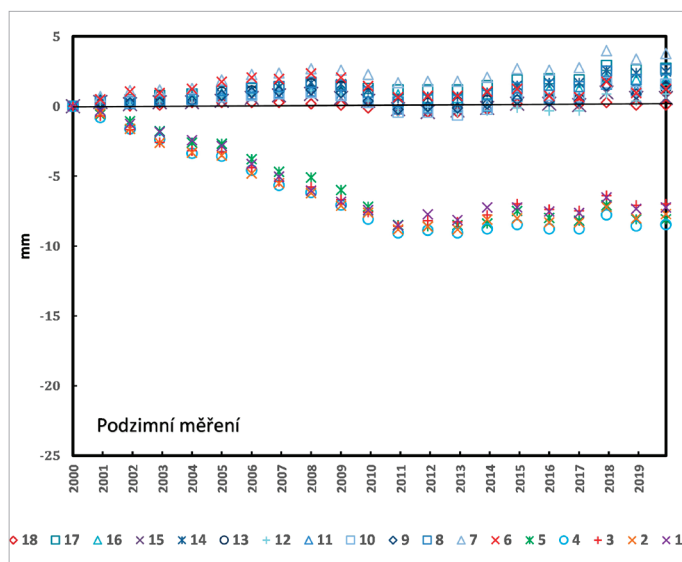
Obr. 7: Kumulativní vertikální změny ve štolě, detail bodů č. 6 až 18 na základě jarních měření.



Obr. 5: Kumulativní vertikální změny ve štolě na základě výsledků jarních měření (2000-2020).



Obr. 8: Kumulativní vertikální změny ve štolě, detail bodů č. 6 až 18 na základě podzimních měření.

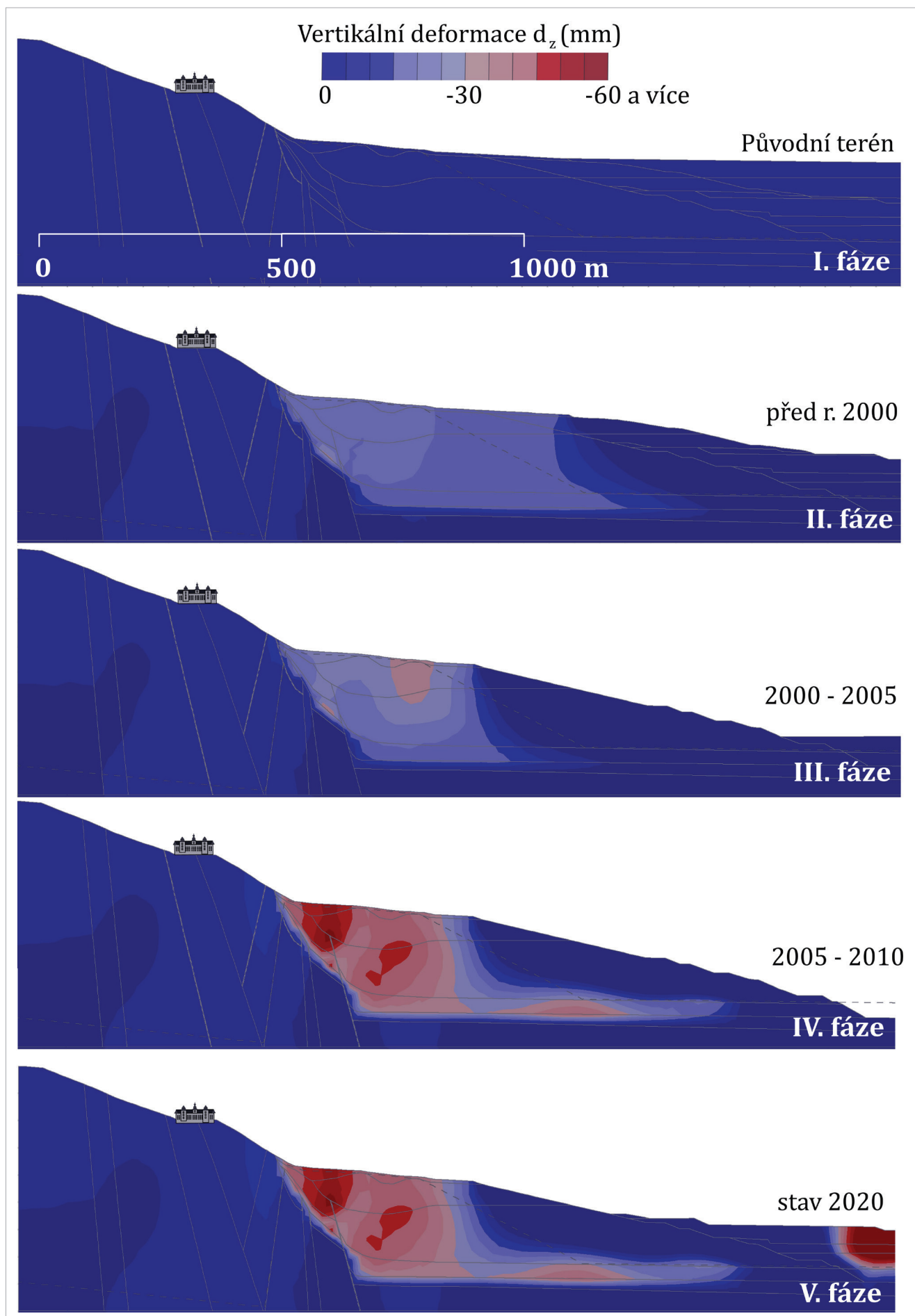


Obr. 6: Kumulativní vertikální změny ve štolě na základě výsledků podzimních měření (2000-2020).

mi poklesy, v důsledku čehož historicky zanikla obec Jezeří. Zdokumentované trhliny z 50. let minulého století (Špůrek 1974) jsou v terénu zřetelné dodnes (Burda et al. 2013) a jejich polohopisný průmět odpovídá trhlíně ve štolě Jezeří (obrázky č. 2 a 3). K reálnému poklesu štolý dochází v její čelní části před touto trhlinou, která je historicky porušena strmě ukloněnými plochami nespojitosti vzniklými následkem důlní činnosti.

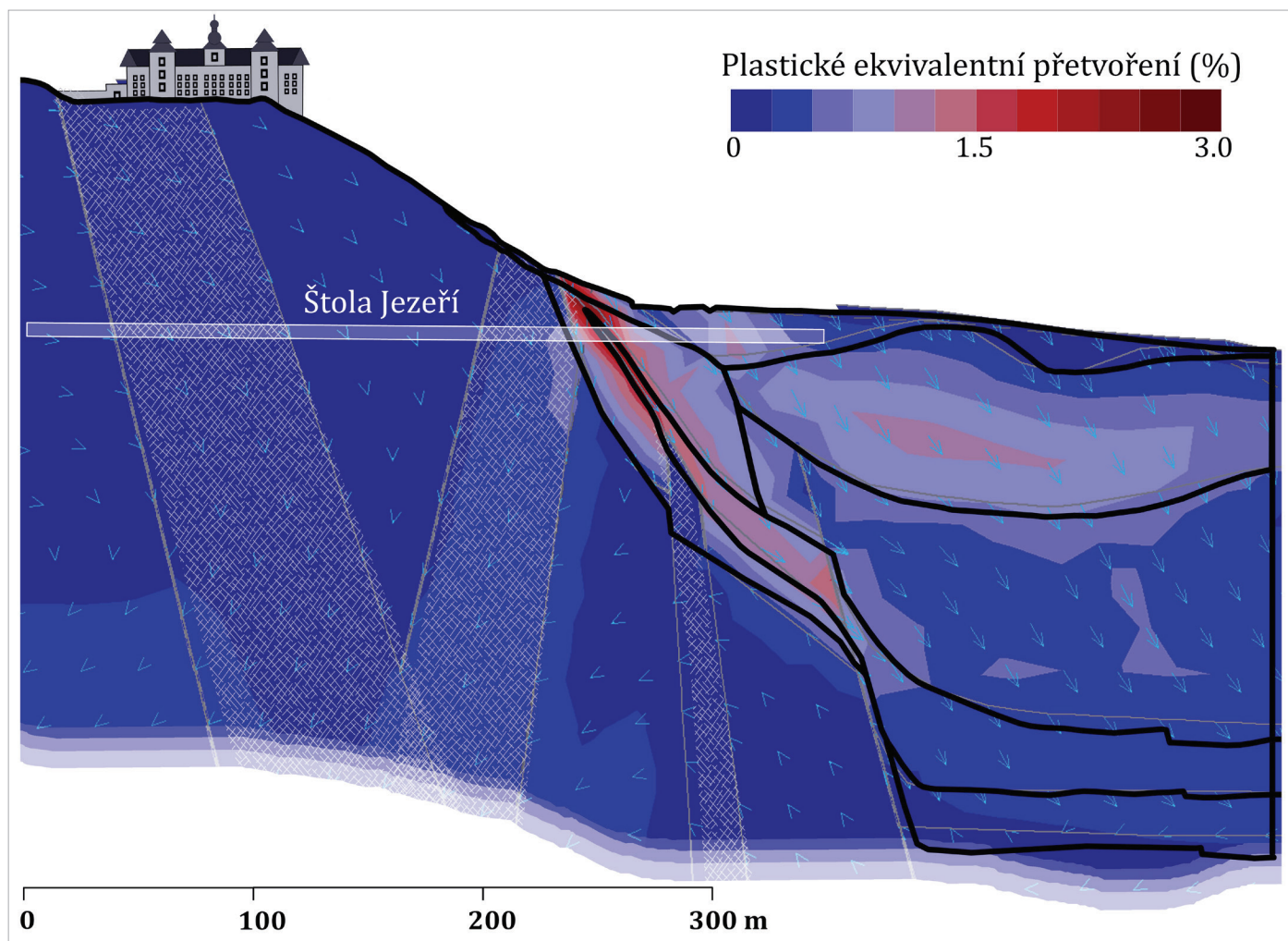
4 Geomorfologická interpretace

Výsledky nivelačních měření prováděných ve štolě Jezeří v letech 1985 až 2020 reflektují základní litologickou a strukturní odlišnost geologického prostředí, kterým štola prochází. Čelní část štolý prochází (ve staničení 0-115 m) kvartérními a terciárními sedimenty Mostecké pánve a je pro ni charakteristický setrvalý pokles v průběhu celého měřeného období. Vzhledem k faktu, že na strmých svazích Krušných hor v blízkém okolí štolý byly prokázány dlouhodobé plouzivé pohyby zvětralínového pláště (Burda 2011), lze přepokládat gravitační

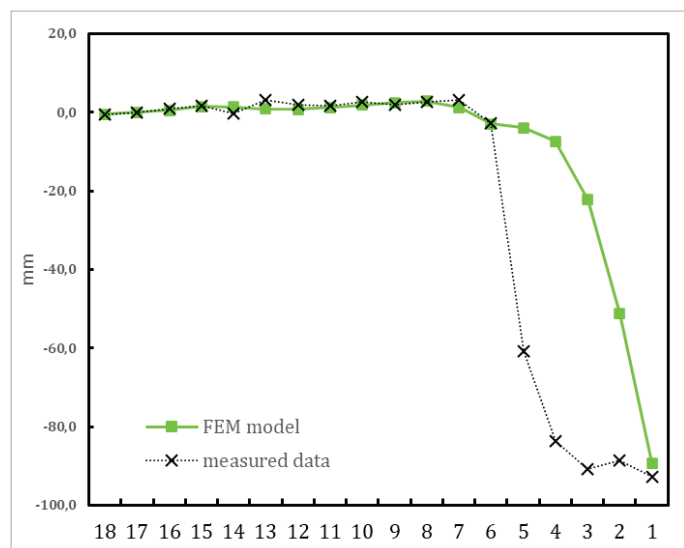
Obr. 9: Výpočet MKP zobrazující kumulativní vertikální deformace (d_z) v jednotlivých fázích těžby.

ploužení také u strmě vyvlečených sedimentů zachycených v čelní části štoly, které jsou zde lokálně navíc od 50. let 20. stol. porušeny hlubinnou důlní činností. Tento předpoklad je podpořen i výsledkem modelu MKP, v němž byly vertikální i horizontální deformace prokázány u strmě uložených sedimentů a u plastických nadložních jílu (M^1), a to i ve fázi před počátkem těžby (obrázek č. 10). Napěťo-deformační změny vyvolané v dalších fázích odtěžováním nadloží jsou spojeny se zvýrazněním těchto pohybů. Naopak fáze zohledňující zpětné zakládání výsypkových zemin již s dalším nárůstem plastických přetvoření spojena není. Na základě výsledků modelu MKP lze konstatovat, že nivelační měření v období 2000-2010 (rychlosti poklesu 1,90 a 2,80 mm/rok) reflektují právě pohyb akcelero- vaný napěťo-deformačními změnami vyvolanými povrchovou těžbou. Zřetelné zpomalení pohybů (rychlosti poklesu 0,49 až 0,59 mm/rok) nastalo po r. 2010, kdy již těžební fronta lomu postoupila dále severovýchodním směrem (vůči štolě) a dno jámy na jihozápadě bylo vyplňováno vnitřní výsypkou (obrázek č. 9). Předpokládáme tedy, že pokles po r. 2010 je už projevem výhradně přirozeného gravitačního pohybu, který se projevuje primárně na jaře v důsledku sezónního zvodnění sedimentů. Tento závěr je ve shodě s výrazným zpomalením rychlosti náklonů na stanici JEZ-2 po r. 2010 (Mrlina et al. 2016).

Lze předpokládat, že nivelační zdokumentovaný gravitační pohyb pánevních sedimentů, k němuž dochází právě v zimním/jarním období a který zasahuje do značných hloubek, může být spojen se značným uvolňováním napětí. Zjednodušeně lze tuto hypotézu chápat jako „odsedání“ plasticky se chovajících sedimentů od horského úpatí směrem do lomu. To následně vede k zimnímu/jarnímu zaklesávání uvolněného bloku krystalinika (viz $G \times 2$ na obrázku č. 1), což dlouhodobě potvrzují výsledky jarních nivelačních měření. „Zimní otočky“ náklonů směrem k východu ve stanici JEZ-2 i jarní vertikální poklesy dokumentované nivelační tak s největší pravděpodobností odrážejí krátkodobě klimaticky akcelero- vané hluboké gravitační pohyby pánevních sedimentů. Odezva na pohyby v pánevní oblasti přitom byla na stanici JEZ-2 (v poruchové zóně krystalinika) jednoznačně potvrzena již dříve (např. dobře popsaná událost z ledna 2011), kdy se akcelerace lokálních sesuvů projevila výraznou změnou směru a zrychlením náklonů (viz Mrlina et al. (2021): Měření náklonů svahu lomu ČSA ve štolě Jezeří). Pokud je v krystaliniku prokázána reakce na takovéto relativně malé události (cca 500 000 m³), lze rovněž očekávat reakce masivu i na výše popsané pohyby, které jsou hlubší, rozsáhlejší a dlouhodobější, byť výrazně pomalejší. Dalším faktem, který tuto hypotézu potvrzuje, je skutečnost, že rychlost náklonů se po roce 2010 trojnásobně snížila, což je opět v souladu se



Obr. 10: Výpočet MKP zobrazující místa, kde byla překročena podmínka plasticity neboli, kdy je zemina v plastickém stavu a vykazuje trvalé plastické deformace.



Obr. 11: Porovnání kumulativních vertikálních deformací měřených nivelací v letech 1985 až 2020 s modelovými deformacemi MKP (FEM).

zdokumentovanou stagnací pohybů pánevní výplně po roce 2010 (viz výše).

Blok zdravého krystalinika se zámek Jezeří (část štolý vymezená nivelačními body č. 6 až 15), oddělený mocnými zlomovými liniemi, morfologicky vytváří dominantní strmý facetový stupeň. Ten z pohledu geomorfologické interpretace naznačuje, že se lokálně jednalo o nejintenzivněji vyzdviho- vanou část svahu. Nivelační měření v období 1985 až 2020 zde prokázala zdvih bodů od 2,5 do 3,7 mm. V kontextu dřívě- ších studií (Kalvoda et al. 1990, Košťák et al. 2006 a 2011) lze tyto pohyby interpretovat jako elastický zdvih masivu, který je doprovázen zároveň jeho náklonem k JZ (tedy směrem do tektonicky predisponovaného údolí Šramnického potoka). Při interpretaci tohoto zdvihu nelze vyloučit, že se jedná o zdoku- mentovaný tektonický zdvih bloku. Průměrná rychlost by pak byla 0,7 až 1,1 mm/10 let, což by odpovídalo 1/10 rychlosti pro- kázané u většiny zdvihajících se pohoří a 1/100 rychlosti zdvihu nejaktivnějších orogenních oblastí (Spotila 2004).

Bod č. 16 reprezentuje přechodnou zónu (G*3), kterou střídá zdravé krystalinikum s umístěnými body č. 17 a 18. Tyto dva body jsou zde za celou dobu měření bez pohybu. Hodnota kumulativního posunu -0,4 mm, resp. 0,1 mm za 35 let je v to- leranci přesnosti metody. Měření náklonů na stanici JEZ-1 ve staničení 409 m (viz Mrlina et al. (2021) Měření náklonů svahu lomu ČSA ve štolě Jezeří) vykazuje trvale velmi mírný náklon k jihozápadu, tj. opět do tektonicky predisponovaného údolí Šramnického potoka. Jak azimut náklonu, tak jeho rychlost jsou po celou dobu měření konstantní, dílčí krátkodobé anomá- lie měření (např. 1995) odrážely geodynamické jevy nadregio- nálního až globálního charakteru (Košťák et al. 2006, Košťák et al. 2011). Vliv klimatu, ani těžby na rychlost či směr náklonů na JEZ-1 se zde nepodařilo prokázat.

5 Závěr

Všechny výše uvedené výsledky reflektují základní litologic- kou a strukturní odlišnost geologického prostředí, v němž je

štola vyražena – terciární sedimenty Mostecké pánve v přední části štolý (0–115 m) a více či méně tektonicky porušené krys- talinikum Krušných hor (staničení 115–432 m).

Tyto dvě geologicky odlišné oblasti se vyznačují dlouho- době odlišnými trendy. V úvodní části štolý je zřejmý dlou- hodobý pokles vázaný na pánevní výplň, podobně jako dříve ve štolě Jezerka (Rybář 1996), byť ne tak výrazný. Pohyb je zde interpretován jako gravitační ploužení plastických zemín, které bylo akcelerováno odlehčením v důsledku těžby. Jarní nivelační měření pak zohledňují období akcelerace pohybů, zatímco podzimní měření zohledňují spíše stagnaci pohybové aktivity, přičemž zvláště patrná je tato skutečnost po roce 2010, kdy se vliv těžby přestal projevat.

V zadní části štolý (staničení 115–432 m) procházející krys- talinikem jsou pak jarní a podzimní trendy zcela protichůdné, přičemž pro jarní měření je charakteristický spíše pokles, zatímco pro podzimní zdvih. Jde o opačný trend sezónních zdvihů a poklesů oproti dřívějším měřením velmi přesné nive- lace na povrchu (viz Vilímek et al. (2021): Historie a výsledky nivelačních měření v okolí štolý Jezeří). Tento opačný trend se odvíjí od skutečnosti, že měření probíhají přímo v poruchovém pásmu krystalinika a reflektují pohyby v pánevní oblasti, které jsou akcelerované právě v zimním a jarním období. Celkově se však v této části štolý potvrdil elastický zdvih, výjimkou jsou body č. 17 a 18 ve zdravém krystaliniku v zadní části štolý, u nichž se žádný pohyb, a tedy ani vliv těžby, neprokázal.

Literatura

- [1] BURDA, J.: Spatio-temporal activity of mass move- ments in the Krušné Hory Mountains (Czech Republic): dendrogeomorphological case study. *AUC Geographica*, 46, no. 2, pp. 15-30, 2011.
- [2] BURDA, J., HARTVICH, F., VALENTA, J., SMÍTKA, V. A RYBÁŘ, J.: Climate-induced land- slide reactivation at the edge of the Most Basin (Czech Republic) – progress towards better landslide prediction. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13, s. 361- 374, 2013.
- [3] BURDA, J., VALVODA, P., VESELÝ, M., FULTNER, J., ŽÍŽKA, L.: Stabilitní studie k zatápní lomu ČSA. Závěrečná zpráva, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, GH-011/20, 76 s., 2020.
- [4] BURDA, J., PILÍK, M., VÁCHA, T., BAUER, R.: Průzkumná důlní díla na úpatí Krušných hor. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, 1/2021, s. 4-12, 2021, ISSN 1213–1660.
- [5] HORÁČEK, M.: Srovnání poznatků o průzkumných důlních dílech mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách. *Sbor. Geol. Věd., Ř. HIG*, 20, Praha, s. 45-51, 1994.
- [6] JIŘIKOVSKÝ, T., SEIDL, M.: Výškové zaměření bodů nivelačních pořadů v oblasti Krušných hor. *Technická zpráva, ČVUT Praha*, 9 s., 2018.
- [7] KALVODA, J., VILÍMEK, V.: Geomorfologická inter- pretace měření pohybů zemského povrchu na zvláštním nivelačním pořadu Mikulovice – Jezeří v Krušných horách. *Výzk. zpr. Úgg čsav, Praha*, 174 s., 1989.

- [8] KALVODA, J., STEMBERK, J., VILÍMEK, V., ZEMAN, A.: Analysis of levelling measurements of the Earth's surface movements on the geodynamic polygon Mikulovice - Jezeří in the Krušné hory Mts. Proc. 6th Int. IAEG Cong., č. 3, Amsterdam, s. 1631-1637, 1990.
- [9] KOŠTÁK, B., CHÁN, B., RYBÁŘ, J.: Deformations trends in the Jezeří castle massif, Kurné Hory Mt. Acts Geod. Geomater., vol. 3, 2 (142), s. 39-49, 2006.
- [10] KOŠTÁK, B., MRLINA, J., STEMBERK, J., CHÁN, B.: Tectonic movements monitored in the Bohemian Massif. Journal of Geodynamics, 52, s. 34-77, 2011.
- [11] MANN, J., JANEČKOVÁ, J.: Báňsko-technická problematika a sledování bezpečnosti těžby na úpatí Krušných hor v oblasti VČSA. Zpravodaj Hnědé uhlí, 12, č. 6, s. 20-23, 1989.
- [12] MEJZLÍK, L., MENCL, V.: Stabilita pilíře Jezeří. Stabilita svahů na povrchových hnědouhelných dolech. Souhrn přednášek, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, Most, s. 26-32, 1989.
- [13] MRLINA, J., POLÁK, V., SKALSKÝ, P. A CHÁN, B.: Hazardous slope control in an open pit mine based on continuous tilt observations. Proc. 5th Geological & Earth Sciences (GEOS), Global Science & Technology Forum (GSTF), Singapore, p. 48-52, 2016, ISSN 2251-3353.
- [14] MRLINA, J., POLÁK, V., CHÁN, B., SKALSKÝ, P.: Měření náklonů svahu lomu ČSA ve štole Jezeří. Zpravodaj Hnědé uhlí, 1/2021, s. 31-35, 2021, ISSN 1213-1660.
- [15] MÜHLDOERF, J.: Závěrečná zpráva Komořany II.C – Jezeří. Stavební geologie n. p., Praha, 1981.
- [16] RYBÁŘ, J.: Hodnocení výsledků kontrolního sledování bočních svahů lomu Čs. armády v období 1983-1996. Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GA ČR: 205/94/1769, ÚSMH AV ČR, Praha, 10 s., 1996.
- [17] RYBÁŘ, J.: Interpretation of data about tectonic activity at the toe of Krušné Hory Mts. Affecting endogenous and exogenous processes in the rock environment. Acta Montana, Series AB, 106, č. 4, s. 9-24, 1997.
- [18] PLETICHOVÁ, M.: Hydrogeologická problematika v prostoru ochranného pilíře SKPJ. Zpravodaj Hnědé uhlí, 3/2006, s. 12-16, 2006. ISSN 1213-1660.
- [19] RYBÁŘ, J.: Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997. Geotechnika, č. 2, s. 7-14, 1999.
- [20] RYBÁŘ, J.: Bedeutung der klimatischen Verhältnisse für die Aktivität von Rutschungen (in German). Mitteilungen für Ingenieurgeologie und Geomechanik, 4, s. 89-104, 2001.
- [21] SMOLAŘ, Z.: Závěrečná zpráva Jezerka. MS Geofond, Praha, 1985.
- [22] SPOTILA, J.A.: Orogenesis. In Goudie A. S. (ed.) Encyclopedia of Geomorphology, s. 731-734, 2004.
- [23] ŠPŮREK, M.: Sesuvné jevy u Dřínova na Mostecku. Věst. Ustř. Úst. Geol., 49, s. 231-234, 1974.
- [24] VYSKOČIL, P.: Zhodnocení pohybové aktivity v předpolí velkolomu Čs. armády. Stabilita svahů na povrchových hnědouhelných dolech. Souhrn přednášek, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, Most, s. 56-73, 1983.
- [25] VALEŠ, J.: Problematika těžby uhlí pod úpatím Krušných hor. Zpravodaj SHR, Zvláštní číslo, Hlavní výsledky výzkumu v 7. PLP, s. 58-71, 1986.
- [26] VALEŠ, J.: Řešení stabilitních problémů na jižním úpatí Krušných hor. In Valášek, V. (ed.): 45 let Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, s. 95-100, 1998.
- [27] VANNESCHI, C., EYRE, M., BURDA, J., ŽIŽKA, L., FRANCIONI, M., COGGAN, J.S.: Investigation of landslide failure mechanisms adjacent to lignite mining operations in North Bohemia (Czech Republic) through a limit equilibrium/finite element modelling approach. Geomorphology, 320, s. 142-153, 2018.
- [28] VILÍMEK, V., KALVODA, J., KROCZEK, T.: Historie a výsledky nivelačních měření v okolí štolý Jezeří, Zpravodaj Hnědé uhlí, 1/2021, s. 26-30, 2021, ISSN 1213-1660.
- [29] VYSKOČIL, P.: Recentní pohyby v širším prostoru velkolomu ČSA. Stabilita svahů na povrchových hnědouhelných dolech. Souhrn přednášek, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, Most, s. 72-87, 1989.
- [30] VYSKOČIL, P.: Zhodnocení pohybové aktivity v předpolí velkolomu Čs. armády. Stabilita svahů na povrchových hnědouhelných dolech, Souhrn přednášek, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, Most, s. 56-73, 1983.