

## Deset let automatického monitoringu svahů na lomu ČSA (období 2005-2014)

RNDr. Jan Burda, Ph.D.<sup>1</sup>, Ing. Petr Stanislav<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav hnědého uhlí a.s., Most, tř. Budovatelů 2830/3; burda@vuhu.cz

<sup>2</sup>Severní energetická a.s., Most, Václava Řezáče 315; p.stanislav@sev-en.cz

Přijato: 31. 1. 2016, recenzováno: 8. a 10. 2. 2015

### Abstrakt

V roce 2005 bylo z podnětu Oddělení měřičství a geologie Mostecké uhelné a. s. etapové čtvrtletní měření bočních svahů lomu ČSA nahrazeno kontinuálním proměřováním pomocí automatické totální stanice. Stabilizací odrazných hranolů ve sledovaném území, včetně vybudování zajišťovacích bodů, byl vytvořen systém sledování změnových stavů, který se stal základní sledovací metodou. Technické řešení, které bylo zvoleno před deseti lety, pracuje spolehlivě v téměř nezměněném stavu dodnes.

### Ten years of the slopes automatic monitoring of open pit mine ČSA (period 2005-2014)

Based on the initiative of the Department of geodesy and geology of the Mostecká uhelná a.s. the evaluation of side slopes of the open pit mine ČSA performed in the quarterly measurements was replaced by a continuous using the robotic total station with automatic target recognition. By the stabilisation of reflecting prisms in the territory, including the construction of protection points, the system for the monitoring of the side slopes has been created, which became the key method of whole monitoring system. This technical solution, which was chosen over a decade ago, works reliably in the almost unaltered condition up to this day.

### Zehn Jahre des automatischen Monitoring von Böschungen auf dem Tagebau ČSA (Zeitraum 2005-2014)

Im Jahr 2005 wurde auf Veranlassung der Abteilung Markscheidewesen und Geologie der Aktiengesellschaft Mostecká uhelná die vierteljährliche Etappenmessung der seitlichen Böschungen des Tagebaus ČSA durch eine kontinuierliche Messung mit Hilfe einer automatischen Totalstation ersetzt. Durch die Stabilisierung der Reflexionsprismen im überwachten Gelände, einschl. der Errichtung von Sicherungspunkten, wurde ein Überwachungssystem der Änderungszustände geschaffen, das zu einer grundlegenden Überwachungsmethode wurde. Die technische Lösung, die vor zehn Jahre ausgewählt wurde, arbeitet zuverlässig fast unverändert bis heute.

Klíčová slova: geotechnický monitoring, geodetická měření, svahové pohyby, lom ČSA.

Keywords: geotechnical monitoring, geodetic measurements, mass movements, ČSA open-cast mine.

## 1 Úvod

Na rozdíl od dřívějších let se pozornost současných geodetických měření v prostoru lomu ČSA soustřeďuje zejména na partie kvarterních sedimentů a nadložních jíílů, které tvoří boční svahy lomu a jejichž stabilita je pro bezpečnost báňského provozu klíčová. Tyto svahy jsou od roku 2005 monitorovány sítí geodetických bodů, které jsou v pravidelném intervalu zaměřovány automatickou totální stanicí umístěnou v měřicím stanovišti na dně lomu. Nový systém automatického sledování bočních svahů lomu ČSA byl zprovozněn na jaře v roce 2005 a nahradil nákladné etapové měření, které probíhalo ve čtvrtletních intervalech.

Zájmová lokalita se nachází na styku Krušných hor a Mostecké pánve a zjednodušeně ji lze definovat jako oblast mezi svahem Jánského vrchu (737 m n. m.) a Albrechtickou výsypkou (obrázek č. 1). Geologické a fyzikogeografické poměry zájmového území byly již mnohokrát podrobně popsány [např. 25,10, 23,1,12,4,30,15,16,17,13,8,26,27 a 3]. Specifikem oblasti je rozsáhlý antropogenní reliéf, který přímo navazuje na strukturní svahy kateřinohorské klenby.

Pánevní souvrství je zde tvořeno mocnými lakustrinními sedimenty miocénního stáří. Jílové souvrství má přibližnou mocnost 200 m a navazuje na uhelnou sloj mocnou 20-35 m. Uhlenná sloj je od pánevního krušnohorského krystalinika oddělena svrchně paleogenními a spodně neogenními klastickými sedimenty [10,1,13]. Ve sledované oblasti mezi Mosteckou pánví

a Krušnými horami ostře prochází linie krušnohorského zlomu. Mocnost této poruchové zóny se odhaduje na 40 m [15].

## 2 Historie monitoringu v oblasti

Z hlediska komplexnosti naprosto unikátní systém kontrolního sledování vznikl v oblasti Jezerka (1983-1985) a především v oblasti Jánský vrch – Jezeří (1986), kde byla uplatněna celá řada metod, jimiž se zahustila stávající soustava vnější geodetické sítě intervalově sledující polohové i výškové změny [28,29,5,6].

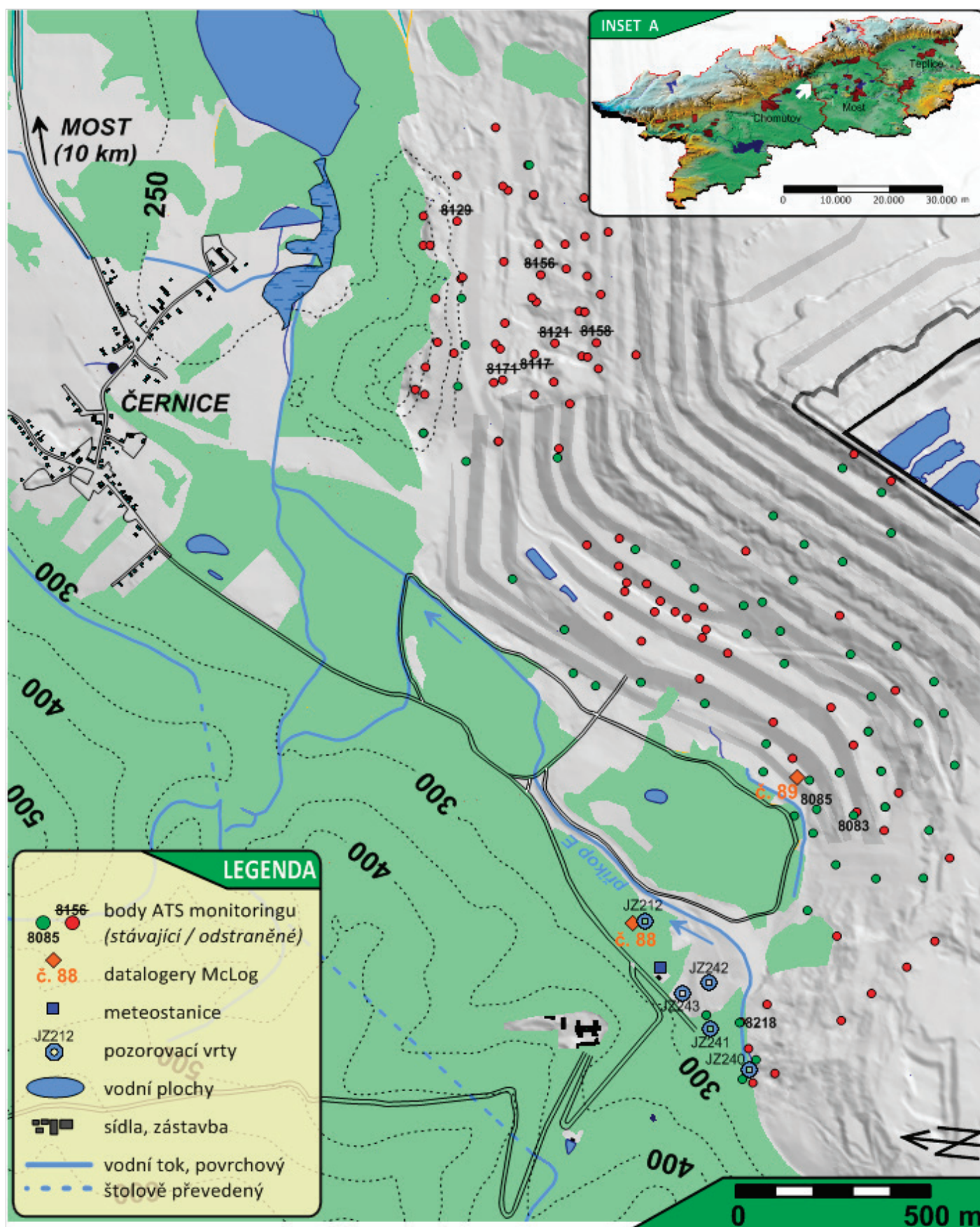
Nově realizovaná měření lze charakterizovat jako měření prováděná ve vrtech, měření ve štole Jezeří a měření na povrchu terénu [14].

### Měření ve vrtech

V 80. a 90. letech 20. stol. se základem monitoringu bočních svahů lomu ČSA stala přesná inklinometrie [21]. Původní měření prováděl n. p. Stavební geologie, později, od 90. let firma AZ Monitoring. Součástí inklinometrických měření bylo také měření pórových tlaků ve vrtech. Od roku 2005 byla tato pravidelná měření nahrazena geodetickým sledováním svahů. V předpolí lomu ČSA měří v současné době hladinu podzemní vody Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) [20].

### Měření ve štole Jezeří

Základem dlouhodobých měření ve štole se stala přesná nivelace, která se provádí od 80. let. 20. stol. Původní měření



Obr. 1: Situace lomu ČSA sledovaného automatickým monitoringem. Ve výřezu A je zájmová oblast vyznačena v prostoru Mstěcké páně v rámci okresů Chomutov, Most a Teplice.

19 stabilizovaných bodů zahájil n. p. Stavební geologie a od začátku 90. let 20. stol. jej provádí sesterská servisní organizace těžařské společnosti. Během téměř třicetileté řady měření se podařilo zdokumentovat pokles prvních pěti bodů v ústí štoly a mírné stoupavé tendence v prostoru krystalinika.

Vyjma nivelace se provádí řada dalších přesných měření. Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR provozuje měřidlo TM 71, které je umístěné v čelbě štoly [9].

Od roku 1982 provádí Geofyzikální ústav AV ČR velmi přesná náklonoměrná měření, zachycující deformační procesy s rozlišovací schopností 0,0001 úhlové vteřiny. V současnosti jsou činné dvě stanice: „Jezeří-1“ a „Jezeří-2“, umístěné v čelbě štoly, resp. 140 m od ústí štoly [9]. Vyjma těchto měření pracuje v současné době Geofyzikální ústav na vytvoření lokální seismo-grafické sítě.

#### Měření na povrchu terénu

Povrchová měření vnější geodetické sítě se provádějí od 70. let minulého století [28]. V souvislosti s řešením otázky stability krystalinika byly v 80. letech na svazích instrumentovány nivelační pořady Z2b 11; Z2b 10; Z2b 3 [6]. Titíž autoři si všimají cykličnosti ve vertikálních změnách pohybu bodů nivelačních pořadů v korelaci se změnou ročního období a stupněm nasycení masivu vodou (podzim 1983-jaro 1989) [7].

Od roku 2005 se páteří současného monitorování bočních svahů lomu a přilehlé oblasti stala metoda ATS (automatické totální stanice), doplněná o průběžné měření bodů metodou GNSS [2].

Zcela obdobný, a ve své době ještě propracovanější, systém kontrolního sledování byl instrumentován v 80. letech 20. stol. v pilíři Jezerka [14,21,24].

### 3 Současné metody sledování bočních svahů

#### 3.1 Monitoring ATS

Základem jsou geodetická měření prováděná automatickou totální stanicí Leica TCA 2003. Touto monitorovací stanicí, instalovanou na vyuhleném a nepřesypaném pevném podloží lomu ČSA, je od března 2005 prováděno nepřetržitě měření v reálném režimu polární metodou monitorovaných a vztažných bodů. Geodetická totální stanice TCA 2003 je určena pro přesné měření se směrodatnou odchylkou měření úhlů 0,15 mgon a pro měření délek mezi body signalizovanými standardními odraznými hranoly. Stanice TCA 2003 je vybavena dvouosým kapalinovým kompenzátorem, dalekohledem s třicetinasobným zvětšením s registrací měření na paměťovou kartu S-RAM. Další technické parametry velmi přesné totální stanice TC 2003 i její automatizované verze TCA 2003 jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Posuny bodů zaměřovaných v hodinových cyklech se hodnotí na základě výsledků opakovaných měření ve vztahu k základní etapě měření nebo předcházejícímu měření. Všechny naměřené hodnoty jsou archivovány jak v relativní, tak absolutní formě v poloze (X, Y) i v prostoru (X, Y, Z).

Cílem nasazení automatického monitorovacího systému bylo především zajistit nepřetržitost sledování nestabilních nebo potenciálně nestabilních oblastí, včetně vyhodnocování prostorových změn sledovaných bodů, a následné využití výsledků měření v rozhodovacím procesu. Pro umístění a provoz

Tab. 1: Technické parametry automatické totální stanice Leica TCA 2003.

| TCA 2003                      |                                                                                                            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Přesnost Hz, V                | 0,5" (0,15 mgon)                                                                                           |
| Přesnost měřených délek       | 1 mm + 1 ppm                                                                                               |
| Dosah dálkoměru               | 2 500 m (hranol GPR1)<br>1 300 m (360° hranol GRZ4)<br>900 m (minihranol GMP101)<br>200 m (folie 60x60 mm) |
| Kompenzátor                   | 4' (0,07 gon)                                                                                              |
| Zvětšení dalekohledu          | 30x                                                                                                        |
| Zorné pole                    | průměr 2,7 m na 100 m                                                                                      |
| Nejkratší záměra              | 1,7 m                                                                                                      |
| Displej                       | LCD, 64 x 210 pixelů                                                                                       |
| Registrace dat                | karta S-RAM, 512 kB a 2 MB                                                                                 |
| Rychlost autom. otáčení       | 45° /sec                                                                                                   |
| Autom. cílení na hranol (ATR) | 1 000 m (GPR1) / 500 m (GRZ4)                                                                              |
| Sledování hranolu (LOCK)      | 500 m (GPR1) / 350 m (GRZ4)                                                                                |
| Výdrž s baterií GEB187        | TC 600 měření,<br>TCA 400 měření                                                                           |
| Odolnost proti prachu a vodě  | IP54                                                                                                       |
| Info                          | ISO 17123-4                                                                                                |

automa-tické totální stanice bylo nutné vybudovat objekt měřického stanoviště, který musel, s ohledem na požadavek celoročního kontinuálního provozu, splňovat stanovené požadavky, např.: konstantní provozní prostředí uvnitř objektu, ochranu před povětrnostními vlivy, zajištění napájení elektrickou energií, přenos dat nebo zabezpečení objektu.

V době přípravy a realizace nového monitorovacího systému (2004-2005) nebyl tento způsob monitorování zcela běžný, proto nebylo možné takto specifický objekt běžně zakoupit nebo vyrobit na základě dostupné projektové dokumentace a bylo nutné jej tedy vyrobit v montážních dílnách důlní společnosti. Jako základ byly použity pontony z pasových vratných stanic spojené profilovým materiálem. Na tomto základu byla vystavěna konstrukce z ocelových profilů s podlahovým plechem. Obvodový plášť tvoří zdvojený ocelový plech s izolačním materiálem a horní část lepená skla usazená v profilové gumě. Střecha byla zvolena jako zdvojená s odsazením a překrytem z důvodu ochrany před



Obr. 2: Automatická totální stanice Leica TCA 2003 v klimatizované kóji na dně lomu ČSA (A). Tzv. operativní geodetický bod zasazený do plastového mezníku (B).

povětrnostními vlivy, zejména slunečním zářením a dešťovými srážkami (obrázek č. 2). Konstantní provozní prostředí uvnitř objektu zajišťuje klimatizační jednotka a topné těleso.

Měření probíhá v nastavených hodinových intervalech. Nejvzdálenější body od stanoviště ATS Leica TCA 2003 je bod 8175, jehož šikmá vzdálenost činí 2 421,9 m, a bod 8232, jehož šikmá vzdálenost je 2 402,3 m.

### 3.2 Měření atmosférických srážek, teploty, hladiny podzemní vody a půdní vlhkosti

Údaje o teplotách a srážkách jsou získávány z automatické meteorologické stanice Jezeří, provozované pracovníky VÚHU a.s., která byla v r. 2008 umístěna poblíž portálu štoly Jezeří a je tedy v bezprostřední blízkosti monitorované oblasti. K dispozici jsou hodinová měření srážek, teploty vzduchu, směru a rychlosti větru. Data z meteorologické stanice Jezeří jsou využívána k hodnocení vlivu krátkodobých srážek a přívalových dešťů.

Z klimatologických stanic ČHMÚ Boleboř (asi 7 km od zámku Jezeří) a Kopisty u Mostu (asi 8 km od zámku Jezeří), jsou kontrolně používány měsíční srážkové úhrny. Ty jsou nejčastěji využívány k hodnocení dlouhodobé srážkové bilance v prostoru horské oblasti a Mostecké pánve. Získaná klimatologická data jsou vzájemně porovnána s úrovní hladiny podzemní vody ve vrtech.

Hladinu podzemní vody (HPV) je možné v zájmovém prostoru sledovat na pěti pozorovacích vrtech. Vrt JZ 240 – JZ 243 byly odvrtány v srpnu 2010 a jsou sledovány ve dvoutýdenním intervalu. Vrt JZ 212 je osazen automatickým hladinoměrem. Všechny vrtky jsou vystrojeny a sledují mělké podzemní vody kvartérní zvodně. Zbylé vrtky, které jsou v prostoru monitorovány (61 vrtů), jsou vystrojeny do krystalinika, uhelné sloje, popř. do podložních klastik.

Ke sledování sezónních změn půdní vlhkosti byly v prosinci 2011 instalovány dva dataloggery MicroLog V3A 88 a 89. Oba dataloggery jsou osazeny dvěma čidly půdní vlhkosti WaterScout SM 100 (v horizontech 500 a 1000 mm). K interpretaci byla použita kalibrační křivka uváděná výrobcem.

## 4 Výsledky měření

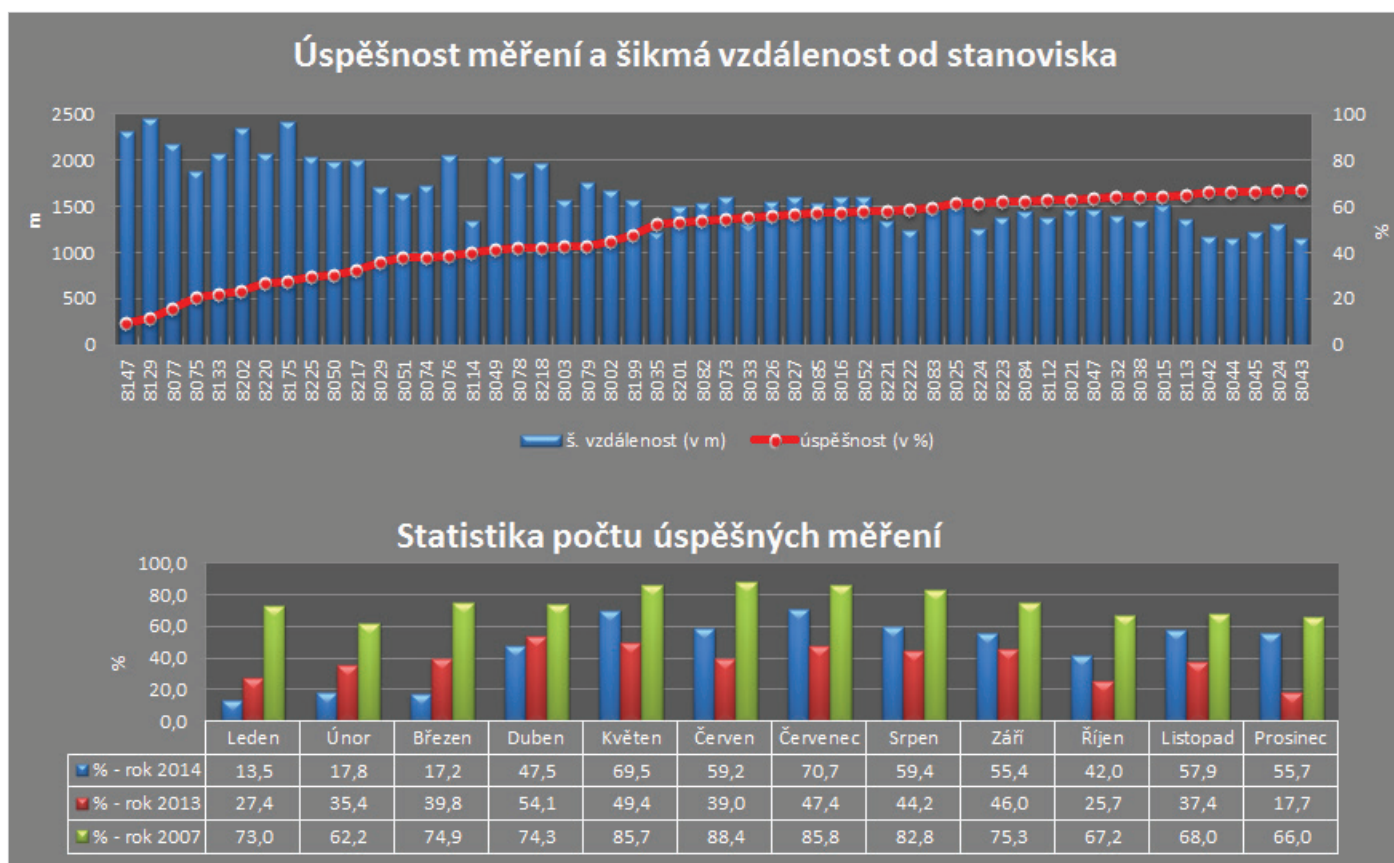
### 4.1 Zkušenosti s provozem ATS měření

Pro automatizované monitorování stability svahu bylo v předmětné oblasti v první etapě (2004) vybudováno 45 stabilizovaných odrazných hranolů umístěných v ochranném plechovém pouzdře a připevněných na 3,5 m dlouhé ocelové trubky o průměru 60 mm (obrázek č. 2). Takto připravené odrazné hranoly byly zasazené do připravených vrtů o hloubce 2,0 m a dotěsněny zásypaným materiálem s cementací.

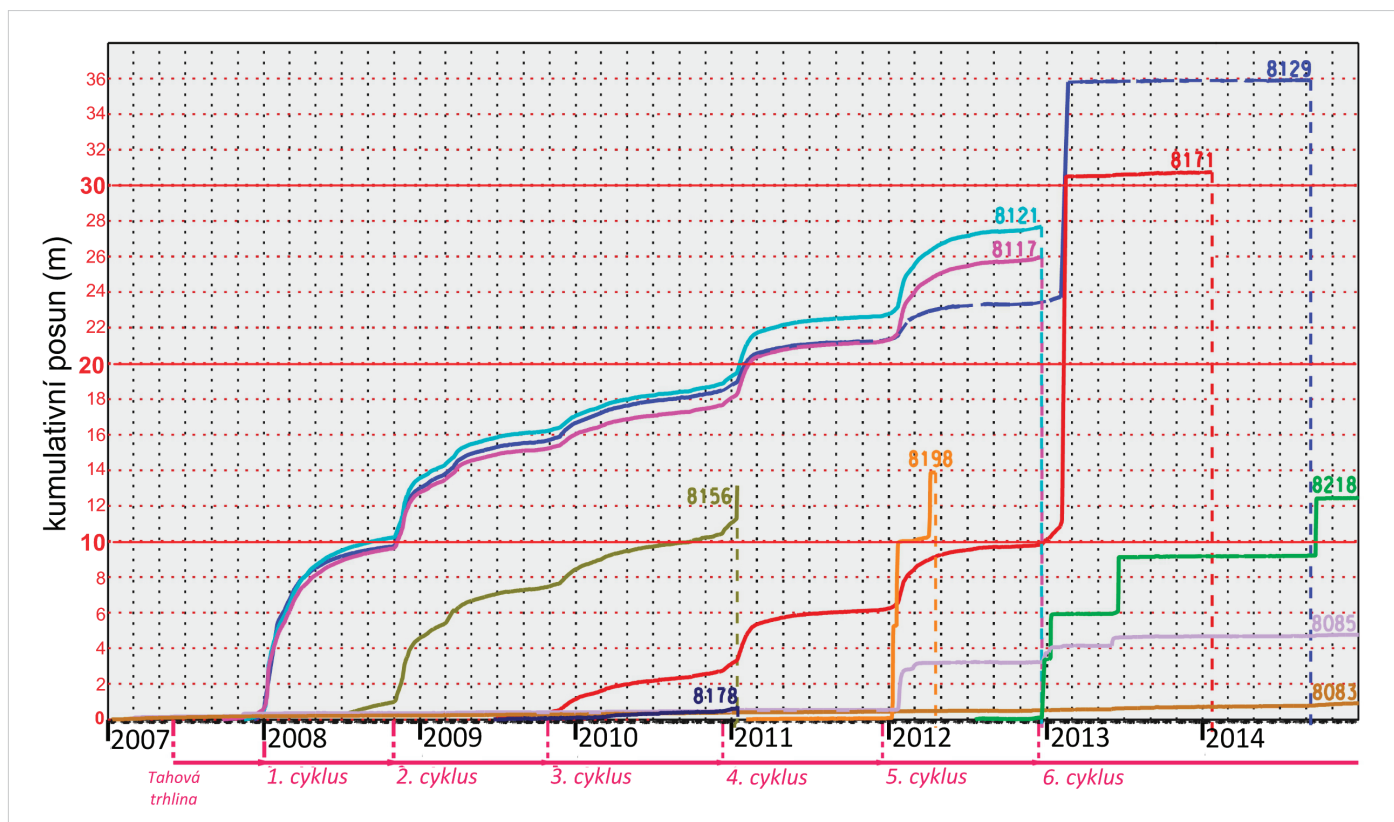
S postupem porubní fronty uhelného lomu vznikla potřeba rozsah automatického monitoringu přizpůsobovat provozním potřebám, zejména směrem k Albrechtické výsypce. Z důvodu nedostupnosti některých svahových partií pro vrtnou soupravu byly od roku 2006 stabilizovány tzv. operativní body formou kovové tyčky zasazené do plastového mezníku (obrázek č. 2B). Největší rozsah automatického monitoringu byl v roce 2010, kdy bylo proměřováno 76 pevných a operativních bodů. V současné době (leden 2016) je stabilizováno 56 bodů.

Společně s měřicí stanicí je v objektu měřického stanoviště umístěn počítač s řídicím software ATS a vyhodnocovací software výsledků měření. Všechny stabilizované body jsou každou hodinu pravidelně proměřovány a každou hodinu jsou vyhodnocovány dílčí změny v poloze bodů (z hodiny na hodinu) a celkové změny v poloze (aktuální poloha k počáteční poloze). Současně se každou hodinu výsledky zobrazují v dispečinku lomu a v případě překročení stanovených mezních hodnot se příslušným pracovníkům společnosti automaticky rozesílají informativní SMS zprávy nebo e-mailové zprávy. Soubor denních výsledků měření se automaticky vždy následující den odesílá na specializované pracoviště VÚHU a.s.

Pro potřeby statistického sledování je z celkového počtu možných měření počítána úspěšnost záměrů vybraných bodů a všech bodů v jednotlivých měsících. Celková úspěšnost měření v roce 2014 činila 48 % (215 242 měření), což je více než 8 % zlepšení úspěšnosti měření oproti roku 2013. Historicky nejlepších výsledků úspěšnosti měření bylo dosaženo v roce 2007. Od té doby úspěšnost měření klesala, a to zejména v důsledku



Obr. 3: Srovnání šikmé vzdálenosti jednotlivých bodů a úspěšnosti měření v r. 2014 a v letech 2013 a 2007 a měsíční statistika úspěšnosti měření v těchto letech.



Obr. 4: Kumulovaný vektorový posun vybraných bodů sledovaných metodou ATS. U bodů situovaných v prostoru Albrechtické výsypky (8129, 8121, 8117, 8156, 8171) jsou naznačeny i jednotlivé akcelerační cykly.

osazování nových bodů s velkou šikmou vzdáleností od stanoviště ATS (obrázek č. 3). Měření v těchto případech probíhá na hranici technických možností přístroje.

#### 4.2 Vývoj pohybů v oblastech sledovaných monitoringem

Dlouhodobým sledováním chování bočních svahů lomu s nižším stupněm bezpečnosti, i v původně neporušeném masivu, se podařilo prokázat deformační účinky změněného napětového stavu masivu. Postupný vývoj svahových poruch umožnil korigovat původní představy o vrstevní anizotropii, reologických a litologických kontrastech vrstevního sledu nadložního souvrství a vlivu odlučnosti překonsolidované zeminy na prudkém snížení smykové pevnosti za současného deformačního posunu až po reziduální hodnoty. V naprosté většině se setkáváme u závěrných svahů lomu s předurčenými skluznými plochami, de facto odlučnými plochami, kterými je masiv prostoupen, v závislosti na změně napětového stavu způsobené odlehčením masivu dřívějším těžebním postupem.

Za dobu monitoringu, který se provádí v území bočních svahů lomu ČSA, byly prokázány následující účinky progresivního vývoje, creepového i destruktivního charakteru.

##### Plošné sesuvy s mělkými skluznými plochami

Jsou vyvolány zpravidla účinkem podzemní vody, jejíž hladina zasahuje do líce svahu. Přítomnost hladiny podzemní vody ve svrchní třetině nebo v polovině výšky svahu vyvolává plošné sesuvy. Sesuvy takového typu se nedaří zabezpečit jenom

zploštěním svahu, pokud není současně potlačen vliv proudového tlaku, např. hlubokými drenážními žebry. Tyto svahové plošné deformace se v časovém horizontu desítek let můžou v odlučné části retrogradně rozšířit i za hranu svahu. Takový svah je pak nutně podepřít opěrným tělesem, zpravidla lomovým kamenem, jak to bylo provedeno na svrchním řezu, označovaném v báňských postupech 1A, v prostoru arboreta.

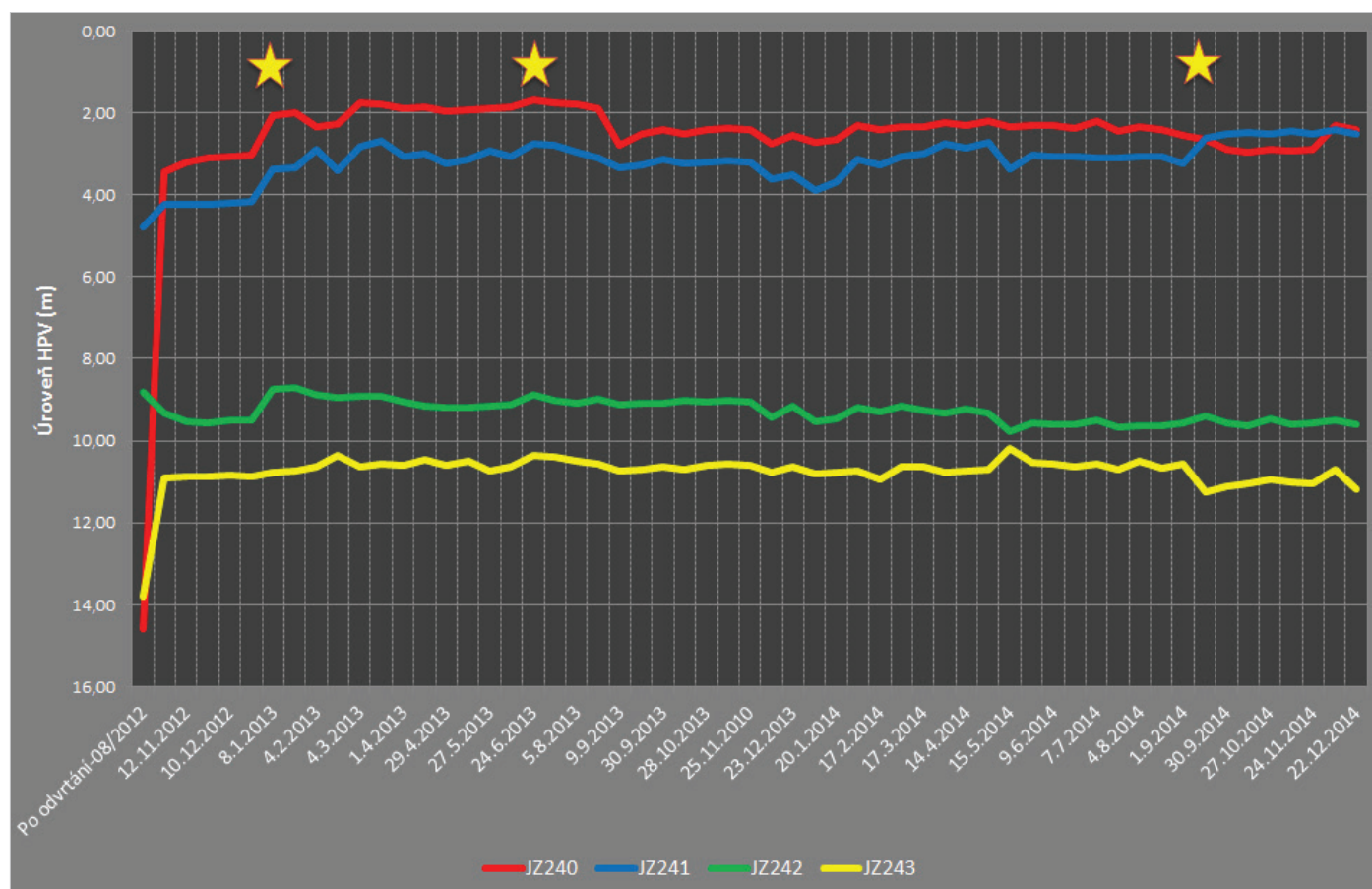
Plošné sesuvy jsou pozorovány ve větší četnosti na skrývkových řezech, jejichž sklon dlouhodobě odpovídá pouze provoznímu stupni bezpečnosti. V případě malého odstupu následujícího hlubšího řezu může docházet v dlouhodobém měřítku k porušení stability i tohoto spodního řezu. Je tím porušována postupně stabilita skupiny řezů a posléze stabilita celého vysokého svahu.

##### Progresivní vývoj blokového sesuvu

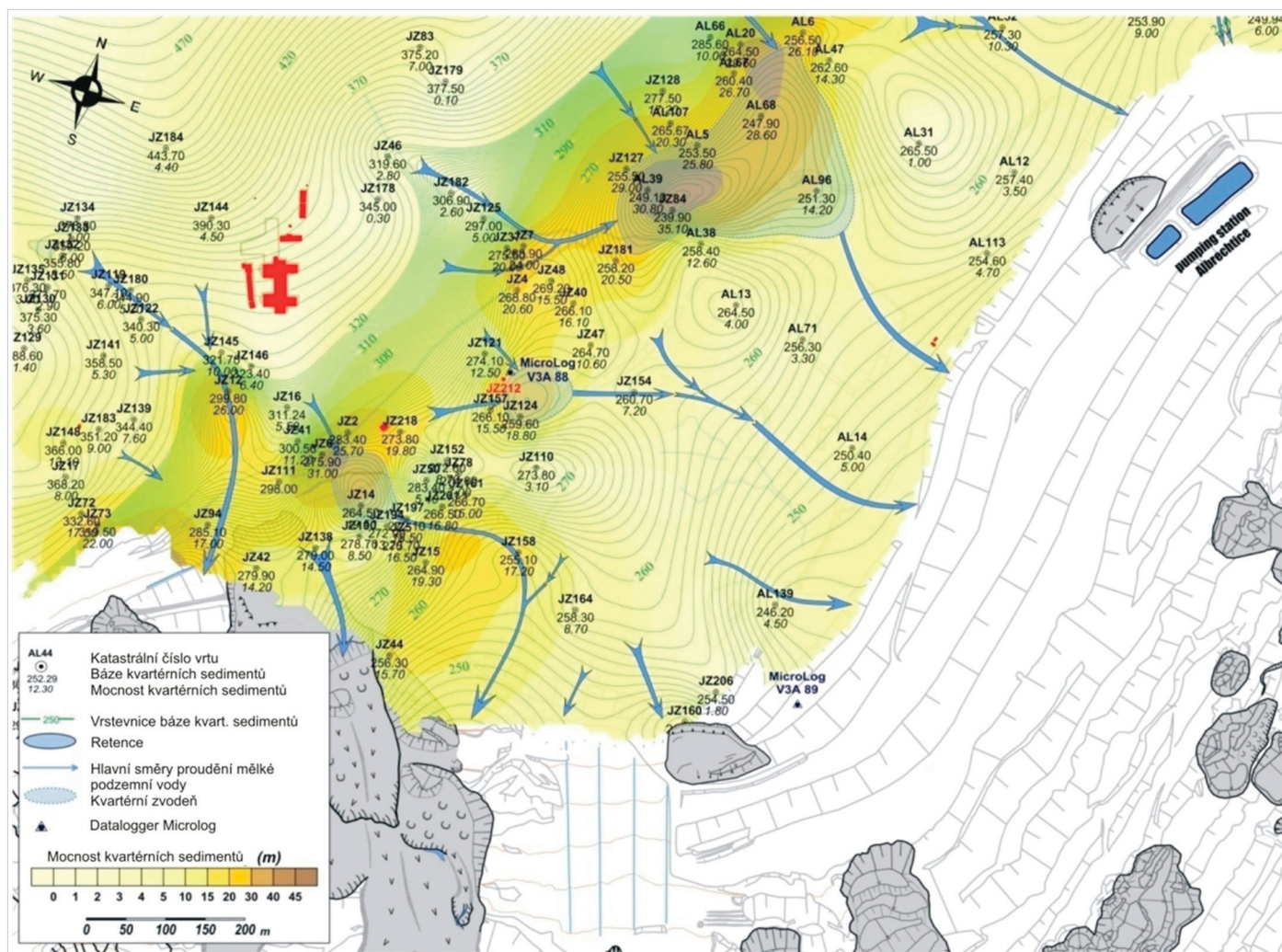
Blokový sesuv velkého rozsahu se udál 19. 6. 2005. Při vizuální pochůzce byl již 3. 12. 2004 avizován zřetelnými příčnými trhlinami, pozorovanými v betonovém základu bývalé silnice procházející obcí Albrechtice, respektive její koncové části odříznuté 1. skrývkovým řezem.

Významným avízem následného náhlého sesuvu po hlubokých skluzných plochách bylo zvětšování a rozšiřování širokého pásma trhlin. Tvorba pásma trhlin za vytvářející se skluznou plochou, jejím vyústěním, je typickým projevem progresivního porušování masivu.

Posun byl zaznamenán v časovém úseku mezi 01:05 až 04:30 hod. Svahovou deformací byla zasažena příjezdová komu-



Obr. 5: HPV na vybraných vrtech sledujících kvartérní zvođen. Žlutá hvězda naznačuje akceleraci pohybů v prostoru skrývkových svahů, která se projevila u více měřičských bodů.



Obr. 6: Mapa báze kvartérních sedimentů a hydrogeologická situace zájmové oblasti, znázorňující polohu zvodní v mísovitých kvartérních akumulacích a předpokládané preferenční směry proudění podzemní vody (zpracoval: Ing. L. Žižka).

nikace pod vrátnicí Albrechtice, čerpací stanice Albrechtice, elektrické napájení 35 kV a sloup retranslační stanice sloužící k ovládání technologických celků a rypadel KU 800/90 a 75. Blokovým posunem o ploše 850 x 450 m došlo k porušení, v té době ještě rekonstruované, čerpací stanice v jámě Koněv VI (posun o 12 m v hloubce 14,46 m pod ohlubi jámy).

#### 4.3 Cyklicky se opakující svážné projevy vlivem klimatických faktorů

V případě ponechání svahů v nesanovaném stavu s velkou pravděpodobností dochází k cyklické pohybové aktivitě zesílené klimatickými faktory. Pro aktivizaci pohybů musí být dosažena určitá kritická úroveň saturace porušené zeminy, související se zvýšenou srážkovou bilancí a anomálním úhrnem srážek. Velmi výrazný odraz klimatických faktorů na oživení svážných pohybů má meteorologický jev, kdy taje sněhová pokrývka s omezenými odtokovými poměry a za minimálního výparu.

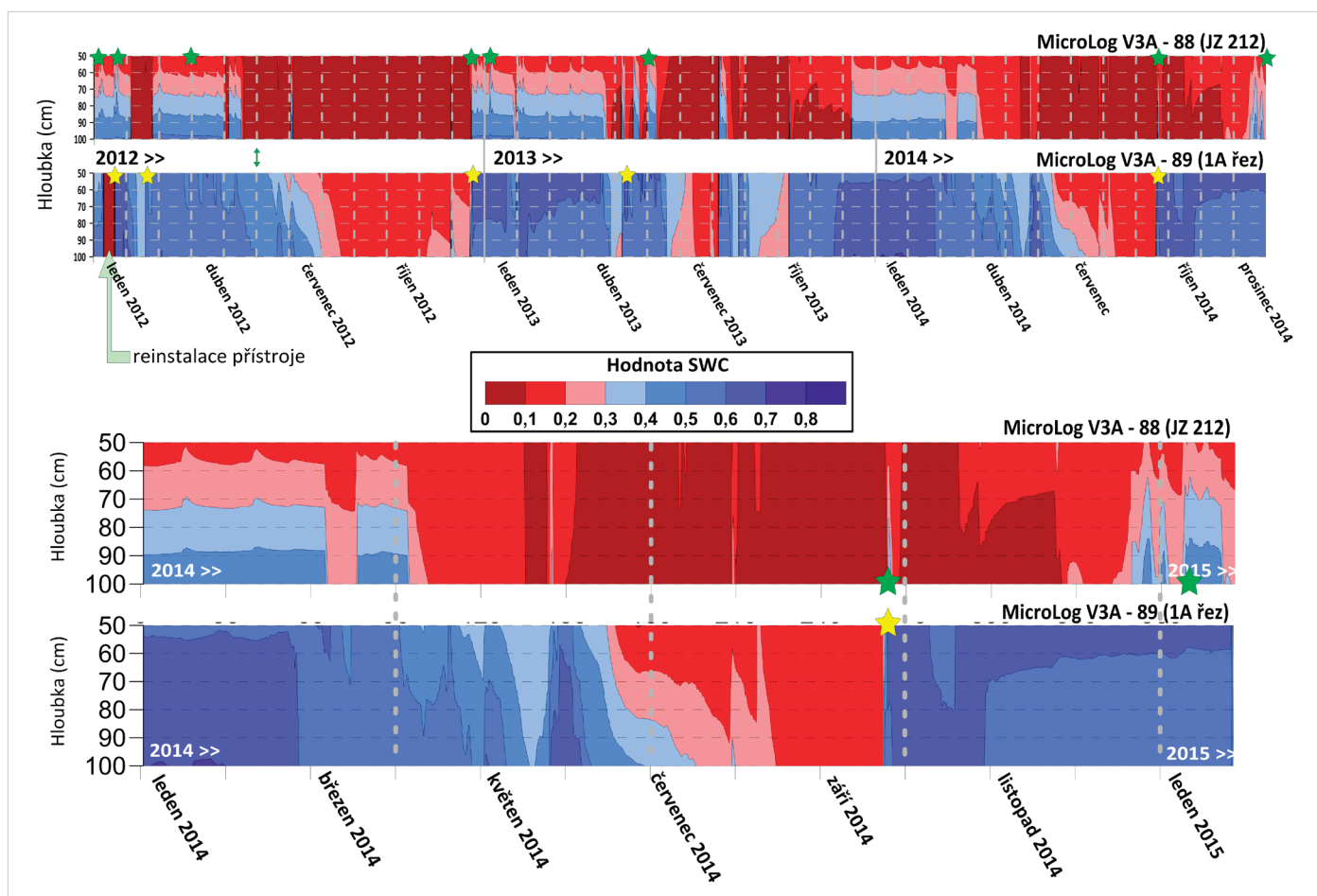
Avizované projevy tohoto typu sesuvu postihují jak okolí bodu 8218 (dříve 8178 a 8198), tak zejména svah Albrechtické výsypky a skupinu skrývkových svahů Černického piliře (obrázek č. 4). Oblast je detailně sledována od poloviny roku 2007, kdy se počáteční stadium porušení stability svahů projevilo trhlinou v tahovém pásmu rozvolňovaného horninového bloku.

Řídící soustavou ploch nespojitosti tohoto bloku se stala hluboká skluzná plocha.

Zdrojem sesuvných pohybů a plastického přetvoření zemin je v obou případech abnormálně rozsáhlý hloubkový dosah regulační zóny. Pevnostní parametry této zóny se mění z hodnot za vrcholových podmínek na hodnoty odpovídající reziduálním podmínkám v přímé závislosti na poklesu hlavního přetvoření.

V odlehčených závěrných svazích piliře Černice dochází dosud k vytlačování neúnosných zemin geostatickým tlakem převýšené výsypky. Vláčné rozrušování svahu sahá do značné hloubky pod povrch výsypky (205-195 m n. m.).

Mezi jednorázovým sesouváním a vytlačováním zemin, jsou-li porušeny podmínky rovnováhy, je podstatný rozdíl. Sesouvání bývá obvykle označováno jako pohyb hmot po zřetelně omezených smykových plochách a probíhá poměrně rychle. Naproti tomu vytlačování způsobené plastickým přetvářením zemin je proces trvající dlouhodobě. Proces sesouvání s cyklickou progresí nastává při zatížení mnohem menším, než je pevnost zeminy zjištěná obvyklými geomechanickými metodami. Spouštěcím mechanismem pohybů svahu je však reologický proces, kdy vytlačování měkkých jílovitých zemin je způsobeno rozdílným zatížením svahů – změnou napětí. Typickým projevem tohoto porušení stability celého svahu je



Obr. 7: Izoliniové pole znázorňující vlhkostní režim v půdních profilech č. 88 a 89. V horní části obrázku je zachycen dlouhodobý vývoj (2012–2014), detail v období leden 2014 až leden 2015 je ve spodní části obrázku. Zelená hvězda naznačuje akceleraci pohybů v prostoru kvartérních skrývkových svahů, která se projevila u více než dvou měřičských bodů (8198, 8218, 8083 a 8085). Žlutá hvězda naznačuje akceleraci pohybů v prostoru jílových skrývkových svahů, která se projevila u více než dvou měřičských bodů.

vytlačování zemin při jeho patě, bez zjevně vytvářené skluzné plochy na pracovních plošinách výše se nacházejících řezů. Deformační proces lze vysvětlit jako plastické vytlačování zeminy z oblasti zatížené (Albrechtické výsypky) do oblasti odlehčované (paty všech skrývkových řezů – 1, 2B, 3, 3A).

Velká přemístění uvnitř svahu vytvářejí v horní části trhliny (viditelně tahově namáhané části zemního bloku), které jsou obvykle prvotními známkami porušení stability svahu. Velká přemístění při vláčném rozrušení, na rozdíl od křehkého, jsou prokázána výzkumem smykové pevnosti, prováděným v 90. letech minulého století ve VÚHU a.s. na velkorozměrovém smykači. Charakteristické je dále to, že při vláčném chování se výrazně projevuje dlouhodobé dotvarování [19].

#### 4.4 Hodnocení vlivu klimatogenních faktorů

Sledování vývoje hladiny podzemní vody ve vrtech JZ 240 - JZ 243, které je součástí monitoringu, vykazuje setrvale kolísavý vývoj, který sleduje chod klimatických podmínek v průběhu roku (obrázek č. 5).

Již od přelomu let 2012/13 je na všech křivkách zřejmý vzestup hladiny, který byl spojen i s oživením pohybů na sledovaných bodech. Nejvýrazněji se vzestup projevuje ve vrtech JZ

240 a JZ 241, kde hladina kulminovala až v průběhu března 2013. Naopak u vrtů JZ 242 a JZ 243 je vzestup méně výrazný a kulminace nastala již během ledna, resp. února 2013. Chování HPV ve vrtech koresponduje s předpokládaným prouděním vody preferenčními cestami (obrázek č. 6). Popisovaný vzestup hladiny byl spojen s táním sněhové pokrývky. Vzestup hladiny v období 25. 12. 2012 - 8. 1. 2013 o 1,03 m ve vrtu JZ 240 a o 0,77 m ve vrtu JZ 241 se přitom shoduje s akcelerací pohybů u bodů 8218 a 8085.

Další kulminace hladiny nastala v důsledku jarních povodní 2013, kdy v Ústeckém kraji spadlo v květnu 121 mm (207 % dlouhodobého průměru) a v červnu 141 mm (198 % dlouhodobého průměru) srážek. Podle ČHMÚ byly srážkové úhrny rozloženy do tří srážkových období 29. 5. - 3. 6., 9. 6. - 10. 6. a 24. 6. - 25. 6. 2013, přičemž v oblasti Krušných hor bylo nejintenzivnější první a poté třetí srážkové období [11]. Povodňová situace spojená s opětovným nástupem hladiny podzemní vody se shoduje s oživením pohybů bodů 8218, 8085, 8083. Od června je potom možné sledovat ve vrtech postupný pokles hladiny, který za normálních okolností plynule probíhá přibližně od března do ledna. Pokles hladiny je v souladu se stagnací pohybů. Další skokový vzestup HPV spojený s pohyby sledovaných bodů se projevil v září 2014. Pohyb byl zachycen bodem 8218

a rovněž body 8085 a 8083, u nichž byla hodnota řádově nižší než u bodu 8218 (viz obrázek č. 4).

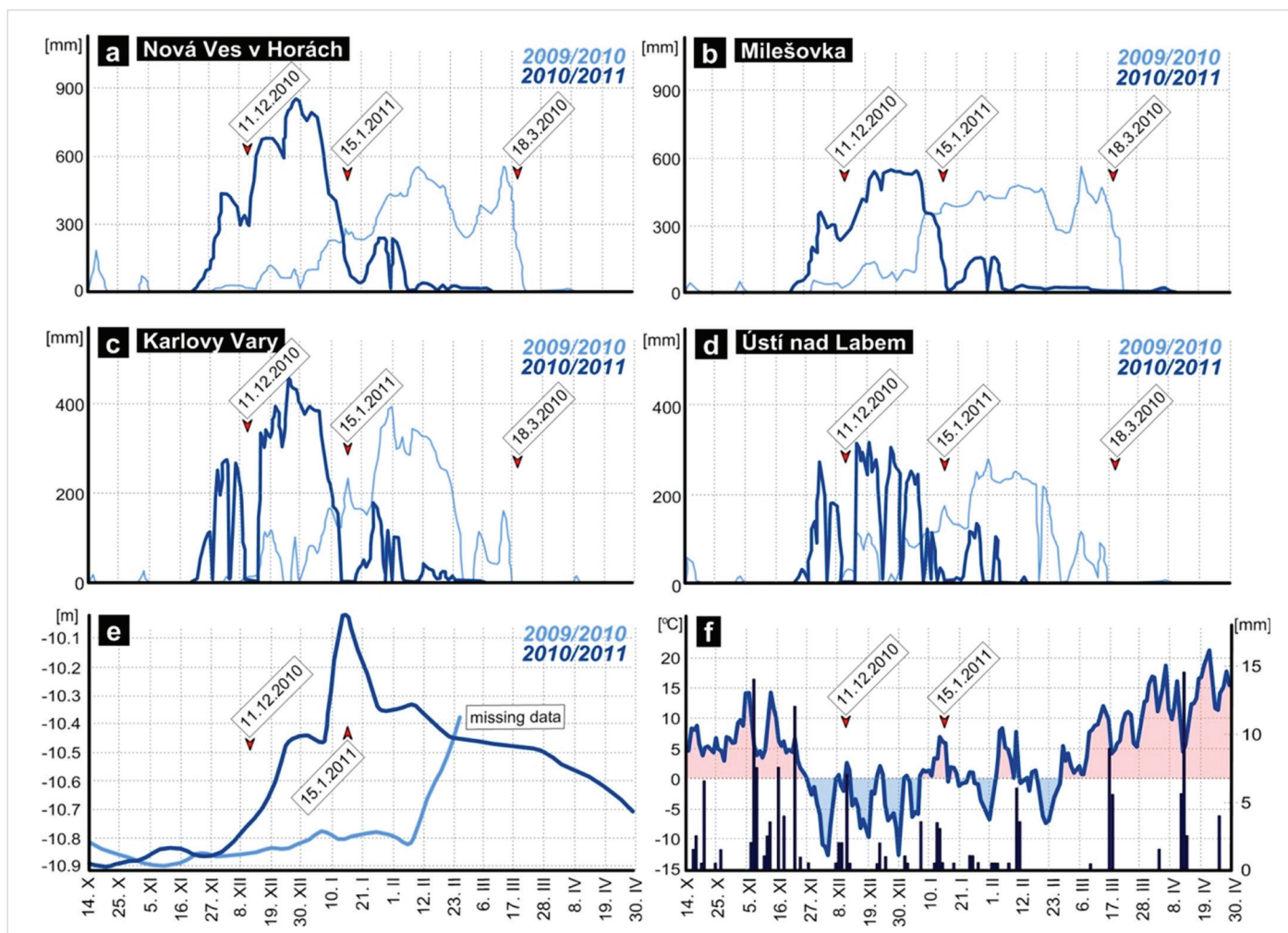
Z obrázku č. 5 je zřejmé, že v první polovině roku 2014 je vývoj trendů u vrtů JZ 240 a JZ 243 odlišný. Je zřejmé, že hlavní vrcholy křivek HPV měly v tomto období zcela protichůdný charakter.

Detailnější pohled na přímou závislost svahových pohybů a klimatogenních faktorů umožňuje analýza půdní vlhkosti a atmosférických srážek. Na obrázku č. 7 je znázorněn časový vývoj půdní vlhkosti ve dvou půdních profilech č. 88 a č. 89. Půdní profil 88 je situován poblíž vrtu JZ 212 a je tvořen kvartérními zahliněnými sutěmi (G4). Profil 89 je tvořen výhradně miocenními jíly s výrazně rezavým zbarvením a střípkovou odlučností typickou pro regulaci degradované jíly 1A řezu.

Z obrázku je zřejmé, že v obou půdních profilech funguje odlišný režim, který odráží odlišné prostředí/propustnost. U profilu 88 (kvartérní zahliněné sutě) dosahuje v průběhu větší části roku (duben - listopad) půdní vlhkost (SWC) hodnot do 20 %. Nárůst hodnot SWC je patrný v zimních měsících, přičemž změny vlhkosti mají často rychlý průběh, což svědčí o značné propustnosti zemin umožňující rychlé zasakování vod, ale rovněž jejich snadné odvodnění.

U profilu 89 (jíly, F8) je režim vlhkosti odlišný. Profil je dlouhodobě prosycen, v zimním období hodnota SWC běžně přesahuje hodnotu 60 %. To odpovídá i zjištěním z pravidelných terénních rekognoskací, při nichž bylo zjištěno, že v zimních měsících je v okolí dataloggeru terén rozmáčen s četnými kalužemi, které vysychají až koncem jarních měsíců. Tento fakt nasvědčuje tomu, že jíly, které jsou v řezu v kontaktu s kvartérními sedimenty, jsou těmito sedimenty často dotovány vodou (obrázek č. 6). Hustá síť puklin umožňuje vodě zasakovat do těchto jílu, ale gravitačně již voda dále neodtéká a vede ke zvodnění těchto jílu regulační zóny v prostoru 1A a 2B řezu. V ročním chodu vlhkosti se to projevuje vyššími hodnotami SWC (>30%), které v hloubce 1 m sledujeme až do poloviny července. K prosychání půdního profilu (pokles SWC pod 20 %) dochází pouze v letních měsících, hlouběji (>50 cm) dokonce až koncem srpna. Mez plasticity místních jílu přitom činí 20-35 % [18].

Vznik svahových deformací z období 20. 9. – 21. 9. 2014 lze opět úspěšně konfrontovat s prudkým nárůstem vlhkosti v celém profilu. V profilu 89 po tomto období již nedošlo k poklesu vlhkosti pod hodnotu SWC >50 %, zároveň po tomto období sledujeme trvalé deformace v prostoru 1A a 2B řezu, které se projeví pohybem bodů 8085 a 8083.



Obr. 8: Klimatogenní faktory – oteplení (f), které vedlo k tání nadprůměrné sněhové pokrývky v horských povodích (a-d) a následnému vzestupu HPV v zájmové oblasti (e), které 11. 12. 2010 ovlivnily akcelaraci bodu 8178 a dne 15. 1. 2011 vedly ke smykovému porušení svahu.

Jak vývoj HPV ve vrtech, tak vývoj půdní vlhkosti ve sledovaných profilech dokládají přímou souvislost akcelerace pohybů existujících svahových deformací a klimatogenních vlivů – zvodněním horninového prostředí. Obojí (HPV i SWC) však reflektují pouze zvýšenou dotaci vody do horninového prostředí, která může být v zájmové oblasti způsobena táním sněhové pokrývky nebo atmosférickými srážkami. Souvislost mezi táním sněhové pokrývky, následným vzestupem HPV a pohybem bodu 8178 je zřejmá z obrázku č. 8.

Dalším příkladem obdobné souslednosti je např. období 19. 9. – 20. 9. 2014, které bezprostředně předcházelo pohybům bodu 8218 (v menším rozsahu i 8083 a 8085) a kdy během obou dnů spadlo téměř 40 mm srážek (měřeno v meteostanici VÚHU a.s. Jezeří). Tyto atmosférické srážky vedly jak ke vzestupu HPV ve vrtu JZ 241, tak k dlouhodobému nárůstu hodnoty SWC v jílových zeminách.

Obdobné srážkové úhrny byly však změřeny již v předchozích měsících roku 2014 (i ve dřívějších letech), ale v režimu HPV se ani v dlouhodobých změnách půdní vlhkosti neprojeví a nebyly tak spojeny ani s oživením svahových pohybů. Dne 27. 7. 2014 napadlo 30,6 mm, ve dnech 23. 5. a 24. 5. 2014 napadlo 15,6 mm, resp. 14,0 mm, a dne 7. 9. 2014 bylo změřeno 22,2 mm.

Srážky z 23. 5. a 24. 5. 2014 se v pozorovacích vrtech výrazně neprojevily. V půdním profilu 88 se projeví krátkodobým nárůstem půdní vlhkosti v období 23. 5. a 27. 5. 2014, a to zejména v hloubce 50 cm, zatímco v hloubce 100 cm jen jednorázovým peakem dne 24. 5. 2014. V jílovém prostředí profilu 89 došlo k nárůstu vlhkosti zhruba se zpožděním 24 hod. oproti profilu 88. K opětovnému poklesu hodnot SWC došlo až 1. 6. 2014 (v hloubce 50 cm), resp. 4. 6. 2014 (v hloubce 100 cm). Výše zmíněné srážky z 27. 7. a 7. 9. 2014 se v chodu SWC a HPV projeví ještě méně.

Z hlediska vlivu atmosférických srážek na stabilitu svahů je tedy třeba zohledňovat dlouhodobější období a kumulativní vývoj srážek. Např. v již zmiňovaném roce 2014 bylo na stanici Jezeří naměřeno 577,4 mm srážek, z toho 53 % (304 mm) spadlo v letním období 24. 6. – 22. 9. 2014.

Z hlediska vývoje, resp. oživení svahových pohybů, je v posuzované oblasti důležité hodnotit i nasycenost povodí, resp. zemin. Pro nepřímé posouzení nasycenosti povodí a jeho schopnosti absorbovat další srážky se v hydrologii (při použití srážkoodtokových modelů) používá tzv. ukazatel předchozích srážek (angl. zkratka API).

$$API_n = \sum C^i \times P_i \text{ [mm]}$$

- n..... znamená celkový počet dní před výskytem příčinné srážky, obvykle se volí  $n = 30$ ,
- i..... je pořadí dne počítané nazpět ode dne, ke kterému je API určován,
- C..... je evapotranspirační konstanta, pro naše podmínky obvykle  $C = 0,93$ ,
- P..... je denní úhrn srážky v milimetrech v i-tém dni před výskytem příčinné srážky.

Vypočteme-li hodnoty 30denního API (API30) pro dny 24. 5., 27. 7. a 20. 9. 2014 (akcelerace pohybů u bodů 8083, 8085 a 8218), zjistíme, že příčinná srážka API30 z 20. 9. činí 59 mm a je tak o 20 % vyšší než API30 z 27. 7. 2014 (48 mm) a o 30 % vyšší než API30 z 24. 5. 2014 (42,4 mm). Je tedy zřejmé, že v průběhu září 2014 byla oblast více nasycena než v předchozích měsících.

## 5 Závěr

Prosazením a zprovozněním automatického monitoringu bočních svahů lomu ČSA v roce 2004 se položily základy ke kontinuálnímu získávání informací o chování zejména nadložních sedimentů. Díky výsledkům měření je možné operativně přijímat preventivní opatření ke zvyšování stabilitních poměrů v celém sledovaném území. Více jak deset let bezchybného provozu tohoto systému potvrdilo správnost celé koncepce automatického monitoringu a zároveň pomohlo předejít řadě možných svahových deformací a eliminovat případné škody, jež jsou s nimi spojené.

## Poděkování

Článek vznikl v rámci projektu SLOPES – Smarter Lignite Open Pit Engineering Solutions (Proposal N.: RFC-PR-14008; Grant Agreement N.: RFCR-CT-2015-00001), který je řešen s podporou Výzkumného fondu pro uhlí a ocel (RFCS).

## Literatura

- [1] BÁRTA, Z., BRUS, Z., HURNÍK, S., TOBĚRNÁ, V., TYRNER, P.: Příroda Mostecká. Severočeské nakladatelství, Ústí n. Labem, 208 s., 1973.
- [2] BLÁHA, J., BLÍN, J., STANISLAV, P.: Nový systém sledování bočních svahů lomu ČSA. Zpravodaj Hnědého uhlí, 1/2006, s. 20-27, ISSN 1213-1660.
- [3] 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.
- [4] HURNÍK, S.: Krušnohorský zlom a jeho interpretace. Čas. Mineral. Geol. 28, č. 4, Praha, s. 445, 1982.
- [5] KALVODA, J., VILÍMEK, V.: Geomorfologická interpretace měření pohybů zemského povrchu na zvláštním nivelačním pořadu Mikulovice – Jezeří v Krušných horách. Výzkum. zpr. Úgg čsav, Praha, 174 str., 1989.
- [6] 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. 6<sup>th</sup> Int. IAEG Cong., č. 3, Amsterdam, s. 1631-1637, 1990.
- [7] KALVODA, J., VILÍMEK, V., ZEMAN, A.: Earth's surface movements in the hazardous area of Jezeří castle – Krušné hory mountains. Geojournal, 32, č. 3, Praha, s. 247-252, 1994.
- [8] KOPECKÝ, L., KVĚT, R., MAREK, J.: K otázce existence krušnohorského zlomu. Ústí. Úst. Geol., 6, Brno, s. 164-168, 1985.

- [9] KOŠŤÁK, B., MRLINA, J., STEMBERK, J., CHÁN, B.: Tectonic movements monitored in the Bohemian Massif. *Journal of Geodynamics*, 52, s. 34-77, 2011.
- [10] KRÁL, V.: Geomorfologie vrcholové části krušných hor a problém paroviny. *Rozpravy Československé akademie věd*, 78, č. 9, Praha, s. 42-49, 1968.
- [11] KUBÁT, J., DAŇHELKA, J.: Vyhodnocení povodní v červnu 2013. *Předběžná zpráva*, ČHMÚ, Praha, 79 s., 2013.
- [12] MALKOVSKÝ, M.: Důležité zlomy platformního pokryvu severní části Českého masivu. *Ústř. Úst. Geol.*, č. 14, Praha, s. 7-12, 1977.
- [13] MALKOVSKÝ, M. ed.: *Geologie Severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí*. Academia, Praha, 424 s., 1985.
- [14] 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.
- [15] MAREK, J.: Problematika Jezeří v Krušných horách po provedeném inženýrsko-geologickém průzkumu. *Památ. a Přít.* 8, č. 4, Praha, s. 228-237, 1983.
- [16] MAREK, J.: Inženýrsko-geologický průzkum stability zámku Jezeří v předpolí uhelného velkolomu. *Geolog. Průzk.*, 25, s. 234-236, 1983.
- [17] MAREK, J.: Vývoj krušnohorských svahů a svahové pohyby. *Sbor. Prací Geograf. Úst. Čs. akad. Věd*, 1, Brno, s. 175-180, 1983.
- [18] PICHLER, E.: Pevnostní a přetvárné charakteristiky nezpevněných a zpevněných jílovitých hornin. *Stabilita svahů na povrchových hnědouhelných dolech. Souhrn přednášek*, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, Most, s. 101-123, 1989.
- [19] PICHLER, E.: Průběžné sledování a vyhodnocování monitoringu bočních svahů lomu ČSA - 3. etapa (za rok 2007) a technický dozor lomu ČSA. *Závěrečná zpráva*, VÚHU a.s., Most, 44 s., 2008.
- [20] PLETICHOVÁ, M.: Hydrogeologická problematika v prostoru ochranného pilíře SKPJ. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, č. 3, s. 12-16, 2006.
- [21] 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.
- [22] STANISLAV, P., BLÍN J.: The technical requirements for operation of the Leica TCR 2003A automated total station in working conditions of the Mostecká uhelná company. *Acta Montanistica Slovaca*, 12 (3)3, 2007.
- [23] ŠKVOR, V.: *Geologie české části Krušných hor a Smrčin*. Academia, Praha, 119 s., 1975.
- [24] VALEŠ, J.: Řešení stabilitních problémů na jižním úpatí Krušných hor. In: Valašek, V. (ed.): *45 let Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě*, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, s. 95-100, 1998.
- [25] VÁNĚ, M.: Debris and landslides at the foot of the Krušné hory Mts., *Čas. Min. Geol.*, 5, č. 2, s. 174-177, 1960.
- [26] VILÍMEK, V.: Morfostrukturní vývoj reliéfu kateřinohorské klenby v Krušných horách. *Disertační práce*, Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 235 s., 1992.
- [27] VILÍMEK, V.: Přehled geomorfologických výzkumů střední části Krušných hor. *Geografie*, 99, č. 1, s. 29-38, 1994.
- [28] 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.
- [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] ZMÍTOKO, J.: Fosilní sesuvy při podkrušnohorském výchozu pánve. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, 6, Most, s. 12-24, 1983.