

VYSOKÉ KOTVENÍ V CHODBÁCH PRO DVOJÍ POUŽITÍ A JEJICH MONITORING

Abstrakt

Vysoké kotvení je podpěrný systém výztuže provozních dlouhých důlních děl nebo i velkoprostorových a atypických důlních děl, kdy jsou prvky TH výztuže zakotveny do pevných vrstev ve vyšším nadloží nad vyztužovaným dílem. Účelem je zesílit stabilitu podpěrné výztuže důlního díla tak, aby vyhovovala přídatným zatížením vznikajícím při vedení stěnových porubů, popř. jiným očekávaným přitížením a důlní dílo zůstalo stabilní po požadovanou dobu jeho životnosti. Jedním z experimentů in situ, který v současné době probíhá, je ověření funkčnosti vysokého kotvení na chodbě 063 5348 Dolu Paskov, jehož dílčí výsledky jsou publikovány v tomto příspěvku.

Klíčová slova

vysoké kotvení, dvojí využití chodeb, monitorování zatížení pramencových kotev

Abstract

High anchoring is the support system which supports long mine workings or large-scale mining and atypical works, when the steel arch support elements are embedded in solid layers in the overburden above the supported work. The purpose is to enhance the stability of the supporting reinforcement mine to suit the load resulting from the additives lead wall faces or another expected additional loadings and mine remained stable for the required period of his life. Whether high anchoring is functional, it is a subject of monitoring of gallery No. 063 5348 located in Paskov Mine, whose partial results are published in this paper.

Keywords

high anchoring, dual use corridors, cable bolt loading monitoring

Úvod

Exploatace černého uhlí ve stále větších hloubkách znamená posun jak do geologicky, tak do geomechanicky náročných podmínek plynoucích z hloubky uložení, což přináší zvýšené nároky na projektování, provedení a únosnost výztuží ražených důlních děl. Dalším faktorem, který vede k potřebě zvyšování únosnosti výztuže, je skutečnost, že porubní třídy jsou často využívány dvakrát. Má-li důlní dílo dlouhodobě plnit svůj účel, uplatňuje se pro omezení nepříznivých napěťových a deformačních vlivů zpevnování horninového masivu pomocí tyčových svorníků a lanových kotev, popř. zesilování únosnosti výztuže prostřednictvím pramencových kotev v kombinaci s TH výztuží.

Podstatou technologie vysokého kotvení je použití materiálů s potřebnými pevnostními charakteristikami, schopnými přenášet vysoká zatížení v těle kotev jak ve směru axiálním, tak radiálním za současného vytvoření dostatečně tuhé a únosné vazby mezi kotvou, tmelem a horninou. Vysoké kotvení plní správnou funkci jen ve kvalitně vyraženém důlním díle, s řádně zajištěnými nadvýlomy za obloukovou TH výztuží. Vysoké kotvení sestává z TH roviny se zesíleným otvorem, z pramencových kotev a tmele, s jehož pomocí je kotva upnuta v horninovém masivu.

Na zájmové porubní třídě č. 063 5348 bylo realizováno zhotovení tří měřících stanic ve staničení 690 m, 630 m a 550 m, ve kterých byly nainstalovány 2 ks dynamometrů pro monitorování zatížení pramencových kotev. Dynamometry byly instalovány ve střední části stropního oblouku TH výztuže. Tato chodba je určena pro dvojí použití, takže účinnost a chování pramencových kotev bude monitorováno i po průchodu porubní fronty měřícími stanicemi.

V místech instalace dynamometrů byla provedena instalace konvergenčních bodů na TH výztuži a extenzometrů pro monitorování rozsazování vrstev v nadloží. Pro sledování stavu nadloží byly rovněž navrtány jádrové vrty. Na jádrech je analyzován parametr RQD (Rock Quality Designation), který bude rovněž hodnocen i v dalších vrtech navrtaných po průchodu porubní fronty před dobýváním dalšího porubního bloku. V současné době probíhají referenční měření, dokončení se předpokládá ve 3. čtvrtletí roku 2012 .

Výklad pojmů

Vysoké kotvení - je podpěrný systém výztuže dlouhých a velkoprostorových nebo atypických důlních děl, spočívající v zakotvení prvků výztuže do pevných poloh (vrstev) ve vyšším nadloží nad vyztužovaným důlním dílem. Vysoké kotvení sestává zpravidla z podvlaku podepírajícího stropní oblouky nebo roviny podpěrné výztuže chodeb, zakotveného pomocí kotev do pevné vrstvy ve vyšším nadloží. Vysokým kotvením se přenáší do horninového masivu síly působící na výztužné konstrukce různého typu, které slouží pro zajištění stability důlních děl. Velikost i směr kotevních sil se volí s ohledem na konkrétní geologické a geomechanické poměry.

Horninová kotva - je nosný prvek vysokého kotvení, který slouží k přenosu tahových sil do horninového masivu, ve kterém je upnuta pomocí tmele. Sestává z kotevní hlavy, táhla kotvy a kořene kotvy. Kořen kotvy je pomocí tmele vlepen do stabilního neporušeného horninového masivu. Podle konstrukce táhla rozlišujeme kotvy lanové (táhlo tvoří vhodné lano) nebo pramencové (táhlo se skládá z většího počtu pramenců (max. 12) z drátů o průměru 5 až 7 mm). Ve stavebnictví, ale i v hornictví se používají též kotvy tyčové (táhlo tvoří ocelová tyč vhodného průměru a délky), které primárně slouží ke zpevnění horninového masivu. Výhodou lanových a pramencových kotev je manipulační flexibilita, umožňující instalovat kotvy různé délky (i přes 10 m) ve stísněných prostorových poměrech důlních děl.

Použití vysokého kotvení

přichází v úvahu tam, kde potřebujeme z jakýchkoliv důvodů zesílit klasickou podpěrnou, tedy zpravidla ocelovou obloukovou výztuž případně i výztuž svorníkovou. Jsou k tomu ovšem potřebné vhodné geologické poměry, které umožní upevnit kotvy do stropních vrstev masivu tak, aby došlo k efektivnímu přenosu příslušného podílu sil působících na výztuž do pevných hornin ve vyšším nadloží. Zatížení výztuže důlních děl se tak teoreticky sníží právě o síly přenesené do horninového masivu [1].

Přetížení, kvůli kterému potřebujeme zesílit podpěrnou výztuž, a které hodláme tam, kde to geologické a geomechanické poměry dovolují kompenzovat pomocí vysokého kotvení, může mít obecně různé příčiny. Typickými případy jsou například přetížení, vyvolaná předporubními tlaky, přetížení v oblasti styku porub-chodba, v oblasti křížů a odboček a přetížení pod ponechanými pilíři apod. Dalším typickým příkladem je potřeba zajištění potřebné únosnosti ocelové obloukové výztuže při odebírání bočních oblouků v již zmíněném prostoru styku porubu a porubní chodby. Konečně

Ize vysoké kotvení použít i jako variantní zesílení výztuže chodeb určených ke dvojímu použití tam, kde specifické přírodní poměry umožňují nahradit obvyklou kombinovanou svorníkovou a podpěrnou výztuže určenou pro tyto případy podpěrnou výztuží s vysokým kotvením.

Princip plánování a projektování chodeb pro dvojí použití

Použití systému dvojího využití porubních chodeb představuje výraznou změnu v dosavadním obvyklém způsobu řešení přípravných a dobývacích prací nejenom v rozsahu jedné sloje, ale zpravidla i celé kry. Z toho vyplývá potřeba řešit výběr chodeb pro dvojí využití již v době zpracování plánu otvírky, přípravy a dobývání sloje či kry. Dodržení časových vazeb příprav a dobývání má při metodě dvojího využití porubních chodeb zcela mimořádnou důležitost.

Pro ražbu chodby určené pro dvojí použití musí být zpracován technologický projekt podle těchto hlavních zásad [2]:

- Při výběru chodeb vhodných pro dvojí použití musí být zohledněny geologické a hornické podmínky, v nichž bude chodba ražena. Součástí hodnocení musí být rovněž vyhodnocení klimatických podmínek v dané oblasti a podrobné vyhodnocení míry nebezpečí vzniku samovznícení předmětné sloje.
- Chodby, u nichž se předpokládá dvojí využití, musí být zásadně už v době ražení vyztužovány kombinovanou výztuží.
- Projekty kombinované výztuže (svorníkové a podpěrné ocelové obloukové výztuže) smí zpracovávat pouze odborně kvalifikovaná osoba – báňský projektant.

Při projektování chodby pro dvojí použití je třeba počítat s tím, že po přechodu porubní fronty prvního porubu je nutno přistoupit neprodleně ke stavbě ochranného žebra podél chodby. Po vyuhlení sloje se žebro stává základním ochranným prvkem zajišťujícím stabilitu, tvar a profil důlního díla. Ochranné žebro nejlépe plní svou funkci tehdy, je-li postaveno co nejbližší k boku díla a vytváří pevný a stabilní celek.

Ochranné žebro má obvykle šířku, při použití hrání z tvrdého dřeva nebo plavení rychle tuhoucích hmot, rovnou sedmi desetinám dobývané mocnosti sloje. Je-li dobývaná mocnost sloje menší než 1,5 m, volí se minimální šířka žebra 1 m. Počet tahů TH rovin a hustota budování stojek v prostoru stavby žebra se stanoví v technologickém postupu pro vedení prvního porubu.

Zásady pro výběr porubů a porubních chodeb určených pro dvojí použití

Výběr chodeb pro dvojí použití vychází z rozvržení porubních bloků v dané sloji a/nebo její části (kře, poli a pod.). Chodby určené pro dvojí použití jsou ty, kterými jsou odděleny sousední porubní bloky. U dříve dobývaného bloku má chodba funkci chodby těžní a u následně dobývaného bloku má tatáž chodba funkci chodby výdušné. V případě více po sobě dobývaných sousedících porubních bloků mohou chodby určené pro dvojí použití vytvořit ve sloji/části sloje celý systém. Je nutné, aby dobývání sousedních bloků, mezi nimiž se nachází chodba určená pro dvojí použití, probíhalo co možná bezprostředně za sebou. Velká časová prodleva mezi dobýváním sousedních bloků eliminuje příznivý efekt technologie dobývání s dvojitým použitím chodeb, protože příslušná chodba určená pro dvojí využití je vystavena zbytečně dlouho účinkům horských tlaků.

Dvojí využití chodeb je možno realizovat jen ve vhodných geologických podmínkách, které jsou dány mocností a úklonem dobývané sloje, kvalitou nadložních i podložních hornin a geomechanickými vlastnostmi masivu.

Za vhodné podmínky se považuje [2]:

- mocnost sloje do 2,5 m, ve velmi příznivých geologických a geomechanických poměrech do 3 m,
- úklon sloje co nejmenší, tedy ploché uložení sloje (do 22°). Větší úklon znamená horší podmínky pro uplatňování této technologie,
- nadloží sloje pokud možno pevné, nenáchylné k vícevýlomům, vhodné pro aplikaci svorníkové výztuže v předmětné chodbě,
- podloží sloje tvořené pevnými horninami tak, aby nedocházelo k bubření počvy v předmětné chodbě,
- tektonická porušenost zájmové části horského masivu malá, aby bylo možno dostupnými prostředky zajistit stabilitu příslušných chodeb potřebných dostatečně velkých průřezů (až kolem 30 m²),
- napěťová pole taková, aby chodby určené pro dvojí použití nebyly v období potřebné životnosti namáhány extrémně vysokými primárními a zejména indukovanými napětími od důlních děl situovaných v nadloží, vlastní sloji i v podloží (zbytkové pilíře všeho druhu, hrany nevýrubů a j.),
- hydrogeologické poměry – bez nebo jen s malým zvodněním horského masivu v nadloží sloje,

nebezpečí vzniku anomálních jevů v každém případě komplikuje, avšak nevylučuje dvojí použití chodeb. Vzhledem k omezení této technologie na ploše uložené sloje je nutno uvážit zejména riziko důlních otřesů a riziko průtrží.

Základní charakteristika pramencových kotev

Nejčastěji běžně používané pramencové kotvy řady IR-4 jsou vyráběny z vysokojakostních pružinových ocelových drátů (dle EN 10270). Upínací pouzdro ze zušlechtěné oceli zajišťuje přenos vysokých statických tahových zatížení. Kotvy jsou dodávány ve standardních délkách 3, 4, 5 a 6 m, s možností dodávek až do délky 15 m.

Kotvy aplikované do horninového masivu upravují chování hornin a jejich vrstev na základě principů zpevnění. Instalace pramencových kotev lepených ve vývrtnu umožňuje lepší zpevnění horninových struktur a zamezuje jejich možnému rozvrstvení, čímž je zásadním způsobem ovlivňována stabilita bezprostředního nadloží a podloží podzemních a důlních děl (eliminace míry konvergence) [3].

Rozsah zpevnění horninových vrstev může vzhledem k délce použitých kotev překročit i několikanásobně výšku podzemního nebo důlního díla, chodby, prorážky, porubu apod.

Nejčastější použití v praxi:

- vyztužování důlních chodeb a prorážek porubů;
- vyztužování velkorozměrových podzemních nebo důlních děl - křížů, vidlic, odboček, komor atd.,
- vyztužování podzemních a důlních děl s dlouhou dobou životnosti,
- vyztužování dlouhých důlních děl ke dvojímu použití pro dobývání sousedních porubů,
- zesílené zajišťování chodeb nebo důlních děl se zvýšeným napětím, např. chodby na styku porub - chodba, před postupujícím porubem.

Pramencová kotva typu IR-4

Hlavní přednosti pramencových kotev IR-4:

- Ohebnost - pro transport lze kotvy svinout do průměru cca 1,5 m. Současně je kotva dostatečně tuhá, takže je možná jejich instalace s použitím pneumatických vrtacích a svorníkových zařízení Gopher, Cable Bolter a Super Turbo Bolter.
- Kompaktnost struktury povrchu a průřezu - mají stejný průměr na celé své délce.
- Potřebný průměr vrtání odpovídá zavedeným standardům v hornictví, tj. 27 — 32 mm (pozn. na základě tahových charakteristik kotev je vhodné volit menší průměry vývrtů, viz. [4]).
- Způsob upínání kotev respektuje technologická pravidla pro kotevní tmely.
- Možnost vnesení předpětí - instalovaná pramencová kotva (lepená pryskyřicí) umožňuje téměř okamžité zapojení do spolupůsobení s nadloží pouze pod podmínkou zavedení úvodního předpětí (předpětí se provádí mechanicky zašroubováním matice s použitím zařízení pro kotvení a dále ručně dynamometrickým klíčem).
- Vysoká únosnost kotev při poměrně malých průměrech prvků - např. průměr kotvy 20 mm z pružinového drátu B 6,0 dle DIN 17223 umožňuje získání únosnosti na úrovni min. 300 kN [5].
- Pramencové kotvy typu IR-4E/W mají zesílenou konstrukci a jsou vhodné k použití i v dolech s ohrožením důlními otřesy. Odolávají otřesům (dynamickému zatížení) o energii 25 kJ a více [5].

Technické parametry

Typ	Únosnost na mezi pevnosti [kN]	Průměr upínacího pouzdra [mm]	Počet strun / průměr drátu [ks/mm]	Průměr pramence D [mm]	Délka kotvy [mm]
IR-4E/W	420	M 42x2	8/7	27,0	3000- 15000

Instalační vývrt je zapotřebí provést pomocí vrtné korunky 27 až 32 mm (v závislosti na délce kotvy) za použití vodního výplachu. Musí být zajištěno, aby po ukončení vrtání neulpěl na stěnách vrtů prach nebo vrtná drť. Délka vrtu je závislá na délce konkrétní kotvy. Správná délka vrtu je taková, která umožňuje zasunutí kotvy až na dno při ponechání přesahu 75-150 mm přes ústí vývrtu (v závislosti na technologickém účelu použití). Pramencové kotvy jsou ve vývrtu lepeny v minimální délce 500 mm.

Monitoring chodby 063 5348

Porubní třída 063 5348 se nachází ve sloji 063 (17b) na Dole Paskov, který je dolem bez nebezpečí důlních otřesů Tato sloj je zařazena do 2. třídy PUP (průtrže uhlí a plynů). Úklon sloje je variabilní od 18 do 25 stupňů. V podloží sloje se nachází převážně prachovec a v nadloží v úseku 830 690 m prachovec jemně písčité s řídkou pískovcovou laminací, 690–490 m přechod do pískovců, 490–390 m prachovec s pískovcovou laminací a v úseku 390–330 m prachovec.

Dobývání porubu 063 607 (obr. 1) bylo zahájeno koncem ledna 2012 při výchozím staničení 825 m na chodbě 063 5348. Průměrná dobývaná mocnost porubu je 214 cm, délka porubní fronty činí 169 m a směrná délka porubu je cca 480 m. Průměrný denní postup porubní fronty se pohybuje okolo 3 metrů.

Při dobývání je použita dobývací metoda směrného stěnování z pole na řízený zával. V porubu je nasazen dobývací komplex sestávající ze sekcí mechanizované výztuže, porubového dopravníku a pluhu.

Dobývací technologie v porubu 063 607:

Mechanizovaná výztuž: Bucyrus 650/2005 Bucyrus 1070/2400

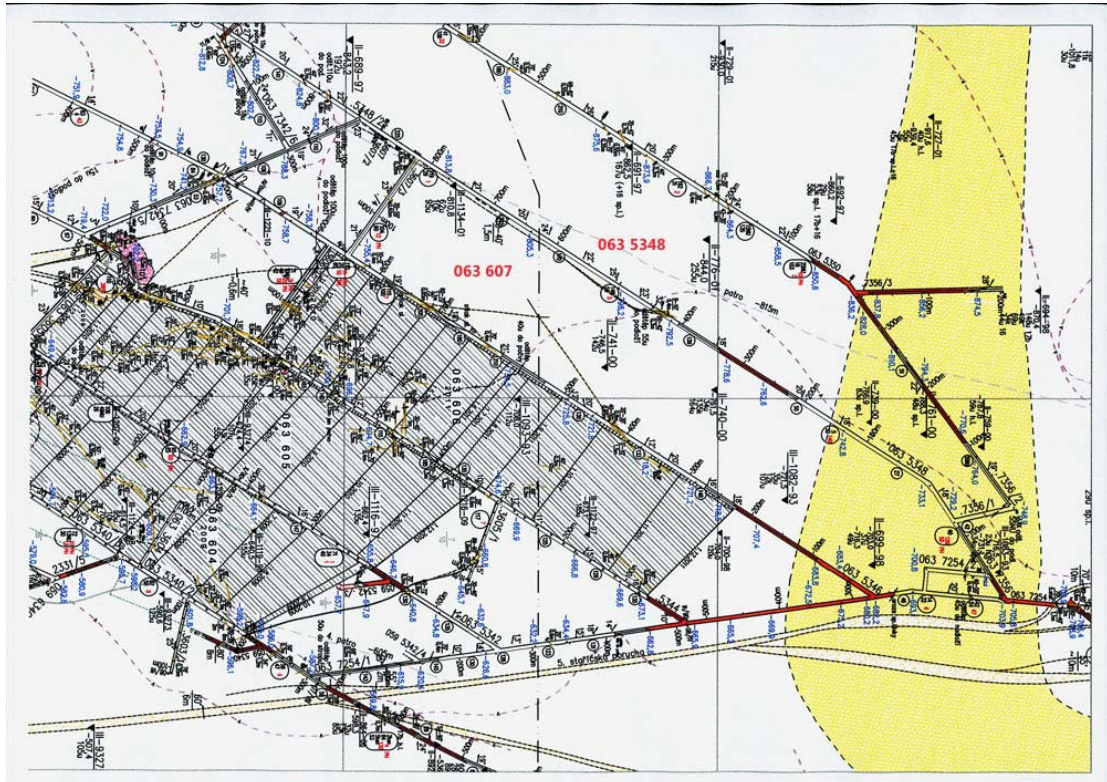
Dobývací zařízení: pluhová souprava GH 9-38 ve/5.7

Hřeblový dopravník: DBT-P-F4/932

Podporubový dopravník DH 830 S

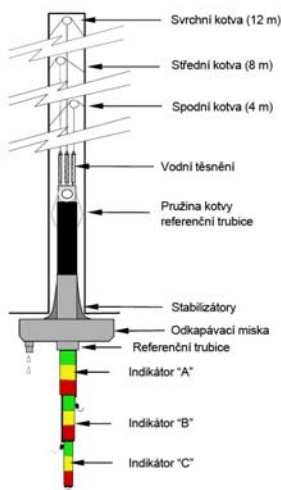
Signalizace: Becker, Bucyrus

Ovládání MV: PMC-R/V/D



Obr. 1: Situace porubu 063 607 a chodby 063 5348

Mechanické extenzometry



Obr.2: Extenzometr TTW07S

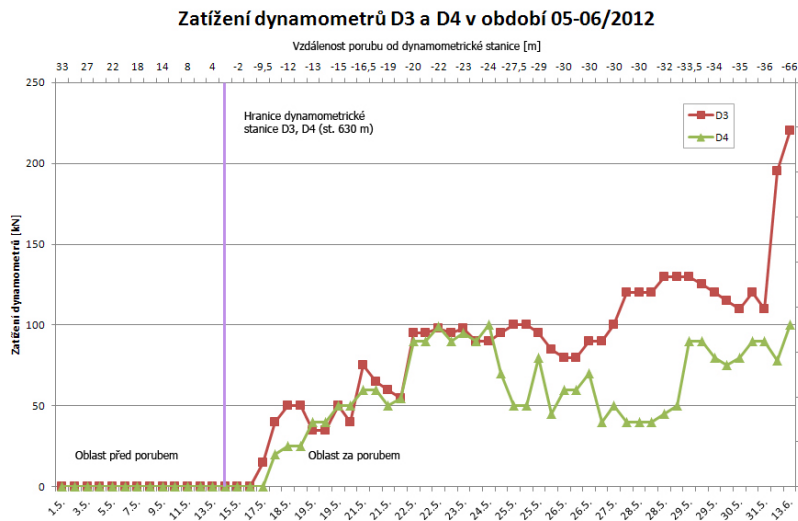
Instalace 10 ks kontrolních extenzometrů typu TTW07S (obr. 2) délky 12 m byla provedena ve vývrtech délky 12,5 m o průměru 35 mm na třídě č. 063 5348 s roztečí cca 50 m ve staničení 837 m, 784 m, 737 m, 687 m, 637 m, 583 m, 537 m, 487 m, 433 m a 383 m (označení E1 až E10).

Extenzometr typu TTW07S je tříúrovňový s úrovní kotvení 4, 8 a 12 m od ústí vývrtu. Výška kotvy „A“ činí 4000 mm, výška kotvy „B“ je 8000 mm a výška kotvy „C“ činí 12000 mm nad stropem důlního díla.

Sledování extenzometrů, spočívající v kontrole barvy škály stupnice, resp. její části nacházející se pod stropem vně referenční stupnice extenzometru a

Odečítání hodnot dynamometrů je prováděno s četností 1x za týden. S ohledem na nárůst hodnot až těsně před blížícím se porubem, bylo přistoupeno k odečítání hodnot v každé směně, tj. v optimálním případě 4x denně.

V průběhu dobývání porubu byl nárůst hodnot pozorován pouze v bezprostředním předpolí porubu (nacházejícím se ve vlivu přídatného napětí od hrany porubní fronty porubu). Avšak v oblasti za porubem již dochází vlivem tlakových účinků nadloží ke změně hodnot na instalovaných dynamometrech, které se vzdalujícím se porubem mají vzrůstající charakter. Maximální hodnota přitížení činí 220 kN (tj. 22 tun, červen 2012), minimální hodnota je 0 kN. Nárůst hodnot dynamometrů D3 a D4 v závislosti na postupu porubu v průběhu měsíce května a června 2012 znázorňuje obr. 4.



Obr. 4: Vývoj zatížení dynamometrů D3, D4 v období 05/2012 – 06/2012

Svislá a vodorovná konvergence

V místech instalovaných dynamometrů byly zřízeny body pro měření svislé a vodorovné konvergence důlního díla. Rozmístění měřicích bodů pro svislou a vodorovnou konvergenci na chodbě 063 5348 bylo provedeno v místech instalace hydraulických dynamometrů, tj. ve staničení 550 m, 630 m, 690 m.

Měření svislé a vodorovné konvergence je prováděno s četností 1x za týden.

Z hlediska stability chodby 063 5348 je vývoj měřených hodnot svislé a vodorovné konvergence před porubem jiného charakteru než v místech, kde konvergenční měření neprobíhá, ale deformace profilu důlního díla je velmi výrazná. Zatímco konvergence a prokluzu ocelových oblouků výztuže na spojovacích třmenech sledované třídy před porubní frontou vykazují dlouhodobě skoro totožné výsledky (zmenšení výšky a šířky: 150 mm, 80 mm, prokluzu 15 mm), maximální hodnoty konvergence na neměřených místech (oblast extenzometrů 1 – 3, kde bylo zaznamenáno maximální rozvolnění - viz kap 4.2) několikanásobně převyšují hodnoty z konvergenčních profilů. V úseku za porubem (st. 720 – 825 m) bylo zaznamenáno zmenšení šířky a výšky profilu důlního díla o 100, resp. až 200 cm (st. 825 m, výška 2,8 m, šířka 3,4 m – původní profil výška 3,8 m, šířka 5,36 m). Před i za porubem rovněž probíhá kontinuální přibírka počvy.

Závěr

Článek v omezené míře hodnotí dílčí výsledky monitoringu a konvergence na chodbě 063 5348 Dolu Paskov, neboť měření v současné době i nadále probíhá. Dosavadní výsledky ukazují, že problematikou chodeb pro dvojí využití v kombinaci s vysokým

kotvením je nutné se zabývat, neboť se potvrzuje, že vysoké kotvení plní svou funkci pouze ve kvalitně vyraženém díle bez nadvýlomů. Z grafu na obr. 4 je patrné, že k nárůstu zatížení monitorovaných kotev dochází v době, kdy se monitorované kotvy dostanou za hranu porubní fronty. Z pozorování důlního díla je patrné, že před postupujícím porubem dochází ke zvedání počvy spolu s TH výztuží, a tím i k uvolňování instalovaných pramencových kotev. Z prozatímních výsledků v prvním přiblížení můžeme konstatovat, že pozitivní vliv na funkci vysokého kotvení a kombinovaných výztužných systémů by mohly mít vysoce předepnuté pramencové kotvy (minimálně na hodnotu 150 kN), které jsou součástí jiného experimentu na Dole Paskov ve sloji 080, na chodbě 080 5253.

Nejvýraznější rozvolnění nadloží a nejvyšší konvergence profilu chodby 063 5348 byly zaznamenány v oblasti extenzometrů E1, E2 a E3, které jsou způsobeny jednak vlivem horizontálních tlaků za postupujícím porubem, které se od st. 720 projevují ve výrazné deformaci důlního díla, tak i nepříznivými geologickými podmínkami v oblasti (výskyt tektonik). Vliv geologických podmínek bude dále předmětem dalšího zkoumání na základě vývoje sledovaných parametrů. Objektivní zhodnocení může být provedeno až na základě srovnání RQD parametru z vrtů navrtaných před postupujícím porubem a vrtů zhotovených ve stejných staničení po průchodu porubní fronty.

Výsledky monitoringu prezentované v příspěvku ukazují, že se tlakové poměry na chodbě 063 5348 projevují jednak v deformaci důlního díla za porubem, tak i nárůstem hodnot na instalovaných extenzometrech a dynamometrech, avšak pouze v bezprostřední blízkosti porubu. Musíme konstatovat, že úskalí prováděného monitoringu spočívá v tom, že ne vždy je možné skloubit stránku provozní se stránkou observatorní, a tak dochází k poškození extenzometrů (uvolnění extenzometrů, utržení indikátorů), přebudování TH výztuže s vyznačenými konvergenčními značkami aj.

Poděkování

Článek byl zpracován v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin, reg. č. ED2.1.00/03.0082 (CZ.1.05/2.1.00/03.0082) podporovaného operačním programem Výzkum a vývoj pro Inovace, financovaného se strukturálních fondů EU a ze státního rozpočtu ČR v rámci Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010-2015 (BV II/2-VS), projektu Bezpečnostní aspekty vedení báňských děl v hloubkách 800 m a větších (VG20102014034).

Literatura:

- [1] Technický standard č. 4/2011 "Navrhování a používání vysokého kotvení pro stabilizaci důlních děl." Ostrava, 2011.
- [2] Technický standard č. 1/2009 "Projektování a vyztužování porubních chodeb určených k dvojímu použití." Ostrava, 2009.
- [3] Injekční pramencové svorníky IR-4E (Návod k použití). Minova Bohemia. 2011
- [4] Souček, K., Koniček, P., Staš, L., Šňupárek, R., Ptáček, J.: Využití kotevních systémů v hlubinných dolech OKR a testování jejich únosnosti. Tunel č.2/2012, ročník 21., s. 4-10, ISSN 1211-0728
- [5] Technický list "Pramencové svorníky typu REFLEX, FLEXIBOLT a IR-4. Minova Bohemia 2011