

Ing. Vratislav V í t , VÚHU:

Vliv seismických účinků plošných odstřelů v povrchových
hnědouhelných dolech na stabilitu skrávkových svahů

S rozvojem povrchového dobývání je spojen i postup povrchových dolů do větších hloubek. S rostoucí mocností nadloží se zpravidla zvyšují pevnostní parametry jílovitých zemin, které postupně přecházejí ve velmi pevné jíly až jílovce. Nejspodnější partie nadloží bývají mimoto často proloženy početnou sérií proplástek, hlavně pelosideritických, jejichž pevnost je výrazně vyšší než okolních tvrdých jílů až jílovců. Ze vzorků zemin odebraných z vrtů a z nově ražených šachet vyplývá, že na každých 100 m se zvyšuje smyková pevnost přibližně 2,2 krát. Z dnešních povrchových dolů (Ján Šverma, VČSA, Obránců míru, Merkur a dalších) jsou známy polohy jílovců z hloubek 70 - 100 m pod terénem, jejichž smyková pevnost dosahuje 12 až 17 kp/cm² a pelosideritické proplátky o tlakové pevnosti 120 až 180 kp/cm². Pochopitelně, že tyto vlastnosti se plně promítnou do rypných odporů, které tyto zeminy kladou při rozpojování rypadly. Podobný trend vzestupu rypných odporů vykazují i některé partie uhelné sloje. V mnoha případech blíží se rypné odpory rypné síle rypadla nebo ji převyšují. Za těchto podmínek výrazně stoupá přetěžování rozpojovacího orgánu rypadla, které se přenáší na celou konstrukci, snižuje se výkon rypadla, stoupá měrná spotřeba elektrické energie a zvyšuje se poruchovost a prostoje. Při rozpojování tvrdé uhelné sloje rypadly se - mimo uvedené potíže - zvyšuje podíl jemných a drobných frakcí, což hlavně u kvalitních druhů uhlí způsobuje citelné ekonomické ztráty (ca 18 Kčs/t). U kaloricky méněhodnotných druhů, používaných pro energetiku, nemá tato ztráta význam.

K odstranění těchto provozních potíží je vhodné použít trhací práci. Na povrchových hnědouhelných dolech se v převažující většině aplikuje tzv. "otřasná trhací práce". Principiálně sestává z rozrušení horninového bloku na řezu před postupujícím rypadlem, aniž by došlo k výraznému porušení ploch omezujících blok, a tím méně k sesutí či rozvalení svahů bloků. Od této aplikace trhací práce požadujeme rozrušení horniny v bloku systémem trhlin, čímž

se sníží rypný odpor. Z celé řady teoretických názorů na rozpojování výbuchem připadá v úvahu pro podmínky v nadložních jílech až jílovcích či v tvrdé uhelné sloji pouze teorie rozpojování odštěpem. Hlavním faktorem rozpojování jsou dynamické vlny napětí, šířící se z místa výbuchu všemi směry, které v této fázi vyvolávají tlakové namáhání rozpojovaného prostředí. Po dosažení rozhraní fyzikálně odlišných prostředí, kterým jsou prakticky plochy omezující blok, přičemž rozhraním prostředí je hranice mezi horninou a vzduchem, přejde část dynamických vln do druhého prostředí (vzduchu) a část se jich od rozhraní odrazí a postupuje zpět do horninového masivu ve formě tahového napětí. Rozpojení masivu či vytvoření trhlin v něm vyvolávají právě tyto odražené vlny napětí, které způsobují tahové namáhání, neboť tahová pevnost hornin a zemin je výrazně nižší než pevnost v tlaku. Mechanismu rozpojování odštěpem jsou podobné i případy vzniku trhlin při vzájemných interakcích tlakových a tahových vln napětí. Takto, možno říci užitečně, však působí jen část dynamických vln napětí; druhá část, která se neodrazí od rozhraní hornina-vzduch, probíhá dále horninovým masivem až do vyznění. Při průběhu horninovým masivem podléhají tyto vlny jednak určitým deformacím, způsobeným rozdílnou vodivostí různých vrstev, jednak úplným či neúplným odrazům, vyvolaným jejich rozdílnými fyzikálními vlastnostmi. Za odrazovou plochu dynamických vln lze považovat i většinu tektonických ploch. Za výrazně deformující či odrazové lze považovat zmíněné pelosideritické proplástky, v nichž se dynamické vlny šíří 2 - 4 krát rychleji než v okolních jílech. Za odrazové plochy lze považovat kontakt nadloží s hlavou sloje, paty sloje s podložím a při menších hloubkách (asi do 300 m) i kontakt terciérních sedimentů s krystalickým podložím. Takto deformované a odražené vlny jsou velmi citlivými aparaturami měřitelné na vzdálenost několika km i několika desítek km. Doznívání těchto vln se pochopitelně může projevit i na svazích skryvkových řezů porušením pevnostních vlastností zemin, a tím i snížením stability skryvkových řezů. Na svahy uhelných řezů bude tento vliv působit výrazně méně a bude - možno říci - zanedbatelný. Hlavní příčinou rychlého útlumu a vyznění dynamických vln napětí ve sloji jsou specifické vlastnosti sloje jako celku, z nichž vyniká hlavně velká četnost trhlin ve sloji, ať již způsobených vrstevnatostí či diaklasami. Pro objasnění tohoto negativního vlivu trhacích prací byla provedena měření jejich seismických účinků.

První měření bylo provedeno při mžikovém odpálení 940 kg výbušinové směsi DAP. Čidla měřící aparatury byla umístěna ca 400 m od plošného odstřelu.

Výsledky měření:

		Horizontální složka	Vertikální složka
Rychlost kmitání	cm/s	0,31	1,01
Frekvence	Hz	15,6	16,7
Amplituda	cm	0,00316	0,00965

Při druhém měření byly odpáleny dva plošné odstřely. Při prvním bylo odpáleno 755,6 kg výbušinové směsi DAP (včetně počinu). Celková nálož byla rozdělena ve 12 dílčích náložích ve vrtech a pro roznět bylo použito milisekundových rozbušek, a to tak, že nultým stupněm bylo odpáleno 6 dílčích náloží o celkové váze 392,8 kg DAPu včetně počinu a prvním stupněm dalších 6 náloží o celkové váze 362,8 kg DAPu včetně počinu. Časový interval mezi zážehem obou skupin náloží byl tedy 23 milisekund.

Čidla měřicí aparatury byla vzdálena ca 500 m od centra plošného odstřelu.

Výsledky měření:

		Horizontální složka		Vertikální složka
		kolmá	podélná	
Rychlost kmitání	cm/s	0,073	0,06	0,055
Frekvence	Hz	16,6	16,6	20,-
Amplituda	cm	0,0007	0,00058	0,00044

Při druhém odstřelu bylo odpáleno celkem 965 kg DAPu včetně počinu, rozmístěných do 15 vrtů a opět bylo použito milisekundového roznětu, a to tak, že 8 vrtů s náloží 488 kg bylo odpáleno nultým stupněm a 7 vrtů s náloží 477 kg prvním stupněm milisekundových rozbušek. Interval zpoždění mezi oběma skupinami náloží byl tedy opět 23 milisekund. Čidla měřicí aparatury byla vzdálena od plošného odstřelu 450 - 480 m.

Výsledky měření:

		Horizontální složka		Vertikální složka
		kolmá	podélná	
Rychlost kmitání	cm/s	0,05	0,035	0,043
Frekvence	Hz	7,-	7,5	8,3
Amplituda	cm	0,00113	0,007	0,0008

Aby byl zachycen seismický účinek nasazeného technologického zařízení, který může sloužit jako základní srovnávací měřítko, bylo provedeno měření

seismických účinků pracujícího rypadla K 300 a pojíždějící vlakové soupravy, sestávající z devíti LH-vozů o obsahu 25 m^3 , tažených elektrickou lokomotivou adhezní váhy 64 Mp.

Výsledky měření seismických účinků pracujícího rypadla K 300. Měření na vzdálenost ca 100 m:

		Horizontální složka	Vertikální složka
Rychlost kmitání	cm/s	0,015	0,016
Frekvence	Hz	50,-	50,-
Amplituda	cm	0,0005	0,000052

Výsledky měření seismických účinků pojíždějící vlakové soupravy. Měření na vzdálenost ca 50 m:

		Horizontální složka	Vertikální složka
Rychlost kmitání	cm/s	0,015	0,055
Frekvence	Hz	50,-	25,-
Amplituda	cm	0,00005	0,00035

Seismické otřesy by měly být řešeny jako dynamické úkoly, vycházející z výsledků měření jejich účinků. Ze záznamů měření vyplývá, že se jedná o nepravidelný pohyb rázového charakteru, který není periodický, s výrazným útlumem. Výchozí podklady, to jsou výsledky měření, nezachycují pohyb přesně v jeho skutečném průběhu a je známo, že odlišné typy měřících aparatur dávají za stejných ostatních podmínek odlišné výsledky. Při vyhodnocování výsledků měření máme tedy jen nedokonalý záznam skutečného pohybu prostředí. Při dynamickém řešení by se mělo vyjít ze setrvačných sil pozorovaného objektu, tj. skryvkového svahu či lépe celého komplexu skryvkových řezů (celého nadloží), vlastní frekvence objektu, amplitud vlastního kmitání a dynamické pevnosti nadložních zemín či uhlé sloje, popříp. i z frekvence spektra záznamů. Obvykle však není k dispozici vibrografický záznam vlastního seismického neklidu šetřeného souvrství, neboť seismický neklid dozrává v závislosti na čase výrazných změn. Obzvláště celý sokolovský revír lze prohlásit za území s relativně vysokým seismickým neklidem s ohledem na celkovou geologickou stavbu okolí. Mimo to je stanovení frekvence a amplitudy kmitání těžených souvrství (nadloží, sloj i podloží) technicky nezvládnutelné jednak pro celkovou rozlohu, jednak pro nestojnorodost nadložních zemín i sloje. Podobně neznáme u těchto objektů ani jejich dynamickou pevnost v tahu či ve smyku, které

jsou pro posouzení jejich případného porušení rozhodující. Z těchto důvodů je nutné připustit určité zjednodušení, při němž se vychází z tohoto předpokladu:

Posunutí určitého hmotného bodu při kmitání v kontinuu směrem osy X ve vzdálenosti x můžeme pro podélné vlnění za dobu t vyjádřit vztahem

$$u = f(x + c_1 t),$$

kde c_1 je rychlost, kterou se vlnění šíří. Částečným diferencováním podle x a t obdržíme

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_1 f'(x + c_1 t)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = f'(x + c_1 t)$$

Porovnáním dostáváme

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} \frac{1}{c_1}$$

Výraz $\frac{\partial u}{\partial x}$ značí poměrnou deformaci $\mathcal{E}$ ve směru osy X , jež vznikne v důsledku napětí σ_1 . Dále značí $\frac{\partial u}{\partial t}$ rychlost kmitání pro podélnou složku pohybu v_1 .

Lze proto dále uvažovat

$$\mathcal{E}_1 = \frac{v_1}{c_1} \quad \text{a obecně} \quad \mathcal{E} = \frac{v}{c},$$

kde v je rychlost kmitání a c rychlost, kterou se vlnění v prostředí šíří.

Pevné horniny a s určitým omezením i polosoudržné zeminy se porušují jako křehké hmoty, a proto můžeme za kritérium porušení považovat poměrnou deformaci podle teorie Saint - Venantovy. Tento předpoklad nejvíce odpovídá skutečnosti, neboť ve většině případů není podrobena všesměrnému napětí a závislost porušení na určitém oddálení molekul vyhovuje i z hlediska dynamických účinků. K porušení dochází buď tahem či smykem, jak odpovídá pevnostní charakteristice materiálu a jeho napjatosti.

Z uvedených vztahů je možné přejít na mezní napětí za předpokladu, že se jedná o pružné a lineární prostředí s modulem pružnosti E . Pak bude mezní napětí $\sigma = E \mathcal{E}$ a $\mathcal{E} = \frac{E v}{c}$.

Jak již bylo řečeno, neznáme dynamický modul pružnosti (a je vůbec problematické se pokoušet o jeho stanovení s ohledem na heterogenost a anisotropnost sloje a hlavně nadloží), ani pevnost nadloží jako celku a ani uhlenné sloje. Proto je účinnější a jednodušší volit za měřítko porušení přímo

rychlost kmitání, neboť obecně platí

$$\mathcal{E} = f(v).$$

Rychlost kmitání v můžeme buď přímo měřit, nebo ji odvodíme ze záznamů amplitudy kmitání A a frekvence kmitu n , a to tak, jako by šlo o pohyb harmonický:

$$v = 2\pi n A.$$

Přitom je třeba mít na vědomí, že frekvence výchylky nemusí souhlasit se zřetelem na charakter pohybu s frekvencí rychlosti; proto je vhodnější měřit přímo rychlost. Měřítkem intenzity je maximální amplituda rychlosti. U rychlosti kmitání v je zjišťování snadnější než u zrychlení, pro jehož měření nejsou aparatury (akcelerografy). Vycházíme-li z vibrogramů, které jsou záznamy dráhy, a uvážíme-li pravděpodobné rozdíly ve frekvenci dráhy, rychlosti a zrychlení, je nepřesnost menší, když z vibrogramů odvozujeme rychlost, než počítáme-li z nich zrychlení, které by mohlo být podkladem pro další poměrně složité výpočty s řadou neurčitých hodnot.

Z řady měření, provedených na jiných akcích a jinými autory, lze dojít k závislosti mezi rychlostí kmitání a stupněm porušení objektu (svahu).

V některých případech je možné vyjít při posuzování intenzity otřesů přímo z poměrné deformace. Je-li známa délka vlny (z kmitočtu a rychlosti šíření kmitů c), pak maximální poměrná deformace při amplitudě kmitů A je v souladu s dříve uvedenou rovnicí

$$\mathcal{E} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{4A}{2} = \frac{2\pi A}{2} = \frac{2\pi An}{c} = \frac{v}{c}.$$

Takovýto postup je vhodný u posuzování objektů, jejichž jeden rozměr je výrazně převládající (železniční trať, potrubí apod.), a to pro kmity podélné a příčné. Přibližně by pak platil vztah pro napětí

$$\sigma = \frac{Ev}{c}, \text{ kde } E \text{ je modul pružnosti.}$$

V poslední době uvedl Don Leet tzv. energetické kritérium, které vychází z kinetické energie, úměrné čtverci rychlosti kmitání

$$v^2 = (2\pi \cdot n \cdot A)^2.$$

F. I. Grandell zavedl pojem energetického součinitele S , který se odvozuje buď z rychlosti

$$S = k \cdot v^2 = 4,4 \cdot 10^{-4} v^2,$$

nebo ze zrychlení:

$$S = 10^{-5} \frac{a^2}{n^2}$$

Tento součinitel našel uplatnění hlavně při posuzování seismických účinků na stavební objekty.

U sypkých nesoudržných zemin (písek, škvára, erdbrant) nelze dosti dobře považovat poměrnou deformaci za kritérium pevnosti. O porušení zde rozhodují setrvačné síly a měřítkem je pak zrychlení kmitů

$$a = 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot A,$$

udávané obyčejně ve zlomku gravitačního zrychlení.

Významnou roli zde hraje ulehlost sypkých materiálů a jejich nasycenost vodou. Nakypřený a současně zvodněný písek doznává porušení již při $a = 0,1 - 0,2$ g. Ulehlý sypký materiál má hranici porušení a při $a = 0,4$ g.

U zemin polosoudržných je třeba zvážit, zda se svým charakterem blíží horninám skalním či poloskalním nebo zeminám sypkým. U zemin jílovitého charakteru je významným měřítkem jejich vrstevnatost, případně diaklasová odlučitelnost a zda lze předpokládat existenci těchto odlučných ploch v dosud dobývaném nedotčeném masivu. Za předpokladu existence těchto ploch přerušení isotropnosti prostředí těmito puklinami je nutné odhadnout jejich otevřenost či těsnost. Při otevřenosti rozpukaných vrstev by mělo převažovat při posuzování jejich porušení kritérium kmitání a při jejich těsnosti pak kritérium rychlosti kmitání.

Teoretické úvahy v předchozí stati vycházely z předpokladu isotropního a homogenního prostředí, jímž se dynamické vzruchy šíří všemi směry a stejnou rychlostí, tedy od místa vzniku seismického vzruchu v kulových plochách.

Parametry kmitání vzniklého explozí jsou však ve skutečnosti deformovány vlivem anisotropnosti a heterogenosti jak nadložních vrstev, tak uhlé sloje. Při volbě exemplárního sestavení charakterově odlišných zemin je možný pravdě nejpodobnější příklad, kdy skrývkové souvrství se skládá z monotónních jílu, blížících se isotropnímu a homogennímu prostředí s minimálním množstvím trhlin či puklin, dále z cyprisových břidlic a výraznou a hustou sítí ploch odlučnosti a konečně z pelosideritických kompaktních proplástků. Tyto tři charakteristické typy zemin budou mít rozdílné vlastnosti ve smyslu schopnosti přenosu seismických vln. Nejlepší vlastnosti pro přenos vln budou mít pelosideritické proplásky, v nichž rychlost kmitání i rychlost

šíření kmitání bude nejvyšší. Střední hodnoty rychlosti kmitání budou mít monotónní jíly a nejnižší hodnoty budou mít cyprisové břidlice. Lze odhadnout, že rozdíl mezi rychlostmi kmitání a šíření kmitání bude v pelosideritických proplástečích nejméně o 1 - 2 řády vyšší a u cyprisoých břidlic naopak několikanásobně nižší než u monotónních jílu. Tato rozdílnost vlastností zemín se projeví časovým intervalem doběhu seismického vzruchu na určitou vzdálenost ve směru přibližně horizontálním (po jednotlivých vrstvách), čímž dochází k deformacím původních kulových ploch ve směru os X a Y.

Rozdíl vlastností jednotlivých vrstev ve směru vertikálním má za následek nejen změny ve schopnosti přenosu, ale hlavně v tom, že na rozhraní dvou fyzikálně rozlišných prostředí dochází k odrazu vln, při čemž se mění smysl napětí těchto vln (z tlaku na tah). Výrazným stykem dvou rozdílných prostředí budou nejen kontakty mezi monotónním jílem, cyprisovými břidlicemi a pelosideritickými proplástečky, ale také kontakt mezi nadloží a hlavou sloje. S ohledem na poměrně malou mocnost nadloží (zbytku nadloží pod místem plošného odstřelu) bude odraz částí vln od hlavy sloje výrazný. Vlnění odražené od hlavy sloje pak prochází pod rozdílným sklonem (limitně od 0 - 90°) rozdílnými vrstvami nadloží a na jejich kontaktu opět dochází k částečnému průchodu a k částečnému odrazu.

Za změnu ve schopnosti přenosu vlnění je třeba považovat i každou trhlinu či puklinu ve stejné vrstvě a také kontaktní plochy vrstevnatosti.

Pro dokreslení vlivů geologické stavby je třeba doplnit, že vlnění způsobené explozí prochází z nadloží nejen do sloje, ale i do podloží, se všemi úkazy reflexů.

Z těchto úkazů jasně vyplývá, že na kterýkoliv bod jak v nadloží, tak ve sloji působí nejen primární vlnění, ale i vlnění jednou či vícekrát ovlivněné průchodem rozdílnými prostředími a reflexy na styčných plochách těchto prostředí.

Tuto úvahu lze dobře demonstrovat na měřeních účinků rypadla K 300 a vlakové soupravy. Zdrojů vlnění na rypadle je celá řada (např. všechny rotující elementy). Parametry těchto vlnění podle zdrojů budou rozdílné jak co do velikosti, tak i do smyslu. Na styčné ploše mezi rypadlem a pojezdovou plání však všechna resultují v jedno vlnění obecně jen jedněch parametrů i smyslu, a to přechází do podloží.

U projíždějící vlakové soupravy je situace již poněkud jiná, neboť hlavním zdrojem vlnění budou dynamické rázy, vznikající nárazem kol na kolejnicových stycích, tedy rázy mající výrazně směr vertikální. Tento výrazný směr se projevuje ve zvětšených hodnotách vertikální složky kmitání.

V dřívějších statích bylo jednáno o kritériích a měřítkách pro posouzení, možno říci, jednorázového seismického efektu na objekt. Nebylo však uvažováno s četností vyvolaného stavu napjatosti. Z laboratorního pozorování je známo, že zeminy, jak polosoudržné, tak soudržné i sypké, podléhají určité únavě z dynamického zatěžování. Tuto skutečnost lze velmi dobře demonstrovat např. na Cassagrandově smykači, kdy neporušený vzorek je zatížen konstantním normálovým napětím a zlomkem tangenciálního napětí, při němž by došlo k usmyknutí. (Zastaven posun závaží na pravítku). Při tomto systému napjatosti vzorku se každý dynamický ráz (byť i velmi malý - lehký poklep na konstrukci přístroje) projeví měřitelnou deformací vzorku. Další dynamické rázy vyvolávají další deformace, až dojde k usmyknutí vzorku.

Za současného stavu nejsou známy souvislosti mezi všemi hlavními proměnnými veličinami (normálové zatížení, tangenciální napětí, intenzita a četnost dynamických rázů a doba působení dynamického namáhání), aby z nich bylo možné posoudit, kolik a jak velkých rázů (chvění či vlnění) je schopna zemina přenést, aniž by došlo k jejímu porušení. Je však zřejmé, že intenzita vlnění a četnost dynamických rázů budou v nepřímé závislosti.

Z uvedeného laboratorního úkazu není dosti dobře možné odvodit prakticky použitelné závěry, neboť podmínky přenosu dynamických rázů jsou velmi odlišné. Zatím co do vzorku zeminy, upnutého do smykače, jsou dynamické rázy přenášeny kovovou tuhou konstrukcí, a tudíž velmi dobře vodivou, s poměrně vysokými rychlostmi šíření vlnění (kolem 5 000 - 6 000 m/s) a tím i s velmi malým útlumem, je element zeminy v přírodních podmínkách vystaven dynamickým vlnám, šířícím se přibližně poloviční rychlostí, s vyšším útlumem, závislým na relativně větší vzdálenosti a hlavně vlnám silně deformovaným anisotropností prostředí. U kovových konstrukcí nejsou výjimečné stavy kmitové resonance, zatím co u horninových anisotropních prostředí nelze resonanci očekávat a lze ji téměř vyloučit. I přes tuto rozdílnost podmínek lze vyslovit názor, že vlivem seismických účinků nasazeného technologického zařízení (bez účinku trhací práce) dojde po určitém množství kmitů k únavě zemin a až k jejímu porušení. Tento účinek se výrazněji projevuje při kolejo-

vé dopravě, neboť daný element ve svahu je častěji namáhán výraznějším vlněním, způsobeným pojíždějící soupravou na zpravidla menší vzdálenost než je tomu u vlnění, způsobenému rypadlem. Rypadlo, jakožto pohybující se zdroj vlnění, působí na zeminu při přibližně stejné vzdálenosti jen krátkou dobu a vzdálenost se neustále zvětšuje. Element zeminy ve svahu, nad nímž pojíždí vlaková doprava, je na stejnou vzdálenost namáhán výraznějšími dynamickými rázy po delší dobu. Uvážíme-li, že pohyblivé koleje na řezu jsou přestavovány 3 až 4 krát za rok a že v údobí mezi přestavbami přejede daným místem ca 15 000 vlakových souprav (100 dnů x 3 směny x 50 vlakových souprav, z toho 25 prázdných a 25 plných) o 40 osách (9 čtyřnápravových vozů + 4 osy lokomotivy), je okolí kolejnicových styků namáháno 600 000 dynamických rázů. I když přenosové vlastnosti podsypového materiálu kolejového lože jsou relativně špatné, lze připustit, že může tímto vlivem dojít k porušení stability svahu.

S ohledem na to, že účinky rázu ubývají přibližně s odmocninou vzdáleností a že koleje nejsou zpravidla příliš vzdáleny od hrany spodního svahu, nelze tyto vlivy přehlédnout; vliv dynamických rázů u stabilních kolejí v místech, kde jsou tyto položeny v blízkosti svahu (výjezdové rampy), bude ještě výraznější s ohledem na dobu jejich nezměněné polohy, čímž četnost rázů dosáhne milionových hodnot. Eliminacním účinkem se zde projevuje obnovování kolejového lože, neboť nový málo udusaný podsypový materiál bude hůře přenášet vlnění.

Při plošných odštělech jsou záměrně v jejich ploše vytvářeny sítě trhlin, čímž dochází k porušení pevnosti dobývané zeminy a zlepšení její rozpojitelnosti. Účinky trhací práce však pozvolně doznívají i v okolní zemině (přibližně v závislosti na odmocnině vzdálenosti), čímž vznikají více méně pozvolně navazující zóny většího, menšího až nepatrného narušení. Pocho-pitelně, že všechna tři základní vlnění, způsobená rozličnými zdroji (rypadlo, kolejová doprava, trhací práce), resultují v jeden účinek, který může vyústit v porušení stability svahu.

Posouzení váhového významu škodlivosti jednotlivých vibrací na stabilitu svahu je za dnešního stavu znalostí velmi problematické a vyžadovalo by vyřešení otázky únavy polosoudržných materiálů dynamickým namáháním.

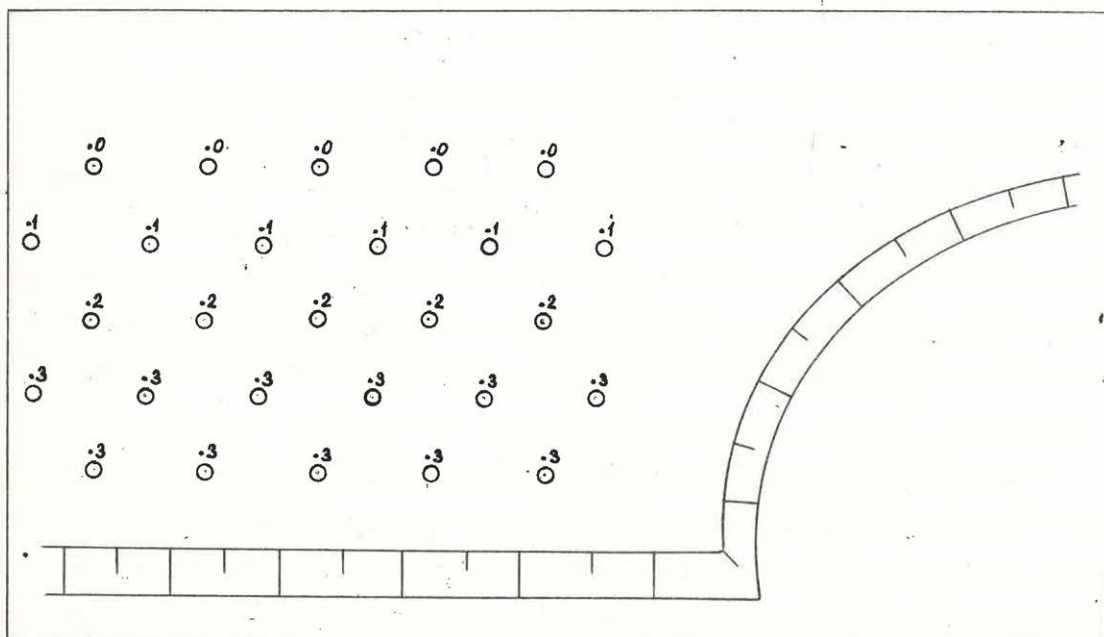
Naposlední otázkou zůstává posouzení, která z komponent (horizontální, vertikální) má závažnější význam v účincích na stabilitu svahu. Za předpo-

kladu, že vlnění se prostředím šíří přibližně všemi směry stejně a že parametry vlnění doznívají rovnoměrně, lze rozvést tuto úvahu:

Seismické účinky exploze se nadložním souvrstvím či uhlernou slojí šíří všemi směry přibližně stejně při přibližně stejných parametrech kmitání. Při dosažení hranice změny prostředí (svah skryvkového řezu či uhlerná etáž) přejde část kmitání do jiného prostředí a část se od rozhraní odráží zpět při změně smyslu kmitání a tím i namáhání. Původně tlakové rázy se mění v tahové dynamické namáhání (podobně jako u teorie odštěpu). Při dospění kmitání na přibližně horizontální pracovní plošiny dojde k téměř úkazu, jak již uvedeno, ovšem pomocný účinek, který je pro případnou deformaci rozhodující, je eliminován gravitací; při dospění kmitání k rovině svahu, která má sklon blízký vertikále ($60 - 90^\circ$), bude mít účinek kmitání výraznější pomocný účinek, který může vést až k porušení stability svahu. Pro lepší objasnění je vhodnější příklad budovy na terénu. Vertikální kmitání, působící ve směru hlavních stěn, není tak nebezpečné, neboť stěny kmitají jako celek. Horizontální kmitání působí pohyb základů a zdiva nízkou nad terénem, zatím co vyšší partie mají snahu zůstat v klidu. Zdivo je pak namáháno jednostranně tahem a ohybem a dochází snáze k jeho porušení. Tento úkaz je velmi dobře znám při destrukci budov, kdy jedna řada vrtů ve zdivu nezaručuje zhroucení zdiva a jsou známy případy, že po odstřelu jedné řady vrtů ve zdivu zůstala budova stát. Z této rozvahy i zkušenosti vyplývá, že rozhodující složkou pro porušení svahu bude horizontální složka kmitání.

Pro snížení seismických účinků plošných odstřelů na stabilitu svahu bude nejúčinnější zhoršit přenosové schopnosti prostředí pro šíření kmitání a zmenšení impulsové energie, způsobující toto kmitání. Zmenšení impulsové energie, které bude mít za následek snížení rychlosti kmitání, je snadno dosažitelné milisekundovým roznětem, a to tak, že celková nálož plošného odstřelu bude rozněcována za použití více stupňů milisekundových rozbusek. Přenosové schopnosti prostředí jsou závislé na fyzikálně-mechanických vlastnostech prostředí a na jeho homogenitě. Fyzikálně-mechanické vlastnosti prostředí však obecně nemůžeme ovlivnit; poměrně snadno je však ovlivnitelná jeho homogenita, neboť za výraznou změnu lze považovat každé přerušení kontinuity prostředí např. trhlinou či sítí trhlin. Jak již řečeno, na těchto trhlínách dojde k částečnému odrazu kmitání a jeho obrácení na opačný smysl. V konkrétní aplikaci to znamená, že bude účinné vytvořit uměle síť trhlin,

která do jisté míry odizoluje plošný odstřel od ostatního masivu a tím zhorší schopnost v přenosu kmitání na okolí. Toho lze poměrně snadno docílit opět milisekundovým roznětem, a to tak, že obvodové vrty ohraničující plošný odstřel od ostatního masivu budou iniciovány jako první a pak budou časově odlišeny ostatní vrty s náložemi. Milisekundový roznět s jednotlivými časovými stupni je zřejmý ze schématu. Číslice u vrtů značí principiální časové pořadí jednotlivých náloží; přitom je třeba upozornit, že číslice u vrtů nejsou míněny jako milisekundové stupně. Čím bude časový interval mezi jednotlivými číslicemi větší (3-4 milisekundové stupně), tím bude tlumicí účinek výraznější.



V každém případě je vhodné vycházet z principu co největšího časového odlišení jednotlivých náloží a vytvoření izolační zóny na obvodu plošného odstřelu.

Tento systém byl ověřen praktickou zkouškou spojenou s měřením seismických účinků. Jak bylo vpředu uvedeno, byla rychlost kmitání při prakticky stejné celkové náloži (940 a 965 kg DAPu) a při přibližně stejné vzdálenosti snížena o jeden řád (z 0,31 cm/s na 0,035 a 0,05 cm/s) pouhým rozlišením cel-

kové nálože jedním milisekundovým stupněm. Při běžně dostupných jedenácti milisekundových stupních je možné a snadno dosažitelné zmenšit seismické účinky plošných odstřelů v podmínkách povrchových hnědouhelných dolů na téměř zanedbatelné minimum.

S h r n u t í

Provádění plošných odstřelů při rozpojování tvrdých partí nadloží i uhlé-
né sloje vyvolává seismické efekty, které působí na okolí odstřelu. Pro
zhodnocení těchto efektů bylo provedeno jejich měření a výsledky jsou po-
rovnávány s měřením seismických účinků způsobených technologickým zaříze-
ním na povrchovém dole /rypadlo K 300, vlaková souprava/. Mimo relaci vý-
sledků měření je brán zřetel na četnost seismických efektů podle příčin
vzniku. Pro zmenšení efektů vyvolaných plošnými odstřely je navrženo sché-
ma milisekundového roznětu jednotlivých náloží.

Р е з ю м е

Влияние сейсмических воздействий многорядного взрывания
на устойчивость породных откосов бурогольных карьеров

Разрыхление крепких вскрышных пород и угольного пласта
путем многорядного взрывания подвергает окрестность мес-
та проведения взрыва воздействию определенных сейсми-
ческих факторов. Для того чтобы установить значения этих
воздействий, проводились измерения, результаты которых
сопоставлялись с данными измерения сейсмических эффек-
тов, встречаемых при работе технологического оборудова-
ния /экскаватора К 300, подвижного состава/ на карье-
рах. Кроме сопоставления данных измерения исследовалась
также частота сейсмических воздействий с точки зрения
разных причин их возникновения. В целях ограничения вли-
яния сейсмических эффектов, возникающих в связи с много-
рядным взрыванием, предлагается схема короткозамедленно-
го взрывания отдельных шпуров.