

**Prof. Ing. Jiří Horký, CSc.**

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství  
Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava  
tel. 597 321 945, e-mail: jiri.horky@vsb.cz

## **MODERNÍ TRENDY V ROZPOJOVÁNÍ HORNIN VÝBUCHEM**

Použití trhacích prací při rozpojování hornin je klasickou technologií používanou nejen při ražení podzemních objektů k výlomu zabírky, ale i při úpravě vlastností horninového masivu tzv. bezvýlomovou trhací prací, kdy na povrchu objektu nedochází k žádným vizuálním změnám. Nedílnou součástí disciplíny jsou i aplikace odstřelů ve stavebnictví, při destrukcích stavebních objektů či jednotlivých stavebních prvků. V posledních letech se výzkum a vývoj trhacích prací značně zpomalil, výjimkou je výzkum škodlivých účinků výbuchu v celé komplexnosti, zejména pak v oblasti jejich seismických účinků. Příčinou je stále dokonalejší přístrojové vybavení zejména zahraniční proveniencí a těsnější spolupráce klasických seismologů a příslušníků cechu „trhačů“.

Kvalita odstřelu je do značné míry závislá na použitých prostředcích trhací techniky, zejména trhavinách a rozněcovadlech, vlastní technologie pak na stanovení optimálních parametrů odstřelu, zejména celkové hmotnosti nálože, resp. počtu a hmotnosti náloží dílčích a jejich rozmístění v rozpojovaném objektu. Každý odstřel, na povrchu či v podzemí, má kromě svého pozitivního úkolu při rozpojení horniny i nutně negativní dopady na okolní prostředí a nese sebou i nebezpečí, plynoucí s manipulací s výbušnými prostředky.

Cílem všech inovačních a modernizačních trendů je tedy:

- optimalizovat odstřely z hlediska požadovaného efektu rozpojení horniny,
- minimalizovat škodlivé účinky odstřelu na okolní prostředí,
- na maximální míru zvýšit bezpečnost při trhací práci.

V konečném výsledku jde tedy o docílení vyšší efektivity trhací práce při zachování nebo dokonce zvýšení její přiměřené bezpečnosti.

I přes výše uvedená pesimistická slova můžeme v trhacích pracích vysledovat inovační snahy v oblastech:

- sortimentu trhací techniky,
  - technologie výlomové trhací práce v podzemí i na povrchu,
  - posuzování škodlivých účinků odstřelu.
1. V sortimentu průmyslových trhavin je celosvětový trend zaměřen především na aplikaci neklasických trhavin. Hlavním důvodem je ekonomika, neboť cenově se tyto trhaviny pohybují v rozmezí 20-60 % ceny klasických, tzv. Nobelových trhavin. Systematicky lze rozdělit moderní neklasické trhaviny, které většinou neobsahují výbušné složky na:
- jednoduché trhaviny typu DAP resp. ANFO
  - trhaviny obsahující vodu
    - trhaviny plastifikované vodou
    - trhaviny SLURRY
    - emulzní trhaviny
  - trhaviny kombinované

Zatímco při povrchových odstřelech se zcela běžně i u nás používají sypké trhavinové směsi typu DAP, v podzemí stále převládá použití trhavin klasických. Jejich rovnocennou náhradou se jeví zejména trhaviny emulzní. V zahraničí již existuje celá řada typů těchto trhavin, vyznačujících se různou energií, citlivostí i konzistencí. Jsou charakteristické vysokou manipulační bezpečností, citlivostí k iniciaci rozbuškou, vysokou detonační

rychlostí, odolností proti vodě a nízkým kritickým průměrem nálože. Trhaviny již běžně vyrábí řada světových výrobců jako je Nitro Nobel Švédsko, ICI Velká Británie, Vestpreng SRN atd.

Velkou výhodou emulzních trhavin je velká variabilita sortimentu z hlediska balení. Vedle širokého sortimentu válcových náložek s průměry 30 až 80 mm je možnost dodání v PE pytlích a kontejnerech vč. dodávek nabíjecích (čerpacích) mechanismů. Kontejner s trhavinou lze usadit na podvozek a čerpadlem a hadicí je možno nabíjet trhavinu do vývrtů všech úklonů (i dovrchně) na vzdálenost desítek metrů. Výsledky zkoušek jsou v mnoha směrech pozoruhodné a lze je shrnout do následujících bodů:

- trhaviny mají vyhovující citlivost k iniciaci jak rozbuškami, tak bleskovicí a není tedy nutno předepisovat použití počinových náložek,
- manipulačně bezpečnostní vlastnosti trhavin jsou vynikající, jejich citlivost k nárazu je nižší než je obvyklé,
- trhaviny nemají škodlivé hygienické účinky, neobsahují nitroestery ani aromatické nitrolátky,
- trhaviny jsou schopny detonovat pod tlakem vody až 2,5 MPa,
- výkon trhavin je poněkud nižší než je obvyklé u běžných skalních plastických trhavin, hodnoty brizance a detonačních rychlostí jsou však vyšší,
- obsah jedovatých plynů ve zplodinách výbuchu je příznivý, prakticky na úrovni nejlepších trhavin z tohoto hlediska,
- selhaná trhavina, tj. zbytky trhaviny ve vývrtu, exponované výbuchovou vlnou, ztrácejí do značné míry schopnost výbuchu.

Emulzní trhaviny jsou relativně mladé, i když na našem trhu nejsou již žádným nováčkem. Mají své výhody i nevýhody, avšak výhody jasně převyšují, a proto jsou spolu s DAPy a slurry nejpoužívanějšími trhavinami dneška. Nevyřeší všechny problémy pracovišť, která se zabývají trhacími pracemi, ale jsou schopné v mnoha ohledech nahradit klasické typy trhavin.

2. Nejpoužívanějším roznětem trhavinových náloží je roznět elektrický. Jeho efektivita a bezpečnost je však snižována výskytem možných selhávek, zejména ve vlhkém a mokřem prostředí. Jejich hlavními příčinami mohou být:

- vadné rozněcovadlo,
- vadná roznětnice,
- vadný ohmmetr,
- chyby v zapojení roznětné sítě,
- vadné přívodní vedení,
- nedodržení podmínky současnosti roznětu,
- použití rozněcovadel nestejně citlivosti,
- svody v roznětné síti.

Zde můžeme sledovat chvályhodnou snahu výrobce elektrických rozbušek, jako základního elementu elektrického roznětu, o stálé zvyšování kvality svých výrobků (mechanická odolnost, antistatická odolnost, přesnost intervalů zpoždění ap.).

Jiným nedostatkem elektrického roznětu je možnost nežádoucího předčasného roznětu, jehož příčinou je cizí elektrická energie, která vlastně představuje „normální“ způsob roznětu přes můstek pilule elektrického palníku. Nejobvyklejšími příčinami jsou:

- bludné proudy,
- elektrostatická energie,
- atmosférická energie,
- venkovní rozvody vysokého a velmi vysokého napětí,
- vysokofrekvenční energie.

V tomto případě můžeme elektrický roznět pouze chránit do jisté míry, např. striktním dodržením všech platných bezpečnostních pravidel.

Systémovým řešením je v tomto případě použití neelektrického roznětu, který dává vysoký stupeň jistoty. K běžnému bleskovicovému roznětu, který se používá např. při povrchových odstřelech, nutno přičíst i roznět mikrobleskovicí. Ten zahrnuje kromě známých výhod bleskovice i

- vysokou manipulační bezpečnost,
- vysokou efektivitu při realizaci, srovnatelnou s roznětem elektrickým,
- možnost detailního rozčasování dílčích náloží s důsledkem podstatného snížení seismického účinku na okolní prostředí.

Mikrobleskovicová roznětná síť je tvořena mikrobleskovicí, což je dutá hadička z průsvitného plastu, na jejíž vnitřní stěně je nanášena tenká vrstva výbušné náplně. Hadička má vnější průměr 3 mm, vnitřní průměr 1,5 mm, obsah výbušné náplně je  $20 \pm 2 \text{ mg.m}^{-1}$  tedy 700-krát menší než u bleskovice NP V. Rychlost detonace je  $2\,000 \text{ m.s}^{-1}$ . Akustický a tlakový účinek detonace je nepatrný. Hadička zůstává po funkci zachována a v průběhu detonace i po jejím skončení zůstává vnější obal neporušen. Roznět mikrobleskovice se provádí speciálními roznětkami nebo roznětnicemi. Výhodou mikrobleskovice je i vysoká odolnost proti nárazu. Celý mikrobleskovicový roznět používá časovaných rozbušek bez elektrických palníků. Zpoždovač těchto rozbušek je zažehován mikrobleskovicí. Mikrobleskovice přenáší detonaci v síti spojované speciálními konektory od místa roznětu. Jako hrubé porovnání lze tuto metodu zjednodušeně znázornit tak, že elektrickou roznětnou síť, která může být ohrožena cizí elektrickou energií, nahrazuje síť mikrobleskovicová (nevodivá), u které toto nebezpečí zcela odpadá.

Milisekundové rozbušky pro systém Nonel se vyrábí s různým zpožděním, zážeh zpoždovače rozbušky, resp. spojení rozbušky s mikrobleskovicí zajišťuje speciální, relativně masivní spojka z plastu. Rovněž pro vzájemné spojování hadiček pro přenos detonace do roznětné sítě se používá obdobná spojka, která je pro zajištění přenosu detonace opatřena velmi malou rozbuškou.

Vlastní roznět mikrobleskovice lze realizovat speciálními roznětkami. Dodává se však též roznětná pistole konstruovaná pro tento účel.

Výhodou systému je bezpečnost proti vlivům cizí elektrické energie. Plast mikrobleskovice je sice hořlavý, ale tenká vrstva výbušné náplně při zážehu shoří a nedetonuje. Podle podkladů výrobce je údajně sestavování roznětné sítě Nonel rychlejší (cca o 20 sekund pro jeden vrt) než příprava roznětné sítě elektrické.

Zejména je doporučena jeho aplikace:

- Pracoviště s výskytem různorodých zdrojů el. energie (bludné proudy, vysokofrekvenční energie, silové proudy apod.) a elektrostatické energie (vysokohorské podmínky nebo zafukování trhaviny do vrtů).
- Tam, kde je požadavek velké variability časování roznětné sítě (clonové, plošné a tunelové trhací práce) a nutnost potlačení seismického účinku tlakové vlny jejím časovým rozfázováním.
- Nesmí se používat ve výbušném prostředí.

3. V technologii trhacích prací se příliš inovační snahy neprojevily. Pro úspěšnost odstřelu je rozhodující optimální návrh základních parametrů trhací práce, tj.

- celkové hmotnosti nálože,
- její rozdělení v rozpojovaném objektu, návrh hmotnosti dílčích náloží, jejich počtu, umístění a časování.

Specifikou odstřelů při ražení podzemních objektů je aplikace některé z metod obrysové trhací práce. Zatímco v hornictví tyto technologie stále považujeme za nadstandardní a jsou aplikovány výjimečně, je situace v podzemním inženýrském stavitelství příznivější, neboť přesný obrys díla po odstřelu je běžným požadavkem, u některých metod ražení dokonce nezbytnou podmínkou (NATM). Logickou výhodou přesného obrysu (snížení koeficientu nadvýlomu) je:

- omezení porušení masivu za projektovaným obrysem,
- snížení zatížení výztužní konstrukce,
- úspory v manipulaci s navíc rozpojenou horninou,
- obecně vyšší stabilita výrubu.

Pro úspěšnou aplikaci se při ražení podzemních děl používají zejména:

- metoda hladkého výlomu,
- metoda předštípnutí obrysu – presplitting.

Základní filosofií obou metod je omezení energie výbuchu obrysových náloží tak, aby v jejich okolí buď vůbec nevznikla zóna radiálních a tangenciálních trhlin, nebo byla směřována požadovaným směrem do díla. To se většinou realizuje odlehčením obrysových náloží za cenu zvýšení jejich počtu. V praxi se nejlépe osvědčilo použití radiálně lehčených náloží, kdy průměr nálože dosahuje maximálně 30 % průměru vývrtnu a použití speciálně energeticky odlehčených trhavin. Pro zdárný výlom obrysu je rozhodující

- hmotnost a konstrukce obrysové nálože,
- časování obrysové nálože,
- záběr a rozteč obrysových náloží.

Pro stanovení těchto základních parametrů je možno použít řadu výpočtových metodik, jež vycházejí buď z empirických „skandinávských“ metodik, nebo z teoretických úvah o šíření rázových vln a hodnoty detonačního tlaku. Výsledky obou skupin jsou v zásadě srovnatelné a byly ověřeny nejen teoreticky, ale i řadou úspěšně provedených praktických odstřelů.

Při běžné výlomové trhací práci v profilu podzemního objektu je z hlediska vlastního výlomu a příznivé fregmentace rozpojené horniny vhodná aplikace co největšího průměru trhavinových náloží s požadavkem dokonalého vyplnění činného prostoru vývrtnu trhavinovou směsí. Teoretické úvahy i praktické odstřely prokázaly, že při nárůstu průměru nálože o 1 mm se sníží jejich počet cca o 3 %. To vedlo k rozšíření sortimentu balených maloprůměrových náloží na hodnoty 36 resp. 38 mm, dnes zejména v dílech velkých profilů běžně užívaných. Dalším krokem v této oblasti se jeví aplikace emulzních trhavin začerpávaných do vývrtnů. Jejich průměry se díky používaným výkonným vrtacím vozům pohybují v podzemí v rozmezí 45-60 mm, přičemž jejich nabíjení čerpáním nutně vede k dalším úsporám počtu vývrtnů, době vrtání a nabíjení a tím i k růstu efektivity ražby.

Tento příspěvek, zabývající se problematikou rozpojování hornin trhacími pracemi, je jen z prvního pohledu kontraproduktivní k tématu, jemuž je věnován tento mezinárodní seminář. Vždyť řadě případů zpevnování horninového masivu předchází úplné nebo částečné rozpojení alespoň části masivu, k čemuž je nezřídka využita i trhací práce. Zde například patří i tzv. bezvýlomová trhací práce s vnitřním účinkem, kdy odstřelem ovlivňujeme některé z vlastností horninového masivu, ať už je nazýváme ořasnými či nářasnými odstřely, nebo desintegrační trhací prací a používáme v podzemí i na povrchu.