



Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce

Prezídium spoločnosti

Československej armády 25, 974 01 Banská Bystrica SK

Reg.: Min. vnútra SR, č. sp. VVS/1-900/90-2276-6 z 19.4.2013, člen Zväzu slovenských vedeckotechnických spoločností a EFEE

Slovak Society for Blasting and Drilling Works, member of ZSVTS and EFEE



ZBORNÍK PREDNÁŠOK

CONFERENCE PROCEEDINGS

z 32. medzinárodnej konferencie

32th International Conference



TRHACIA TECHNIKA 2023

BLASTING TECHNIQUE 2023



Kongresové centrum **ACADÉMIA Stará Lesná SK**
10. - 12. máj 2023

ISBN 978-80-89914-12-8 (brožovaná väzba) EAN 9788089914128

ISBN 978-80-89914-13-5 (USB) EAN 9788089914135



Prezídium Slovenskej spoločnosti pre trhacie a vŕtacie práce ďakuje

za podporu odborného vzdelávania v oblasti legislatívy, vedy, výskumu a praxe
pracovníkov z výkonu vŕtacích a trhacích prác a prepojených odvetví:

Záštita nad konferenciou:

Hlavný banský úrad Slovenskej republiky, Banská Štiavnica
Fakulta BERG Technická univerzita v Košiciach
Slovenská banská komora, Prievidza

Kolektívni členovia spoločnosti, partneri a sponzori:

ALAS SLOVAKIA, s.r.o., Bratislava
Austin Powder Slovakia, s.r.o., Bratislava
B blast s.r.o., Jasenov
Carmeuse Slovakia, s.r.o., Košice
Danucem Slovensko, a.s, Rohožník,
DELTA DEFENCE, a.s. Bratislava, Bratislava
LT Blasting s.r.o., Turňa nad Bodvou
LUVEMA, spol. s r.o., Nová Baňa
Mital s.r.o., organizačná zložka, Zlatníky
Považská cementáreň, a.s., Ladce
SlovDrill s.r.o., Banská Bystrica
SMZ, a.s. Jelšava, Jelšava
SONNE CRYSTAL, Poltár
SSE Slovakia s.r.o., Humenné
STV MINING s.r.o., Praha

Prijaté príspevky konferencie sú publikované v *recenzovanom* tlačenom
konferenčnom zborníku s ISBN a v digitálnom konf. zborníku s ISBN na USB.

Zborník zostavil: Ing. Marián Beňovský, PhD. a kolektív autorov príspevkov

Vydavateľ: Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce
Československej armády 25, 974 01 Banská Bystrica
sekretariát mobil: +421 902 506 004, e-mail: sstvp@sstvp.sk, www.sstvp.sk

ISBN 978–80–89914–12–08 (brožovaná väzba) EAN 9788089914128
ISBN978–80–89914–12–5 (CD) EAN 9788089914135

Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce

Prezídium spoločnosti, Československej armády 25, 974 01 Banská Bystrica, SK

člen Zväzu slovenských vedeckotechnických spoločností a EFEE

Slovak Society for Blasting and Drilling Works - member of ZSVTS and EFEE



TRHACIA TECHNIKA 2023

BLASTING TECHNIQUES 2023

Ďakujeme Vám za účasť na 32. medzinárodnej konferencii,
podporu odborného vzdelávania v oblasti legislatívy, vedy, výskumu a praxe pracovníkov
z výkonu vŕtacích a trhacích prác a prepojených odvetví.

*Thank you for participating in the 32th International Conference,
the promotion of vocational training in the field of legislation, science, research and practice
for drilling and blasting workers and related industries.*



AUSTIN POWDER



CZ

Ing. Miroslav Barbušin

7

Digitalizace ve státní báňské správě – samoobslužný portál pro oblast nakládání s výbušninami

Digitization in the state mining administration - a self-service portal for the field of handling explosives

Ondřej Čermák, Miroslav Valkovič

9

Nové trendy trhacej techniky pri vykonávaní trhacích prác

New trends in blasting technology for blasting operations

Ing. Pavel Filák, Ph.D., Ing. Roman Vala, MBA

23

Radikální, ale neviditelná změna designu našich rozbušek

A radical but invisible redesign in our detonators

Ing. Patricie Chmelařová, doc. Ing. Miloš Ferjenčík, Ph.D.

32

Jak upravit legislativu, která má předcházet výbuchu dusičnanu amonného?

How to adapt legislation to prevent ammonium nitrate explosion?

Ing. Vojtěch Kala, Ing. Ondřej Čermák, Ph.D.

40

Moderní prostředky trhací techniky

Modern blasting techniques

Ing. Vojtěch Kala, Ph.D, Ing. Maciej Kosowski, Ph.D.

46

Elektronická rozbuška E*STAR GO

Electronic detonator E*STAR GO

prof. RNDr. Zdeněk Kaláb

55

Původ pochybností při analýze vibrací v podzemním stavitelství

The origin of uncertainties in the analysis of vibrations in underground construction

Petr Kohout

65

Epiroc inovace a optimalizace vrtacího nářadí

Epiroc innovation and optimization of drilling tools

Ing. Petr Konupčík

69

Nový přístup k provádění trhacích prací

A new approach to blasting

HU

prof. dr. Géza Bohus, CSc.

79

Robbantások rendkívüli körülmények között

Trhacie práce vykonané za špeciálnych podmienok

Dr. Norbert Daruka Ph.D.

92

Necitlivé výbušniny a ich potenciálne využitie

Az érzéketlen robbanóanyag-ipari termékek és alkalmazásuk lehetőségei

Insensitive explosives products and their applications

Dr. Norbert Daruka Ph.D., László Szalkai

102

Riziká spojené s manipuláciou s výbušnínami vo vzťahu k bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci

A robbanóanyagok kezelésével kapcsolatos kockázatok a munkavédelem tekintetében,

Risk related to the handling of explosives with regard to occupational safety and health

Dr. Norbert Daruka Ph.D., Péter Szegedi Ph.D.

112

Súčasnosť a budúcnosť technológie výbušnín – možnosti vzdelávania v oblasti výbušnín v Maďarsku

A robbantástechnika jelene és jövője – robbantással kapcsolatos ismeretszerzés lehetőségei Magyarországon

The present and future of explosives technology – the possibilities of explosives education in Hungary

Imre Dioszegi

122

Aplikácia 3D tlačených predmetov vo výskume, vývoji a vzdelávaní v oblasti trhacích prác

3D nyomtatással készült tárgyak alkalmazása a robbantástechnikai kutatás-fejlesztésben

Application of 3D-printed objects in blasting research and development and education

Péter Éles

130

Testovanie munície s ocelovým jadrom

Acélmagvas lövedékő lőszer vizsgálata

Testing of steel-core projectile ammunition

Lorand Kugyela

139

Neobvyklá udalosť binárnej výbušniny

The strange case of the binary explosive

László Szalkai

148

Možnosti otvorenia dverí pomocou výbuchu v oblasti presadzovania práva

Nyílászárók robbantással történő nyitásának lehetőségei a rendvédelemben

Possibilities of opening doors with explosives in law enforcement

PL

Bartłomiej Kramarczyk, Piotr Mertuszka, Mateusz Pytlik 156

Tlaková skúška oloveného valca na stanovenie brizancie emulzných trhavín

Próba odkształcenia cylindra ołowianego do określania kruszności materiałów

wybuchowych emulsyjnych

Lead cylinder compression test for determination of brisance of emulsion explosives

A. Maranda, M. Polis, P. Košík 168

Úprava detonačnej rýchlosti banských trhavín s prídavkom hliníkového prachu

Modyfikowanie prędkości detonacji górniczych materiałów wybuchowych dodatkiem pyłu aluminiowego

Modifying the detonation velocity of mining explosives with the addition of aluminum dust

SK

Viliam Bauer 177

Technologické inovácie pri vŕtacích a trhacích prácach

Technological innovations in drilling and blasting

Viliam Bauer, Ján Lokaj, Eduard Jakubček 186

Vplyv kvality výbušnín a vŕtacích prác na životné prostredie

Impact of the quality of explosives and drilling on the environment

Ing. Arpád Lőrincz, PhD. 196

Trhacie práce na nulte lánke dobývania sadrovcovo-anhydritovej suroviny na ložisku Gemerská Hôrka

Blasting work as part of mining works on the zero bench of gypsum-anhydrite mine at the Gemerská Hôrka deposit

B. Pandula, J. Kondela, M. Konček, J. Šimo, J. Baulovič 206

Posúdenie negatívnych vplyvov trhacích prác v lomoch na vodné zdroje

Assessment of the negative effects of blasting in quarries on water resources

prof. RNDr. Blažej Pandula, CSc., doc. Mgr. Julian Kondela, Ing. Ivan Buchla, Ing. M. Konček, Ing. Hreus S. 222

Zmena parametrov záberu a rozteče odstrelu ako cesta k optimalizácii trhacích prác – prípadová štúdia lomu Včeláre a Trebejov

Changing parameters burden and spacing as a way to optimize the blasting work - a case study of Včeláre and Trebejov Open Pits

Marian Šofranko, Ján Fehér, Dávid Fehér, Jozef Čambál, Gabriel Wittenberger 239

Aktuálny stav výskumných prác na projekte MINETALC

Current status of research work on the project MINETALC

Digitalizace ve státní báňské správě – samoobslužný portál pro oblast nakládání s výbušninami

Ing. Miroslav Barbušin, Český báňský úřad v Praze

Přednáška popisuje samoobslužný portál státní báňské správy, který slouží odborné veřejnosti k podání různých žádostí, mimo jiné i v oblasti nakládání s výbušninami. Tímto způsobem lze podat např. žádost o povolení trhacích nebo ohňostrojních prací, žádost o vydání osvědčení nebo oprávnění pro zacházení s pyrotechnickými výrobky nebo pro nakládání s výbušninami. Rovněž skrz tento portál lze podat i žádosti vztahující se k obchodu s výbušninami.

The lecture describes the self-service portal of the state mining authority, which serves the professional public to submit various requests, including in the area of explosives handling. In this way, for example, an application for a permit for blasting or fireworks, an application for a certificate or authorization for handling pyrotechnic products or handling explosives can be submitted. Applications related to the trade in explosives can also be submitted through this portal.

V rámci samoobslužného portálu státní báňské správy, lze podat různé žádosti spojené např. s povolováním hornické činnosti nebo činnosti prováděnou hornickým způsobem, žádosti o vydání různých oprávnění nebo osvědčení, dále žádosti vztahující se k úložným místům těžebních odpadů.

Samostatnou skupinou formulářů na samoobslužném portálu státní báňské správy jsou žádosti nebo hlášení spojené s nakládáním s výbušninami a zacházení s pyrotechnickými výrobky:

- a) žádost o vydání oprávnění pyrotechnika, střelmistra nebo technického vedoucího odstřelu,
- b) žádost o získání osvědčení o odborné způsobilosti pro zacházení s pyrotechnickými výrobky kategorie P2 nebo T2 a F4,
- c) žádost o povolení nabývání nebo předávání výbušnin,
- d) žádost o povolení vývozu nebo dovozu výbušnin,
- e) žádost o povolení tranzitu výbušnin,
- f) žádost o povolení trhacích prací,
- g) hlášení o provedené trhací práci,
- h) pololetní hlášení k povolení pro nabývání, předávání, dovoz, vývoz a tranzit výbušnin,
- i) žádost o povolení ohňostrojních prací.

Způsoby odeslání žádosti nebo hlášení:

- a) datovou schránkou,
- b) elektronicky uznatelným podpisem,
- c) e-mailem a následným potvrzením dle správního řádu.

Výhody formulářů na samoobslužném portálu státní báňské správy

- a) vyplněné formuláře jsou odesílány přímo do e-podatelný příslušného orgánu státní báňské správy (OBÚ nebo ČBÚ),
- b) předvyplňované údaje, např. podle IČ organizace, UN čísla výbušniny, ...,
- c) možnost vložení příloh, např. povinných náležitostí žádosti,
- d) kontrola vložených údajů před odesláním – povinné položky,
- e) sleva na správním poplatku při využití elektronického formuláře.

Odkaz na portál státní báňské správy:

<https://verejnost.cbussb.cz/web/portal/formulare>

The screenshot shows the 'Formuláře' (Forms) section of the State Mining Administration (Státní báňská správa) portal. The page has a green header with the logo and a 'Hlavní stránka' button. The main content area is white and lists several forms under the heading 'Formuláře'. The forms are categorized into three groups: 'Správa dotykových prostorů' (Management of contact spaces), 'Provádění hornické činnosti/činnosti prováděné hornickým zvláštním' (Execution of mining activities/special mining activities), and 'Finanční rezervy' (Financial reserves). Each form is listed with a title and a brief description. At the bottom, there is a link to 'Nabídání a získávání odvětví a provoz dotykových míst železničních odvětví'.

Formuláře

Správa dotykových prostorů

- Žádost o zřízení dotykového prostoru hornické činnosti**
Formulář žádosti o zřízení dotykového prostoru hornické činnosti
- Žádost o přechodový plán z přechodové hornické činnosti**
Formulář žádosti o přechodový plán z přechodové hornické činnosti

Provádění hornické činnosti/činnosti prováděné hornickým zvláštním

- Žádost o povolení hornické činnosti/činnosti prováděné hornickým zvláštním**
Formulář žádosti o povolení hornické činnosti/činnosti prováděné hornickým zvláštním
- Žádost o povolení hornické činnosti/činnosti prováděné hornickým zvláštním**
Formulář žádosti o povolení hornické činnosti/činnosti prováděné hornickým zvláštním

Finanční rezervy

- Žádost o finanční rezervy hornické činnosti**
Formulář žádosti o finanční rezervy hornické činnosti
- Žádost o finanční rezervy hornické činnosti**
Formulář žádosti o finanční rezervy hornické činnosti

Nabídání a získávání odvětví a provoz dotykových míst železničních odvětví

The screenshot shows the 'Žádost o povolení nabývání nebo předávání výbušnin' (Application for permission to acquire or transfer explosives) form on the State Mining Administration (Státní báňská správa) portal. The form is titled 'Žádost o povolení nabývání nebo předávání výbušnin' and includes the logo of the State Mining Administration of the Czech Republic. The form is divided into several sections: 'Žádost' (Application), 'Druh činnosti' (Type of activity), 'Typ povolení' (Type of permit), 'Datum vyplnění povolení' (Date of completion of permit), and 'Žadatel/zmocněnec žadatele' (Applicant/Authorized representative of the applicant). Each section contains a list of checkboxes for selection.

Žádost o povolení nabývání nebo předávání výbušnin

Žádost

Druh činnosti *

- ☐ Povolení nabývání výbušnin
- ☐ Povolení předávání výbušnin

Typ povolení *

- ☐ Jednorázové
- ☐ Opakované

Datum vyplnění povolení *

Žadatel/zmocněnec žadatele

- ☐ Podatel žadatele/zmocněnec žadatele



AUSTIN POWDER

Nové trendy trhacej techniky pri vykonávaní trhacích prác.

9

New trends in blasting technology for blasting operations

Ondřej Čermák, Manažer trhacích prací pro střední Evropu, Austin Europe
Miroslav Valkovič, Vedoucí trhacích prací, Austin Powder Slovakia

10. 05. 2023



AUSTIN POWDER

ONE AUSTIN

Používaná technika a zařízení



Paradigm
blasting tools
by Recurative Theory





AUSTIN POWDER

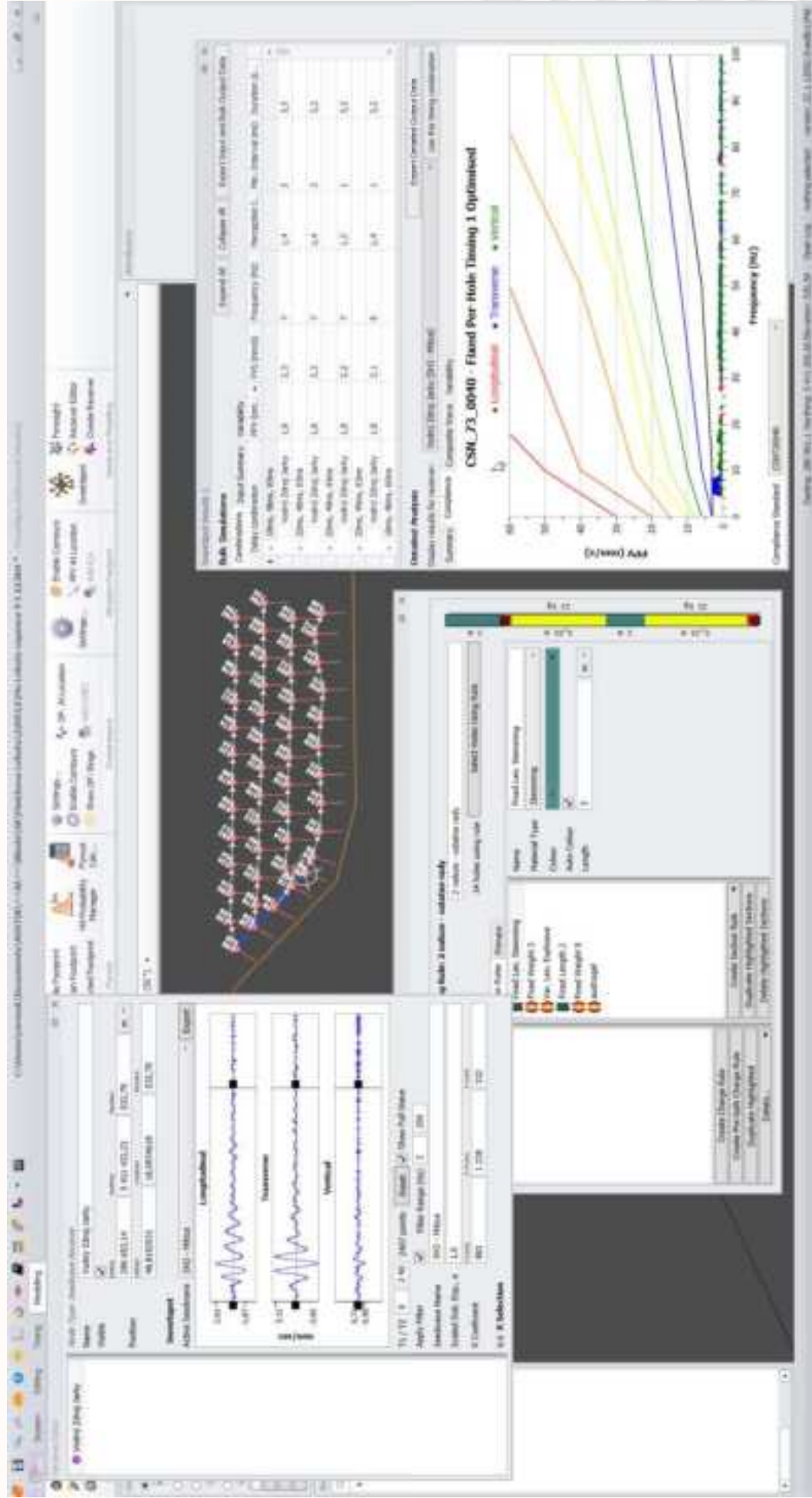
ONE AUSTIN

Mníchova Lehota





Dlouhodobě probíhá optimalizace vibrací

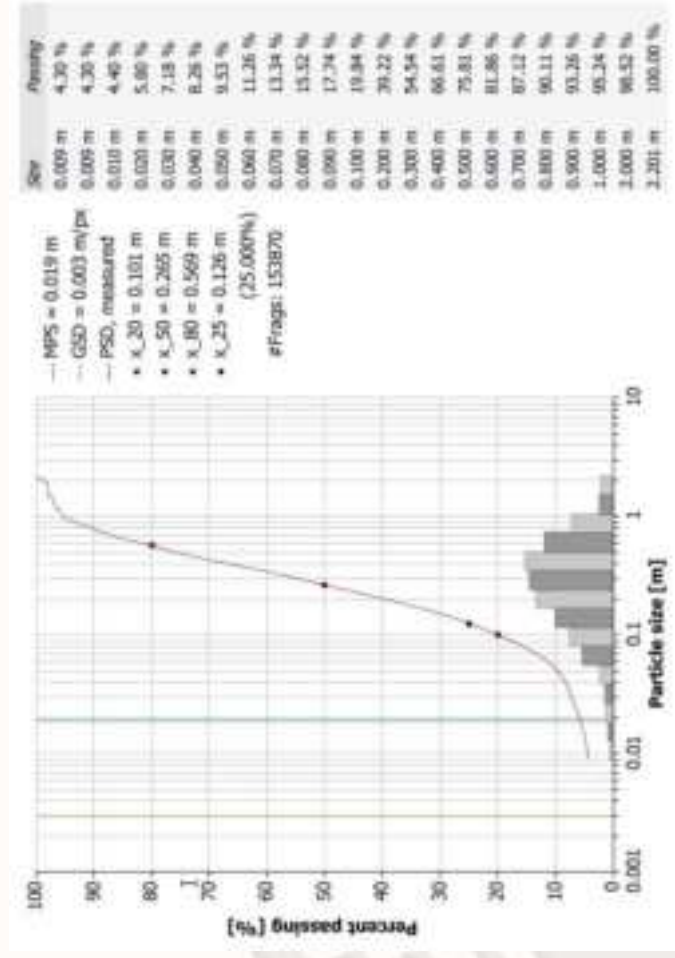
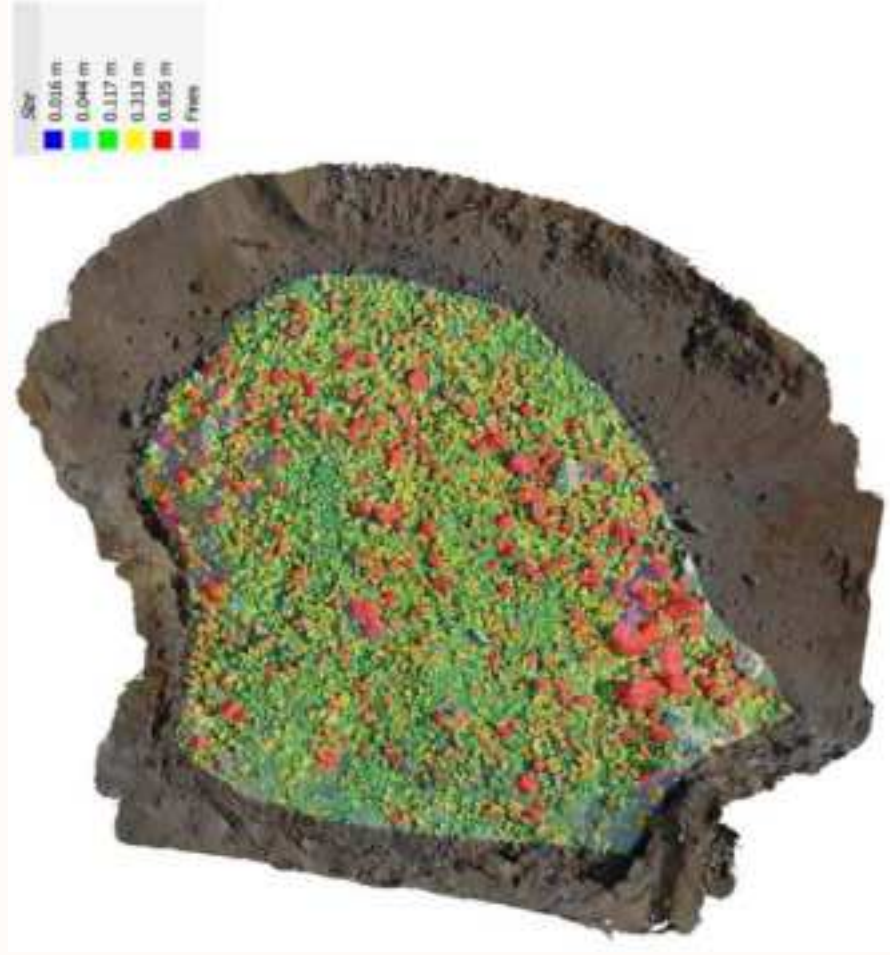


Nastaly problémy s fragmentací

- ◆ Cílením pouze na vibrace se zhoršila fragmentace
- ◆ Špatný odhoz rozvalu
- ◆ Špatná těžitelnost
- ◆ Příčina = nízká měrná spotřeba trhavin a časování nepříznivé pro dobrý odhoz materiálu



Zavedení vyhodnocení fragmentace

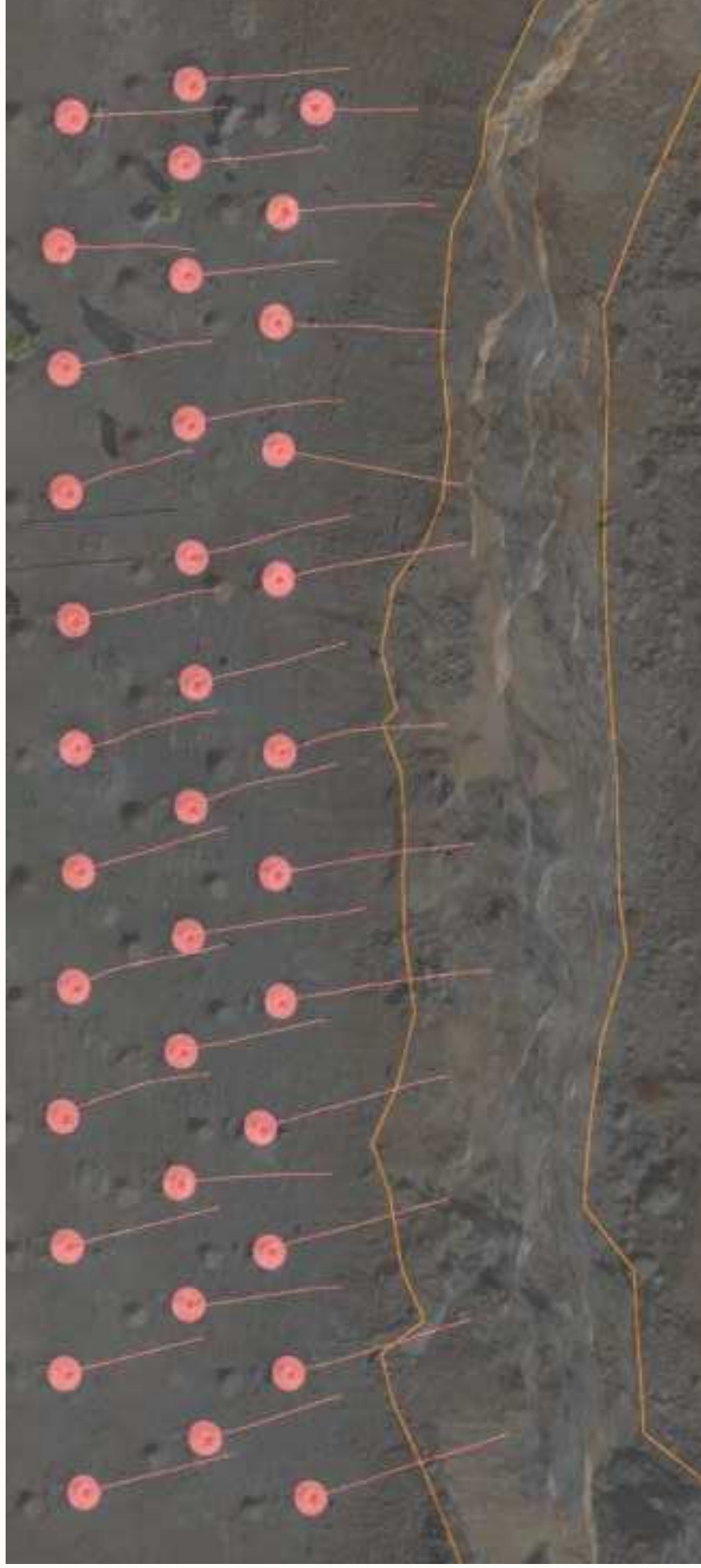




AUSTIN POWDER

ONE AUSTIN

Měření inklinometrie pro ověření kvality vrtání

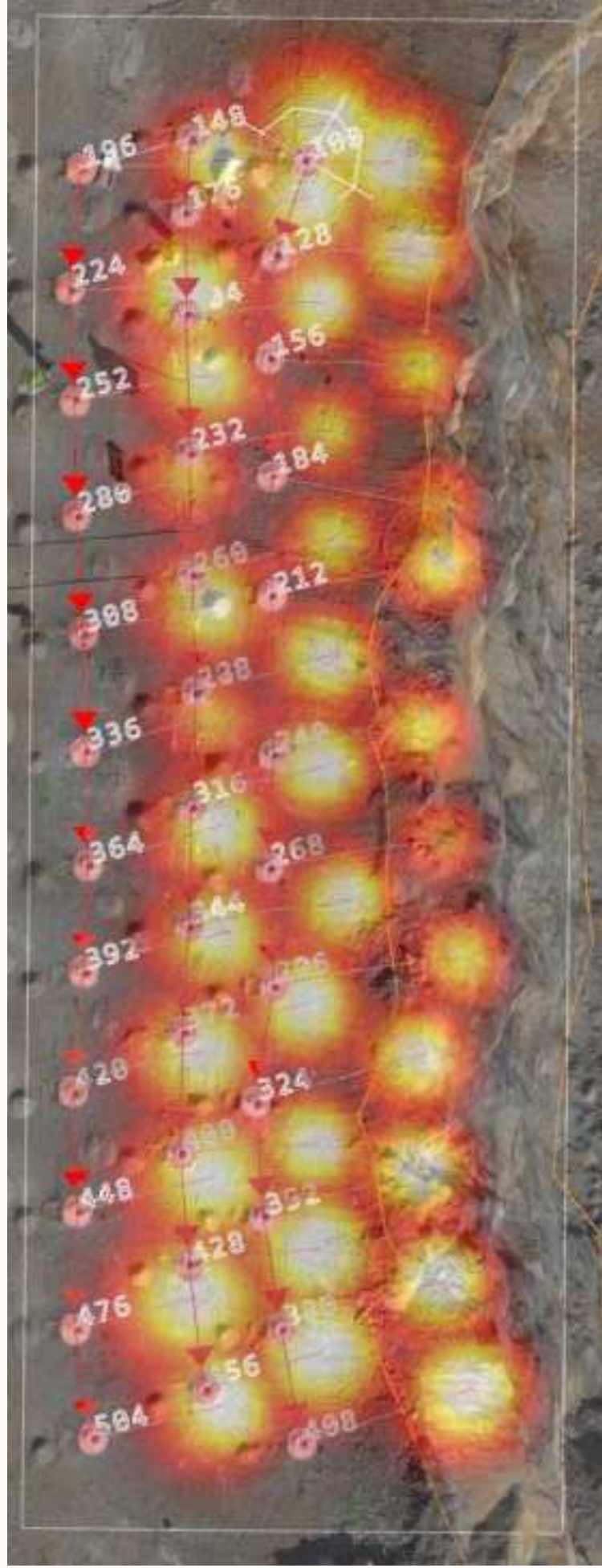




AUSTIN POWDER

ONE AUSTIN

Analýza energie v patě dle nabití a vrtání

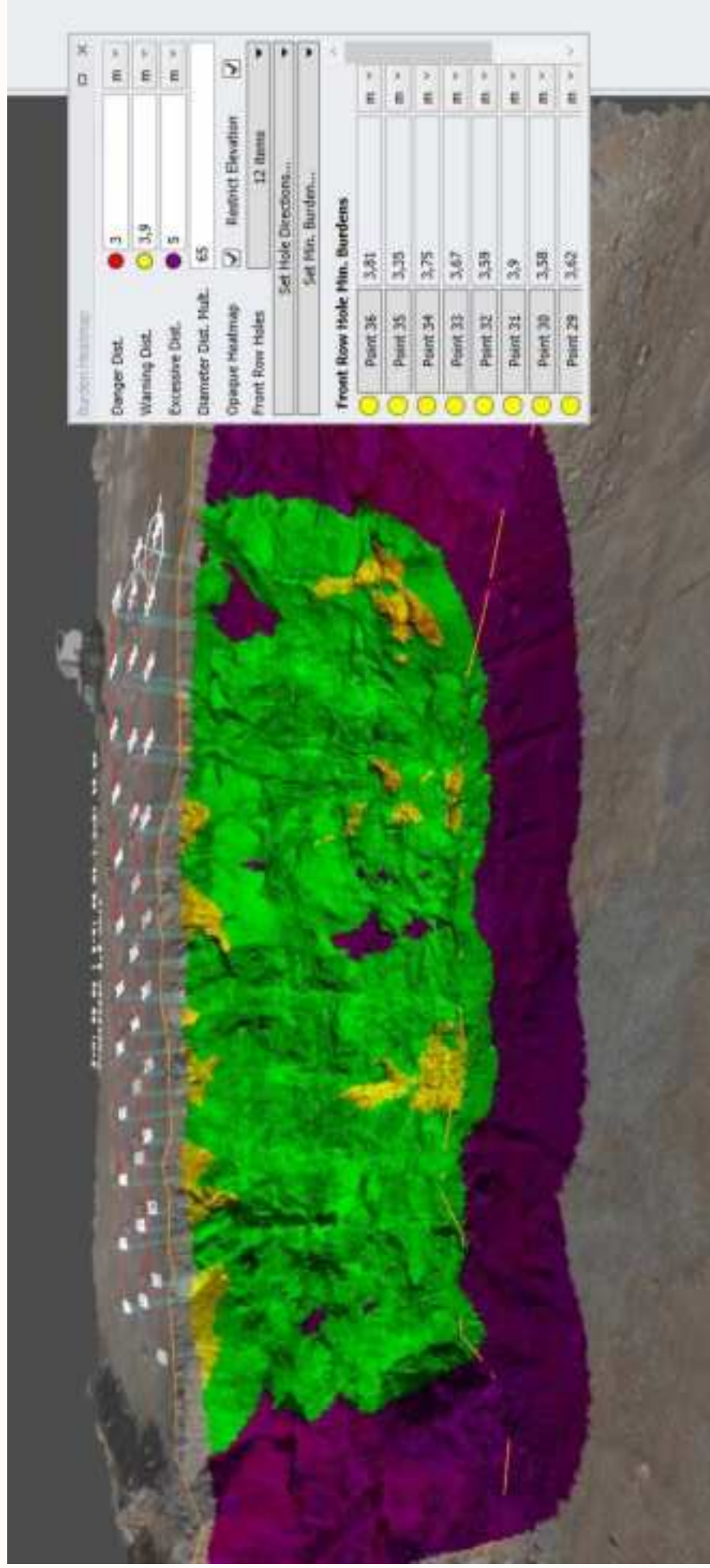




AUSTIN POWDER

ONE AUSTIN

Detailní analýza záběru první řady

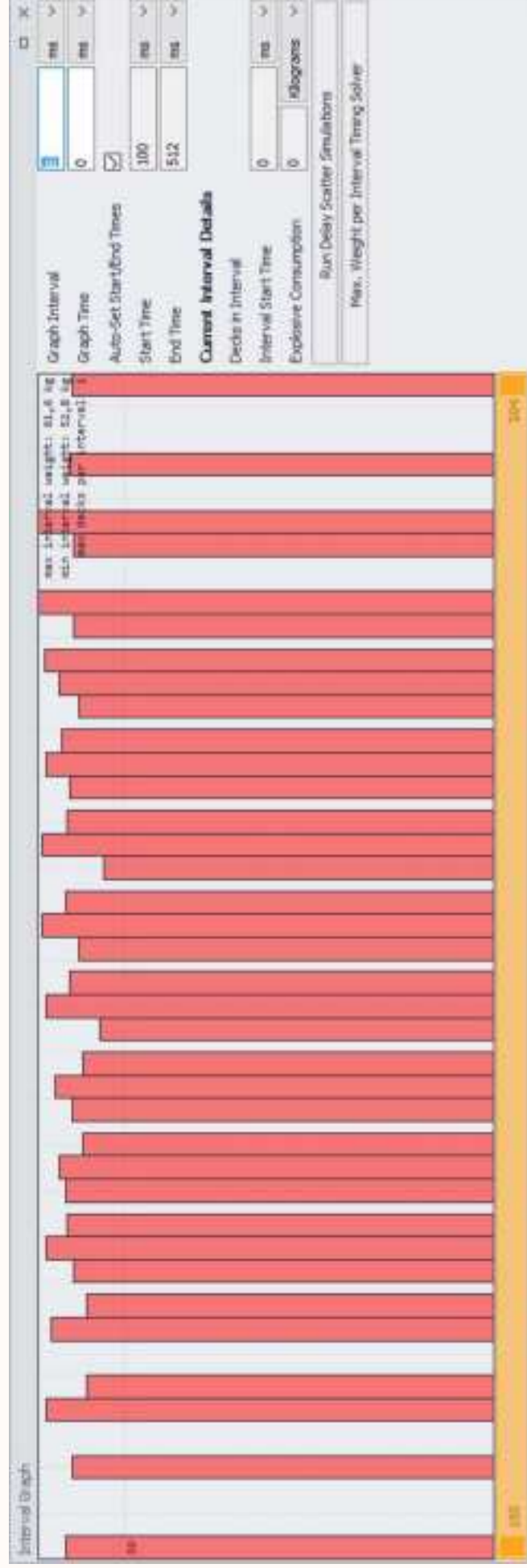


Odhad dosahu rozvalu





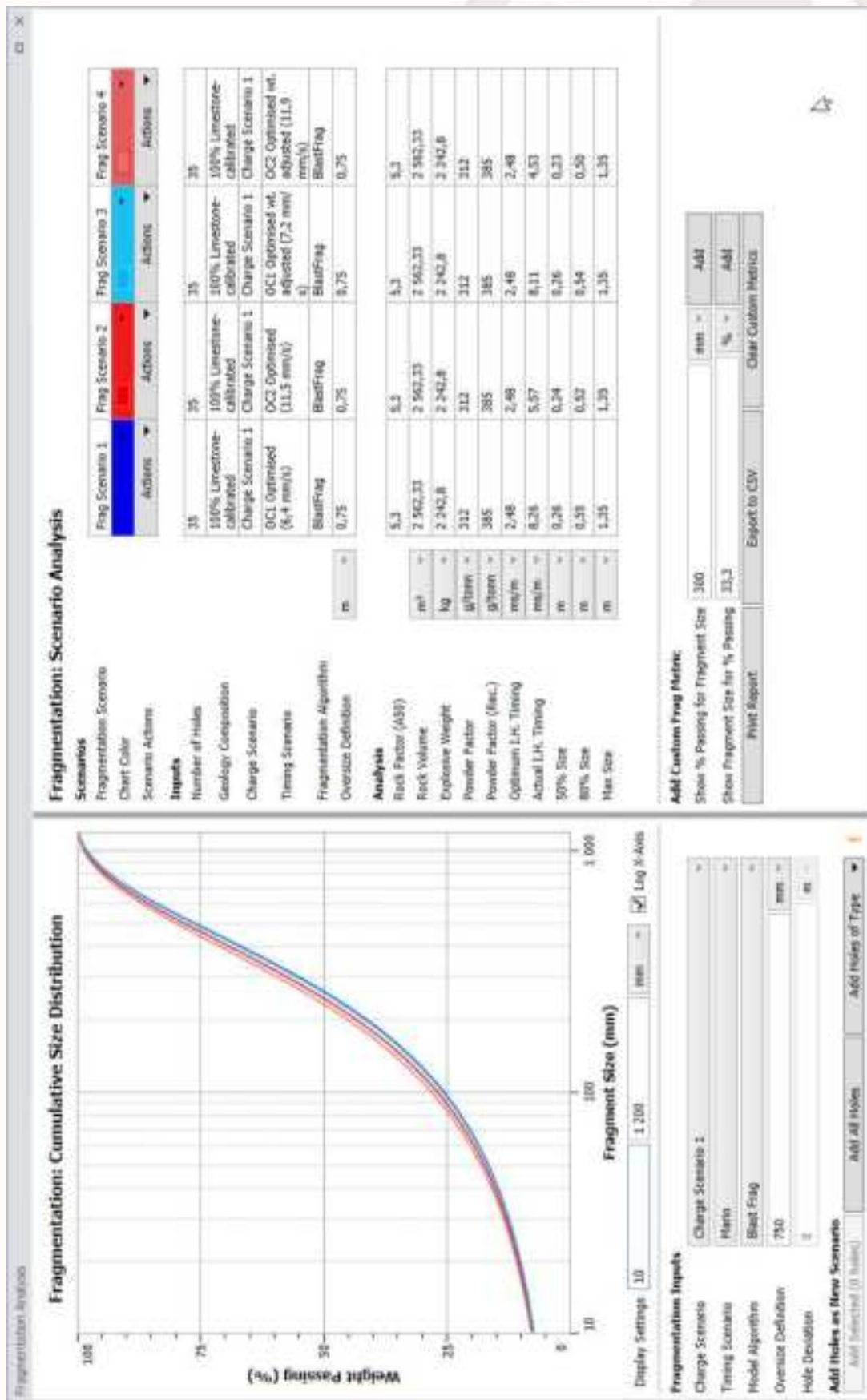
Graf spolupůsobení náloží



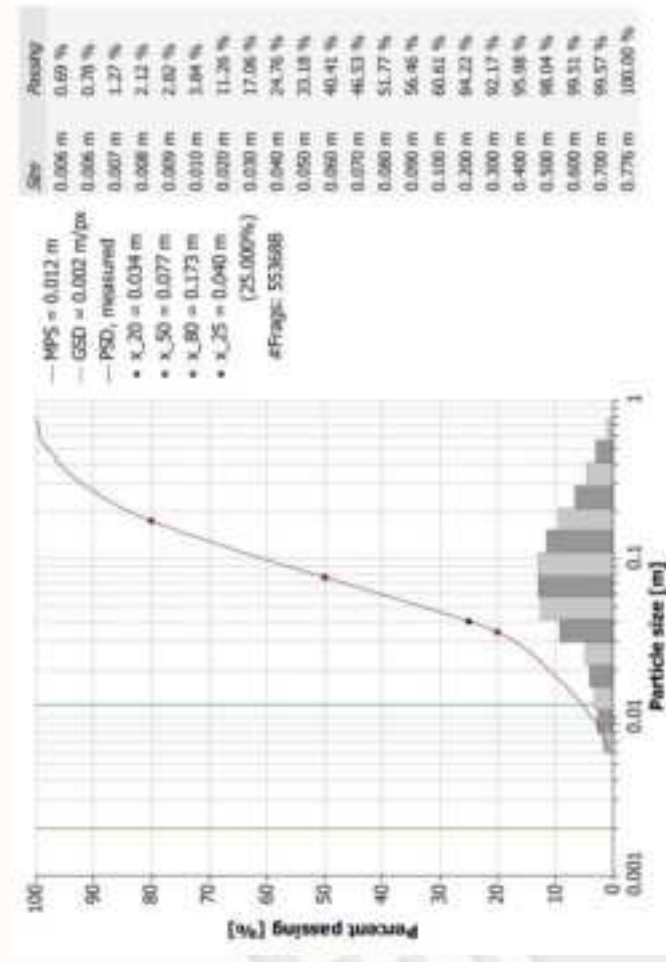
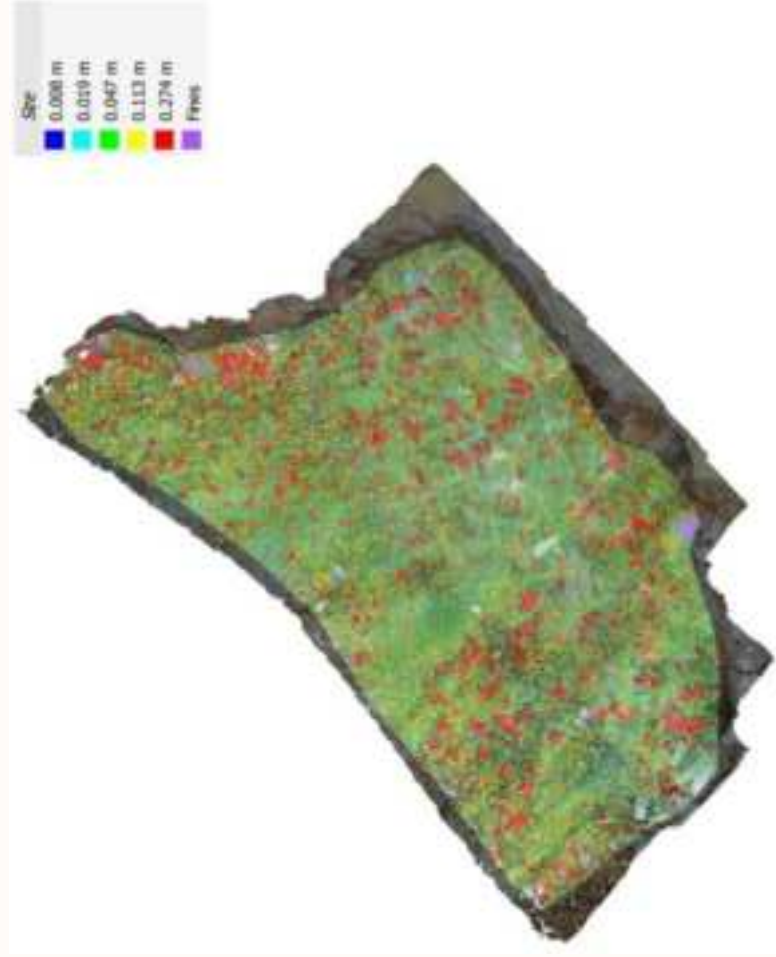
1 nálož v 8 ms



Zavedení dvojí analýzy



Vylepšená fragmentace & vibrace v limitu





AUSTIN POWDER

ONE AUSTIN

Děkuji za pozornost



AUSTIN POWDER odpovědně k životnímu prostředí

Autoři: Ing. Pavel Filák, Ph.D., Ing. Roman Vala, MBA

Abstrakt:

Radikální, ale neviditelná změna designu našich rozbušek

Austin Detonator je tradičním výrobcem přesných a spolehlivých iniciačních systémů už více než 70 let.

V minulosti byly těžké kovy neoddělitelnou součástí výroby rozbušek. Austin Detonator investoval čas i prostředky do výzkumu a vývoje náhrad těžkých kovů a tým v Austin Detonator vyvinul některé bezolovnaté komponenty. Nyní již Austin Detonator vyrábí nové, ekologicky zodpovědné rozbušky.

Abychom ochránili naše zaměstnance, používáme v našich výrobních prostorech nejmodernější automatizované stroje a bezpečnostní opatření. Taktéž chráníme životní prostředí minimalizováním spotřeby zdrojů, využíváním sofistikovaných systémů výměny čisté vody a implementací programů recyklace a opětovného použití.

Záleží nám na bezpečnosti rodin, které žijí a pracují ve městě Vsetín (ČR), kde se náš výrobní závod nachází a také na krásném přírodním prostředí v okolí města.

V nadcházejících letech plánujeme další investice do výzkumu a vývoje, protože chceme pokračovat v naší cestě k trvalé udržitelnosti a vyvíjet ekologicky zodpovědné rozbušky, které jsou v souladu s evropskými pravidly, jako jsou např. směrnice REACH, RoHS, CLP a Green Deal.

Pro společnost Austin Powder je environmentální a sociální zodpovědnost v popředí zájmu, protože se snažíme stát nejlepším výrobcem výbušnin, jak to definují vize a hodnoty naší společnosti a také naši zákazníci.

Všechno to stojí značné prostředky a také čas a energii, ale věříme, že jsme na správné cestě.

Klíčová slova: ekologicky zodpovědná rozbuška, udržitelnost, bezolovnatý produkt

AUSTIN POWDER environmentally responsible

Authors: Ing. Pavel Filák, Ph.D., Ing. Roman Vala, MBA

Abstract:

A radical but invisible redesign in our detonators

Austin Detonator has been a traditional producer of accurate and reliable initiating systems for over 70 years. Historically, heavy metals have been an integral part of manufacturing detonators. Austin Powder has invested time and resources in the R&D of heavy metals substitutions and the team at Austin Detonator have

developed some lead-free products and components and are now manufacturing new, environmentally responsible detonators in Europe.

To protect our people, our facility has cutting-edge automation and safety measures in our production facilities. We also protect the environment by minimizing resource consumption, using sophisticated clean water exchange systems and implementing recycling/reuse programs. We care about the safety of the families that live and work in the town of Vsetín (CZECH REP.), where the facility is located, and the beautiful natural surroundings of the community.

We plan to make further investments in R&D in upcoming years as we continue our sustainability journey and develop environmentally responsible detonator products that comply with European rules such as REACH, RoHS, CLP, and Green Deal directives.

For Austin Powder, environmental and social responsibility will be at the forefront as we strive to be the best explosives manufacturer, as defined by our family, our communities, and our customers for generations to come. It cost a lot of money and energy but our way is right, we believe.

Key words: environmentally responsible detonator, sustainability, lead-free product

Úvod

Jak bylo řečeno výše, společnost Austin Detonator je dlouholetým výrobcem rozbušek pro civilní použití v těžebním a dopravně-stavebním odvětví. Snažíme se naše rozbušky vyrábět velmi kvalitně a poslední dobou se do tohoto procesu stále důrazněji promítá i citlivý přístup k životnímu a pracovnímu prostředí. Uvědomujeme si, že ekologický přístup se vyplatí, a to zejména kvůli našim zaměstnancům i našim potomkům. Pozdější následky znečištěného životního prostředí už nic nezachrání. Naše společnost v minulosti vynaložila nemalé náklady na sanaci zátěže z let minulých, z tohoto důvodu je třeba jednat okamžitě a neustále. Proto jsme v posledních letech věnovali neobyčejné úsilí vývoji rozbušek bez sledovaných kovů, které by splňovaly stanovené přísné limity ze strany EU. Samozřejmě jsme nečekali na vydání těchto směrnic a sami jsme zodpovědně začali řešit ekologický dopad našich rozbušek na jejich uživatele, na lidi, kteří je vyrábějí, prostě na životní prostředí komplexně. Museli jsme přenastavit i naše myšlení a z hrozby jsme vytvořili příležitost.

Jsme Austin a není nám to jedno

Většina lidí v našem odvětví nás vnímá jako evropského a jednoho ze světových lídrů ve vývoji a výrobě rozbušek. To je sice pozitivní, ale my chceme ještě víc. Chceme, aby nás lidi z naší branže vnímali jako zodpovědného partnera, jehož rozbušky byly, jsou a budou kvalitní i nadále, i po substituci složí zelenými náhradami. V každém případě chceme být připraveni, až vstoupí v platnost jednotlivá nařízení EU (REACH, RoHS, CLP, Green Deal – viz vysvětlivky v závěru článku). Stojí nás to ohromné prostředky a nemálo vynaložené energie, ale věříme, že naši snahu uživatelé a zákazníci pochopí a budou ji vnímat pozitivně.

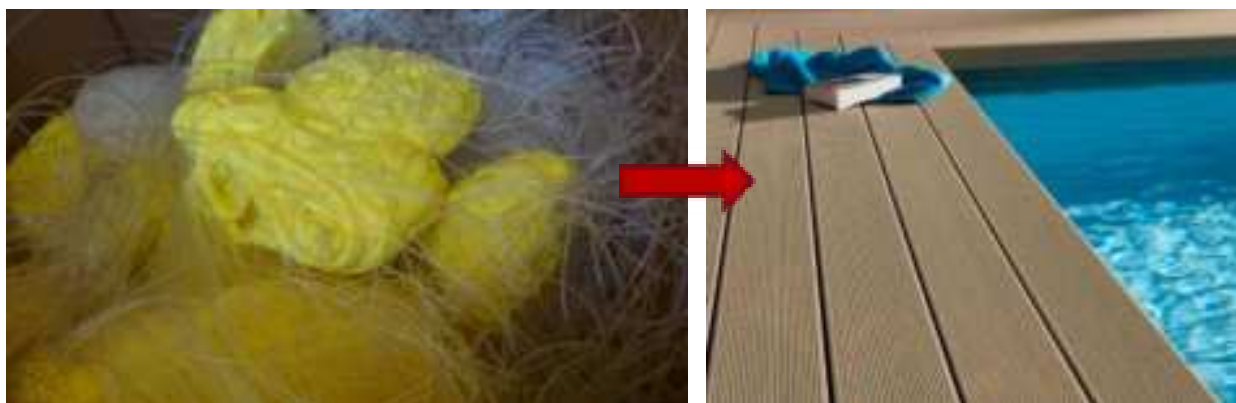
Jak to děláme

V průběhu vývoje „ekologických“ rozbušek jsme museli mnohokrát přistoupit ke změnám výrobních procedur, k nesčetným modifikacím jednotlivých produktů a ke změnám v balení i distribučním procesu.

Náš výrobní proces je sofistikovaný, využíváme v maximální míře všechny metody prevence vzniku škodlivých látek a znečištění, používáme uzavřené systémy eliminující emise a využíváme racionální vodní hospodářství s čištěním přes neutralizační stanici. Náš patentovaný proces dokáže odstranit i stopová množství výbušných látek – tento proces je popsán v referenčním dokumentu BAT (best available techniques). Naší prioritou je používání recyklovatelných materiálů ve všech procesech. Odpady, vzniklé v průběhu výroby, se snažíme využívat sekundárně (jako příklad lze uvést použití odpadního plastu, vzniklého při výrobě Shock Tube, k výrobě WPC segmentů, používaných pro výrobu teras k bazénům).



Obr. 1: Racionální vodní hospodářství



Obr. 2 a 3: Využití odpadního plastu na výrobu WPC segmentů

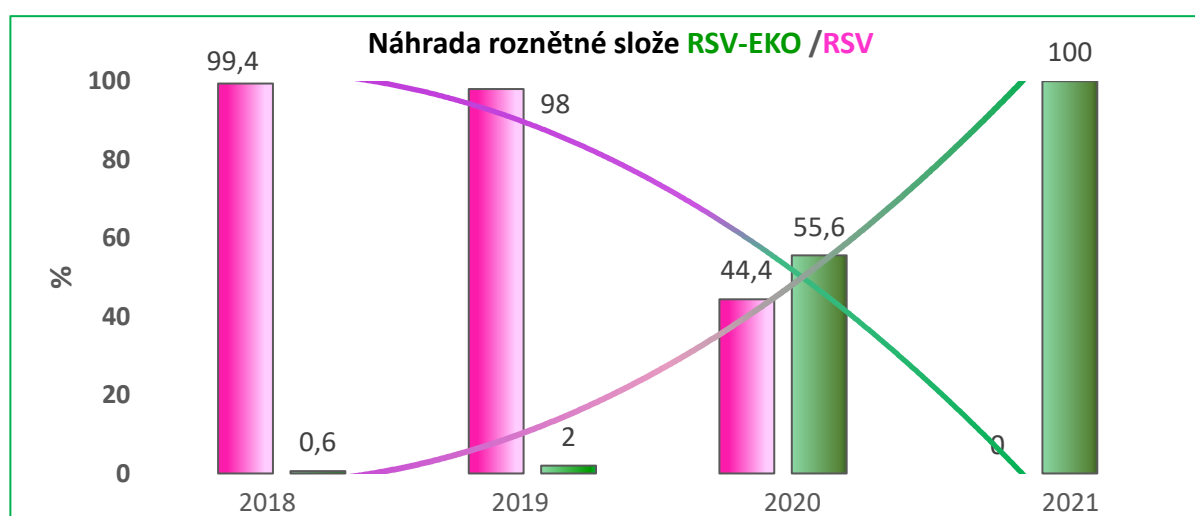
Radikální řez, který nejde vidět

UŽ na počátku hledání náhrad tradičních a léty praxe osvědčených, avšak toxických látek (zejména sloučeniny Pb a Cr^{6+}) bylo jasné, že tato cesta bude velmi nákladným během na dlouhou trať. Avšak byla a stále ještě je to obrovská výzva pro náš vývojový tým. Tento tým dokázal v rámci plnění úkolů projektu GREEN

EXPLOSIVES najít náhrady, které zaručují vysokou přesnost časování a rovněž i spolehlivost všech typů rozbušek. Substituce složí v útrokách rozbušek je zcela zásadní změna, kterou však nelze rozpoznat na jejich vzhledu. Proto se k zákazníkům a uživatelům musí dostat informace o „zelené rozbušce“ cestou marketingu.

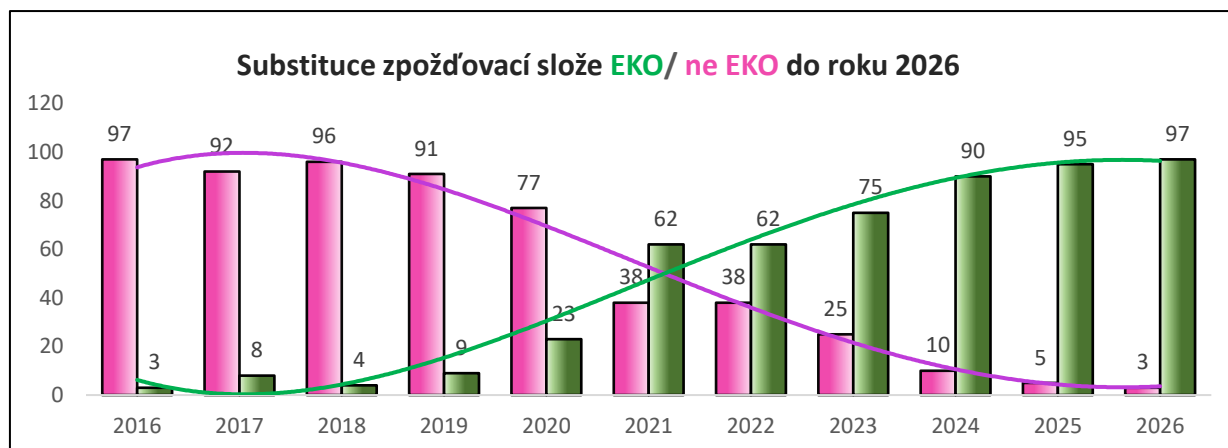
Co jsme už dokázali

Dokázali jsme se úspěšně vypořádat s náhradou zážehové složky RSV (roznětná slož výšleková) za RSV-EKO a s náhradou zpožďovacích slož pro krátce časující rozbušky (do 1000ms). Dříve používaná slož RSV obsahovala minium (oxid olovnato olovičitý, Pb_3O_4) a zirkonium, pojivem byl viton B. V EKO verzi je minium nahrazeno oxidem bismutitým (Bi_2O_3). V případě zpožďovacích slož jsme vyvinuli slož MS25 EKO a MS50 EKO, kde je ferrosilikochrom nahrazen ferrosilikozirkoniem a minium oxidem bismutitým.



Obr. 4: Substituce zážehových slož RSV-EKO/RSV (%)

Jak bylo zmíněno výše, substituce slož je dlouhodobý úkol a tak stále intenzivně pracujeme na náhradách v případě délečasujících slož (slož BAK pro rozbušky DED a DEP a např. slož LP 5000). V případě BAKových slož a i slož LP5000 je největším problémem přítomnost sledovaného chromu Cr^{6+} v chromanu barnatém. A právě nahradit chroman, který je klíčový pro dosažení nominálního časování u dlouhých zpoždění, je opravdu velký oříšek. Právě ten ilustruje, že původní



Obr. 5: Substituce zpožďovacích slož (%)

složení zpoždovacích složí nebylo jen tak ledabyly navrženo, ale mělo své opodstatnění. Tento úkol náhrady chromanu v délečasujících složí spěje konečně ke zdárnému konci a tak koncem roku 2023 bychom měli zpoždovací slož v uvedených rozbuškách bez těžkých kovů a to při zachování jejich přesnosti.

Dalším z úkolů, na kterém velmi intenzivně pracujeme, je náhrada azidu olovnatého v primární náplni rozbušek. I ten plní roli světově rozšířené třaskaviny, jejíž výroba je i přes jeho poměrně značnou citlivost k vnějším podnětům dobře zvládnuta. V oblasti třaskavin jsme si již ostatně připsali úspěch v podobě nahrazení obávaného tricinátu olovnatého, který je znám pro svou extrémní citlivost k elektrostatickému výboji. Jeho výroba byla v AD již ukončena a jeho EKO náhrada je již zavedena do sériové výroby.

Rovněž náš tým výzkumu a vývoje pokračuje v úspěšné substituci sloučenin olova v pilulích elektrických rozbušek. Nalézt odpovídající náhradu za pikraminan olovnatý nebyl snadný úkol, nicméně podařilo se a dnes Austin Detonator dokáže vyrábět pilule prosté těžkých kovů.

Neelektrický systém Shock*Star

Jak už bylo řečeno, problém substituce sloučenin olova byl vyřešen u přenosových složí a u zpoždovacích složí krátce časujících rozbušek do 1000 ms (viz tabulku níže). Na náhradách u délečasujících rozbušek intenzivně pracujeme.

Hledání náhrady azidu olovnatého v primární náplni se týká i neelektrických rozbušek, ovšem jak bylo řečeno výše, intenzivně na tom pracujeme a jsme na dobré cestě. I tak se můžeme pochlubit tím, že jsme snížili přítomnost olova o 91% v přepočtu na 1 rozbušku!

Typ	Interval (ms)	Stupeň #	Zpoždění (ms)
MS	25	0 – 20	0 – 500
	50	21 – 30	550 – 1 000

Typ	Interval (ms)	Stupeň #	Zpoždění (ms)
TS	25	0	25
	50	1 – 10	100 – 1 000
	100, 200	11 – 20	1 100 – 2 000
	500	25 – 90	2 500 – 9 000

Tab. 1: Rozbušky Shock*Star MS a TS, úspěšná substituce Pb zeleně

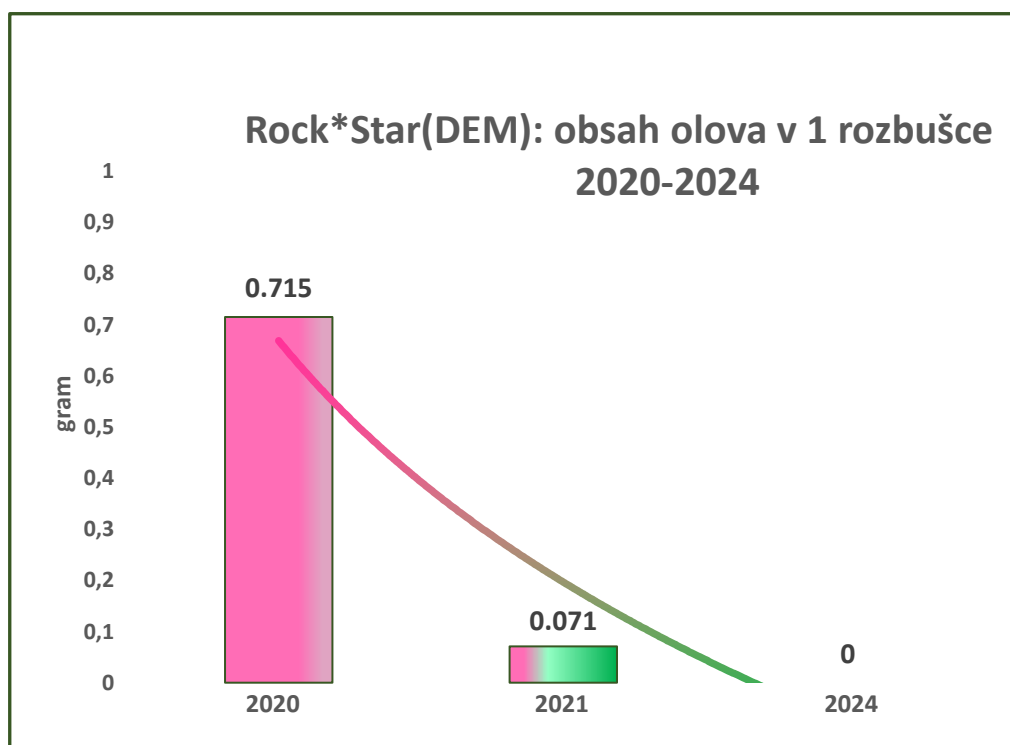
Elektrické rozbušky

Podobně jako u neelektrických rozbušek, i zde máme vyřešeny náhrady složí do 1000 ms a rovněž i substituci sloučenin olova v pilulových složích. Primárová část rozbušky je i zde nedořešeným problémem, nicméně koncem roku 2023 budou mít některé typy délečasujících elektrických rozbušek primární náplň již bez přítomnosti těžkých kovů. Stejně tak budou tyto délečasující rozbušky DED a DEP na konci roku 2023 zbaveny chromanu barnatého, obsahujícího sledovaný Cr^{6+} . V případě rozbušek DED počítáme s koncem roku 2023, v případě rozbušek DEP s rokem 2024.

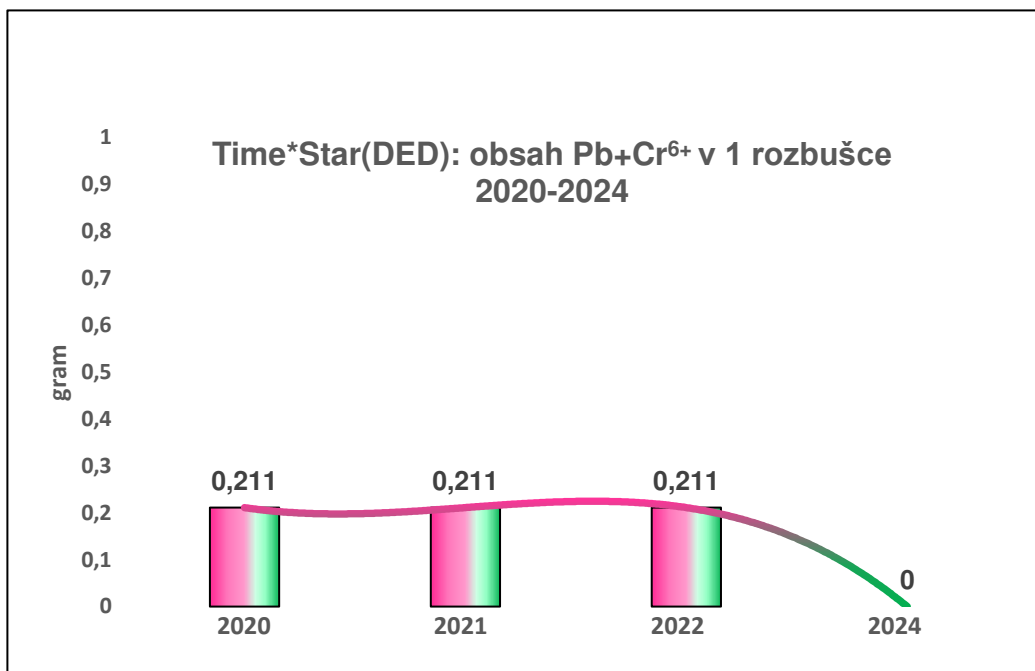
Typ	Interval (ms)	Stupeň #	Zpoždění (ms)
Rock*Star	25, 50	0 – 30	0 – 1000

Type	Interval (ms)	Delay #	Delay (ms)
Time*Star	25, 50 250,500	0 – 30 12 – 36	0 – 1000 1000 – 9000

Tab. 2: Stupně Rock*Star a Time*Star, úspěšná substituce Pb zeleně



Obr. 6: Rock*Star - redukce obsahu Pb v jedné rozbušce



Obr. 7: Time*Star - redukce obsahu Pb+Cr⁶⁺ v jedné rozbušce

Elektronický systém E*STAR

Austin se vydal cestou plné podpory elektronického iniciačního systému, který má celosvětově obrovský potenciál.

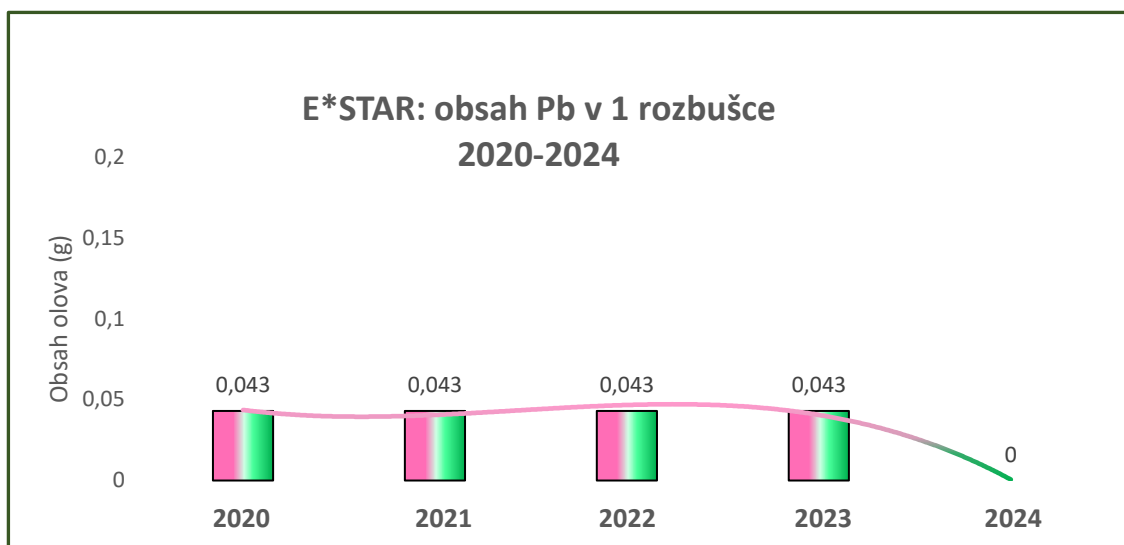
Elektronickou rozbušku E*STAR, jejíž nominální zpoždění je zajištěno elektronickým modulem, už není třeba zvlášť představovat. Jen pro pořádek – zde jsou hlavní benefity:

- nastavitelné flexibilní zpoždění 1 -20 000 ms s krokem 1 ms
- přesnost časování 0,01%
- absolutní bezpečnost
- jednoduchá logistika ve skladu
- rozbuška v souladu s RoHS

Vzhledem k tomu, že tato rozbuška neobsahuje žádné zážehové a ani zpožďovací složky, tak se jedná o téměř čistou ekologickou rozbušku. Samozřejmě je i zde primární náplň s azidem olovnatým, nicméně na základě úspěšných výsledků vývoje koncem roku 2023 garantujeme primární náplň v této rozbušce již bez přítomnosti těžkých kovů.

Dalším benefitem, zejména i pro naše zaměstnance je, že jsme odstranili olovo z výrobního procesu elektronických rozbušek – bezolovnaté pájení, bezolovnaté tištěné spoje, bezolovnatá pilule a bezolovnatý elektronický modul (EM 3.0).

Za účelem produkce elektronických rozbušek jsme v roce 2021 realizovali výstavbu nové budovy s moderní robotickou linkou, která potřebuje pro svou obsluhu výrazně méně pracovníků, přičemž jsou parametry rozbušek komplexně testovány. Důležitým benefitem nového objektu je komfortní bezprašné pracovní prostředí.



Obr. 8: E*STAR - redukce obsahu Pb+Cr⁶⁺ v jedné rozbušce

Ekonomické pozadí a cíle Austin Detonator

Jak bylo výše několikrát zmíněno, celý dlouhotrvající proces vývoje složí bez použití těžkých (resp. sledovaných) kovů je velmi nákladný. Nejen finančně, ale stojí to hodně materiálových i lidských sil. Například jen za posledních 20 let bylo v AD spuštěno 13 vývojových projektů vedoucích k nalezení „zelených“ složí. Na těchto projektech se podílela většina vývojových manažerů/designérů. Bylo nutné investovat přes 10 mil. EUR do nových technologií, staveb, patentovaných postupů a 2 mil. EUR na výzkum a vývoj. Další investice více než 5 mil. EUR budou následovat v nejbližších letech.

Austin dosáhl nesporných úspěchů ve vývoji a implementaci složí zbavených sledovaných kovů a tak můžeme hrdě oznámit strategický cíl, že naše E*STAR a OSD rozbušky budou mezi prvními, které ke konci roku 2023 již tyto kovy nebudou obsahovat. Postupně pak budou následovat všechny elektrické a neelektrické rozbušky.

Závěr

V posledních letech jsme investovali značné prostředky do vývoje pyrotechnických složí bez sledovaných kovů a rovněž i do vývoje elektronického iniciačního systému E*STAR. Proinvestovali jsme, resp. ještě budeme investovat 17 mil. eur do vývoje „zelených“ složí.

Ekologicky čistá rozbuška je jednou z našich nejvyšších priorit a my všichni v AD cítíme, že to má smysl. Máme radost, že se menšími či většími krůčky posouváme vpřed a že Vás můžeme čas od času informovat o našich úspěších na tomto poli.

Nařízení zmíněná v textu:

REACH

REGULATION (EC) No 1907/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC

CLP

Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006.

ROHS

DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

GREEN DEAL

The European Green Deal is a set of policy initiatives by the European Commission with the overarching aim of making Europe climate neutral in 2050. An impact assessed plan will also be presented to increase the EU's greenhouse gas emission reductions target for 2030 to at least 50% and towards 55% compared to 1990.

Autor: Ing. Patricie Chmelařová, doc. Ing. Miloš Ferjenčík, Ph.D.

Jak upravit legislativu, která má předcházet výbuchům dusičnanu amonného?

How to adapt legislation to prevent ammonium nitrate explosions?

Abstrakt

Za posledních sto let došlo k mnoha nehodám, při kterých detonoval dusičnan amonný. Jednou z posledních byl např. výbuch v přístavu v Bejrútu v roce 2020. Tyto nehody s menšími či většími následky měly mnoho společného, především to, že jejich příčiny nebyly doposud jasně popsány a vysvětleny. Ani za poslední desítky let s obecným zlepšením bezpečnosti práce a procesů nedošlo ke snížení počtu nehod s dusičnanem amonným na akceptovatelné minimum. Jedním z problémů může být i legislativa, která by měla takovým nehodám předcházet. Při jejím podrobnějším zkoumání lze najít nesourodost mezi jednotlivými nařízeními nejen z důvodu, že není založená na průkazných testech přechodu dusičnanu amonného do detonace. Jediné, co bylo doposud potvrzeno s jistotou je fakt, že nehodám, při kterých došlo k detonaci dusičnanu amonného, předcházel požár. Z tohoto tvrzení vychází stanovisko, že požární bezpečnost je klíč k prevenci výbuchů dusičnanu amonného. Souhrnem přednášky je nástin doporučení, o které by se následná legislativa prevence nehod s dusičnanem měla opírat, dokud nebudou známy novější poznatky ohledně přechodu dusičnanu amonného k detonaci.

Abstract

Over the last hundred years, there have been many accidents involving the detonation of ammonium nitrate. For example, one of the most recent was the explosion in the port of Beirut in 2020. These accidents with minor or major consequences had many things in common, mainly that their causes have not been clearly described and explained so far. Even with general improvements in workplace and process safety over the past decades, the number of ammonium nitrate accidents has not been reduced to an acceptable minimum. One of the problems may be the legislation that should prevent such accidents. When examining it in more detail, inconsistencies can be found between the various regulations, not least because it is not based on conclusive tests of the transition of ammonium nitrate to detonation. The only thing that has been confirmed with certainty so far is the fact that accidents involving ammonium nitrate detonation were preceded by fire. From this assertion, the opinion is that fire safety is the key to preventing ammonium nitrate explosions. The lecture summary outlines the recommendations that should underpin subsequent legislation for preventing nitrate accidents until more recent knowledge of the transition of ammonium nitrate to detonation is known.

Úvod do historie výbuchů dusičnanu amonného

Dusičnan amonný NH_4NO_3 , dále jen AN (Ammonium Nitrate) je bílá krystalická látka rozpustná ve vodě. Jde z něj velmi snadno připravit levné a komerčně využívané trhaviny. AN jako jedna ze složek směsných trhavin je velmi silně hygroskopický, absorbuje rychle vzdušnou vlhkost a spéká se. Obecně se dusičnan amonný dělí dle použití na AN pro hnojiva nebo pro výrobu výbušnin. Pro výrobu tzv. FGAN (Fertilizer Grade AN) se používá granulovaný AN s vysokou hustotou, porézní granulovaný AN s nízkou hustotou je obecně považován za technický dusičnan amonný TGAN (Technical Grade AN) nebo výbušný dusičnan amonný, který se používá při výrobě výbušnin. Chemicky jsou však tyto granule totožné; rozdíl je v tom, že se do FGAN přidávají malá množství povlaků a stabilizátorů, aby se zabránilo spékání a degradaci a TGAN je poréznější. [1]

V historii došlo k mnoha nehodám s AN, který byl transportován nebo skladován ve formě jak FGAN, tak i TGAN. Většinu těchto nehod spojuje fakt, že detonaci AN předcházela nevládnutý požár v okolí. Takové katastrofy způsobené rozsáhlými detonacemi dusičnanu amonného vyvolanými během požáru jsou dobře známé. V následující tabulce jsou popsány jen některé příklady nehod, kdy došlo k rozsáhlejším detonacím AN se závažnými následky na okolí a ztrátami na lidských životech. Mimo to došlo i k nehodám s ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) neboli DAP (dusičnan amonný + palivo).

Tabulka 1: Seznam vybraných nehod z minulosti, kdy došlo k explozi materiálu s AN.

Datum	Místo	Zařízení	Udávaná příčina
26.7.1921	Kriewald, Německo (dnes Polsko)	Vlakový vagón	Uvolnění ztvrdlého AN pomocí trhavin [2]
21.9. 1921	Oppau, Německo	Sklad	Použití trhavin na uvolnění směsi AN se síranem amonným [3]
16.4. 1947	Texas City, USA	Lodě	Požár [4]
28.7. 1947	Brest, Francie	Lod'	Požár [5]
27.12. 1961	Norton, USA	Sklad	Požár [5]
30.8.1972	Taroom, Austrálie	Kamion	Požár [4]
21.9.2001	Toulouse, Francie	Sklad	Neznámá [4][5]
9.3. 2004	Barracas, Španělsko	Kamion	Požár [5]
24.5.2004	Mihailesti, Rumunsko	Kamion	Požár [7]
17.4.2013	West, USA	Sklad	Požár [8]
5.9.2014	Charleville, Austrálie	Kamion	Požár [4][5]
12.8.2015	Tianjin, Čína	Sklad	Požár [4]
4.8.2020	Beirut, Libanon	Sklad	Požár [9]

Výbuchy pevného materiálu obsahující AN patří mezi závažné průmyslové havárie. Tabulka 1 uvádí pouze vybrané nehody s explozemi AN, ke kterým došlo v posledních sto letech. K uvedeným detonacím AN došlo jak při přepravě, tak během skladování. Mezi nejčastější příčiny se řadí právě požár, který většině nehod předcházela. Mezi vybrané nehody také patří události, kdy byl materiál obsahující AN odstřelován trhavinami. Od této manipulace se již upustilo. Za dosud nezjištěných příčin detonoval AN v Toulouse v roce 2001, mezi možné teoretické příčiny se řadí nekompatibilní materiál či teroristický útok.

Současná klasifikace a legislativa dusičnanu amonného

Předchozí tabulka uvádí příklady událostí, kdy došlo k výbuchu materiálu obsahujícího AN. Podle doporučení OSN pro přepravu nebezpečných věcí [11] je AN klasifikován jako oxidační činidlo třídy 5.1 a dělí se dále dle UN čísel: 1942 (AN s obsahem do 0,2 % hořlavých látek), 2067 (hnojivo na bázi AN) a 3375 (emulze, gel nebo suspenze). Při hledání příčin nehod s detonací AN jsou zajímavé nehody, kdy detonující materiál měl právě tyto klasifikace AN. Příklady z minulosti ukázaly, že ačkoliv je samotný AN klasifikován pouze jako oxidační činidlo, je schopný hromadného výbuchu.

To, že by AN mohl ve větších objemech detonovat vedlo v klasifikaci nebezpečných materiálů dle OSN ve Třídě 1 Výbušnin k definici Divize 1.5: „Velmi necitlivé látky, u kterých hrozí nebezpečí hromadného výbuchu. Tato divize slučuje látky, u kterých hrozí nebezpečí hromadného výbuchu, ale které jsou tak necitlivé, že pravděpodobnost iniciace nebo přechodu z hoření do detonace za normálních podmínek je velmi nízká. [11] Testy vytvořené k rozhodnutí, zda je látka dostatečně necitlivá na to, aby mohla být klasifikována jako Divize 1.5, jsou popsány v OSN manuálu pro testování v části Test series 5.15, kde jsou uvedeny i příklady výsledků testu. [12] Patří mezi ně shock test pro stanovení citlivosti látky na silný mechanický podnět, teplotní testy pro stanovení schopnosti přechodu z deflagrace do detonace a test na stanovení, zda látka ve větším množství vybuchne, pokud je vystavena ohni. Je nutné si uvědomit, že do této divize se řadí látky dle testování na svou necitlivost. Pokud je tedy daný materiál citlivější, znamená to pouze to, že se dle manuálu OSN neklasifikuje jako látka s nebezpečím hromadného výbuchu, ale výsledky testování dále nehovoří o výbušnosti a další klasifikaci daného materiálu obsahující AN.

V Evropské legislativě platí aktuálně směrnice Evropského parlamentu Seveso III, která dusičnan amonný klasifikuje do 4 tříd s uvedenými limitními množstvími pro zařazení objektů do skupin:

- 5000/10000 tun: hnojiva schopná samovolnému rozkladu dle zkoušky „Trough test“ OSN;
- 1250/5000 tun: jakost pro hnojiva, obsah AN více než 24,5 % nebo 15,75 % u směsí AN a síran amonný;
- 350/2500 tun: technický AN + vodné roztoky AN nad 80% koncentrací;
- 10/50 tun: materiál „off-spec“ (blíže neurčený), vyřazený materiál a hnojiva, která neprojdou zkouškou výbušnosti. [13]

Seveso III rozlišuje tedy hnojiva s AN schopná samovolného rozkladu dle zkoušky „Trough test“, která je popsána v OSN manuálu v části III. Tato zkouška slouží k prokázání, zda hnojivo obsahující AN je schopné samovolného exotermického rozkladu či nikoliv a klasifikuje tato hnojiva s AN do transportní třídy 9 (různé nebezpečné látky a předměty). Diskutabilní ovšem je, že Trough testem projdou směsi s určitým podílem AN a s chloridy, které by dle klasifikace neměly podléhat samovolnému rozkladu. Toto tvrzení ale velmi těžko koresponduje s tvrzením autorů odborných článků, že chloridy urychlují samovolný rozklad a přechod do detonace AN i přesto, že zde jsou

uvedeny směsi hnojiv a ne čistého AN. Dle např. [14] má AN sklon k samovolnému rozkladu zvláště v některých složených anorganických hnojivech typu NPK (dusík, fosfor, draslík), zejména hnojivech obsahujících chlor. Ta se mohou samovolně zahřívat a iniciovat formu doutnání známou jako „cigar-burning“.

Pro porovnání lze uvést legislativu zahrnující AN platnou v USA. Téma ukotvení prevence výbuchů AN v amerických zákonech přitáhlo pozornost především po výbuchu skladu ve Westu v Texasu v roce 2013. Ve Spojených státech je kontrola bezpečnosti na pracovištích rozdělena. Federální agentura OSHA je přímo zodpovědná za bezpečnost a ochranu zdraví na pracovišti na celostátní úrovni. Místní subjekty (státy, okresy a města) však mohou uzákonit a prosadit stavební a požární předpisy. Dle [8]: „ve Westu v době zmíněné nehody neexistoval žádný stavební ani požární předpis týkající se AN. Otázkou je, jestli by požární předpis nehodě ve Westu zabránil, neboť pochopení rizik AN a přijetí vhodných bezpečnostních opatření vyžaduje značné odborné znalosti a nelze je očekávat od úřední moci menšího města. Zároveň specifickým dokumentem, o který se americké zákony opíraly při kontrole bezpečnostních rizik AN, byla norma NFPA 400, která je svým obsahem nedostatečná pro tyto účely.“ Po nehodě ve Westu byla vydána nová verze NFPA 400, která ale stále neobsahuje náležitosti pro snížení rizika detonace AN. Norma NFPA například nevyžaduje, aby byly zásobníky vyrobeny z nehořlavých materiálů, také nemá požadavky na instalaci požárních systémů či alarmů. [8] To je v přímém protikladu s faktem, že většině nehod zahrnujících detonaci materiálu s AN předcházela požár, stejně jako tomu bylo i v případě nehody ve Westu.

Cílem předchozího shrnutí nebylo kritizovat a bagatelizovat zákony a nařízení, které se v současné době vážou k prevenci výbuchů AN, ale poukázat na problematiku nekonzistentnosti takových nařízení a absenci pevných a jasných faktů, ze kterých by taková nařízení měly vycházet. Většina prevence se soustředí na omezení tzv. konfigurací AN, tedy ovlivnitelných parametrů jako je obsah AN v materiálu či obsah dusíku, přítomnost a množství přidaných látek a kontaminantů, přítomnost a síla utěsnění AN a tvar či průměr objemu materiálu. Problém ovšem je, že doposud nebylo provedeno úspěšné testování detonace AN za takových podmínek, abychom byli schopni říct, že za určitého nastavení konfigurací či parametrů k detonaci AN během skladování či přepravě nedojde. Legislativa prevence AN výbuchů obecně nevychází ze znalosti otestovaného a popsání způsobu, jakým AN přechází do detonace. Proto je na místě diskuze, zda tento přístup k prevenci nehod s AN nepřehodnotit, a vycházet při tvorbě nařízení vztahující se k AN z jiných a více známých faktů.

Parametry ovlivňující detonaci AN

Prokázanými příměsemi, které urychlují rozklad AN a mohou tak stát v pozadí příčin některých nehod, jsou organické uhlíkaté látky sloužící jako palivo pro oxidační schopnosti AN. Toho se využívá k výrobě trhavin ANFO, taková směs poté dosahuje i lepších detonačních parametrů než samotný AN. [16] V době cca před druhou světovou válkou se k zamezení spékání AN používal voskový povlak v obsahu kolem 0,8–1 %. Vosk je ale organická látka, a tak kombinace paliva a oxidačního činidla vedla k nechtěným oxidačním reakcím. Nebezpečí této reakce vyšla najevo například i v roce 1947, kdy explodovaly lodě GrandCamp a HighFlyer, které převážely voskem potažený AN. Následně výrobci přešli na povlaky s organickým obsahem pod 0,2 %, což se považuje za limit, pod kterým nedochází k oxidačním reakcím. [8][9] Sloučeniny s organickým uhlíkem je tedy třeba oddělit od skladovaného či převáženého AN tak, aby během kontaktu s ním při požáru nedošlo k dalším oxidačním reakcím. Toto doporučení se objevuje i v legislativě například v britském nařízení HSE. [17]

Dalšími komponenty negativně ovlivňující rozklad AN jsou chloridy. [18] Chloridy v příměsi v AN zvyšují teplotu rozkladu zároveň urychlují samoohřev a urychlují nárůst celkového tlaku. Destabilizační účinek na AN mají také některé kovy: Cr, Fe, Al a Cu snižují teplotu rozkladu, a urychlují rozklad tím, že směs okyselují a tím destabilizují AN. [19] Speciálním případem je utvoření komplexu aminu mědi TACN při kontaktu mědi a AN za zvýšené teploty, kdy tato sloučenina je nestabilní a citlivá na náraz tření a teplo. Bylo dokázáno, že v přítomnosti TACN a silného utěsnění je možné spustit detonaci AN. TACN by tedy mohl být v některých případech součástí příčin nehod s detonací AN, zvláště pokud mohlo dojít k jeho utěsnění např. zatečením roztaveného AN do uzavřeného prostoru. [20] U jiných nehod např. u nehody s AN v Bejrútu v roce 2020, se naopak diskutuje o přítomnosti chloru z mořské vody jako o jedné z možných příčin detonace AN. U dalších nehod se mimo jiné diskutuje o příspěvku možné přítomnosti paliva k detonaci AN a k nehodě.

Jednoznačně popsané mechanismy přechodu do detonace včetně přispívajících příčin ale žádná z nehod uvedených jako příklady v Tabulce 1 nemá. Kontaminanty, jakými jsou kovy, halogenidy a palivo jsou všechno jen látky, u kterých je prokázáno, že pozitivně ovlivňují tepelný rozklad AN a detonaci, ovšem jejich konkrétní role sehraená v nehodách známých z minulosti nebyla nikdy uspokojivě popsána.

Problematika testování AN

Testováním detonace AN ve větším měřítku se zabývalo více prací, velmi často citovaná práce [21] pochází již z 60. let, kdy v reakci na několik nehod s AN v USA provedli vědci mnoho testů s granulovaným (prilloyvaným) a drceným AN a směsí s palivy na stanovení detonovatelnosti AN. Výsledky těchto testů jsou takové, že se podařilo ohněm iniciovat AN smíchaný s palivem, ale samotný AN v ohni během testů nedetonoval ani za vysokého tlaku (tisíce kPa). Detonace plynu, např. stechiometrického množství směsi acetyleny a kyslíku taktéž neiniciovala detonaci AN. Autorům se ale podařilo spustit detonaci v horkém AN (260 °C) při nárazu projektilu ze zbraně. [21] Toto zjištění potvrzuje nárůst citlivosti roztaveného AN, který se jeví jako další možný přispěvatel k příčinám detonace AN během požáru, kdy např. existuje teorie, že detonaci AN v Bejrútu zapříčinil pád jednoho z pytlů s AN z hromady či proud hasící vody dopadající do louže roztaveného AN na zemi. [9]

Testování výbušnosti AN ve větších vzorcích jako jsou nálože AN nad 1 kg, nejlépe však od 1 t a výše pro simulování nehod s převáženým či skladovaným větším množstvím AN se jeví jako problémové. Překážkou není jen cena většího množství materiálu, ale především legislativa a zajištění prostor pro testování takového množství materiálu, u kterého se očekává detonace. Většinou se látky a směsi nepodrobují testování rizik v rozsahu, v jakém budou připravovány a skladovány. Taková látka může například projít testy v Test series 1 v manuálu OSN [12] (testy na stanovení, zda je daná látka výbušná), ale přesto může být schopná detonace v množství větším, než je množství požadované pro toto testování v manuálu OSN. Zatímco malý vzorek dané látky lze považovat za bezpečný, ve větším množství může být taková látka schopná detonace kvůli např. neschopnosti vzorku o větším objemu účinně odvádět teplo. Takže i přesto, že nejlepším způsobem, jak určit, zda je jedna tuna materiálu schopna detonace, je otestovat tuto jednu tunu materiálu na detonaci, tento přístup není praktický, ekonomický ani bezpečný. Proto v poslední době neproběhlo a zatím ani neprobíhá žádné testování AN ve větším měřítku a snaha autorů se spíše soustředí na testování AN v malých měřítkách s úmyslem výsledky poté extrapolovat na větší množství materiálu. Otázkou je pouze relevantnost takových výsledků. [16]

Smutnou pravdou tedy je, že se doposud nepodařilo nasimulovat úspěšnou detonaci AN za stejných podmínek, během kterých došlo k detonaci AN při nehodách z minulosti. I když všem nehodám uvedených v Tabulce 1 předcházela nevládnutý požár, nepodařilo se stále testováním AN iniciovat k detonaci při kontaktu s ohněm. Faktem zůstává, že stále není znám přesný popis a způsob přechodu AN do detonace, a legislativa založená na konfiguracích výše popsaných parametrů nemůže tedy spolehlivě a dostatečně předcházet dalším nehodám s výbuchy AN.

Požární bezpečnost jako cesta k prevenci výbuchů AN

Uvedené příklady nehod v Tabulce 1 lze pomyslně rozdělit do skupin, ke kterým se vážou některé z jejich možných příčin. První skupinou jsou nehody, kdy detonaci AN předcházela detonace průmyslové trhaviny či jiné komerční výbušiny. Takovými nehodami byly například detonace AN v Oppau nebo v Kriewaldu v roce 1921. Po těchto zkušenostech bylo upuštěno od užívání trhavin k odstřelování ztvrdlého AN. Druhou skupinu tvoří detonace AN, na kterých se, jak se domníváme, podílely organické příměsi. Od 50. let se proto začalo omezovat přidávání vosku a jiných organických látek na úpravu AN pouze do obsahu 0,2 %, kdy nedochází k nechtěným oxidačním reakcím. Důvodem této změny byly právě požáry a detonace AN, který byl takto povrchově upraven nejčastěji voskem. Příklad nehody je detonace AN na lodích GrandCamp a HighFlyer v roce 1947. Poslední skupinu nehod představují detonace AN s nízkým obsahem organických příměsí, jímž předcházela nekontrolovatelný požár. Ať už požár vznikl jakkoliv, v takových případech došlo při kontaktu AN s ohněm s časovým odstupem k jeho detonaci.

Je tedy paradoxem, že se stoupající bezpečností práce a výroby AN, nehody s detonací dusičnanu při skladování a přepravě doposud přetrvávají. Jak bylo řečeno výše, legislativa a bezpečnostní nařízení tím pádem nejsou dostatečná, když se nepodařilo snížit počet nehod s detonací AN ani za posledních 20 let.

Jak bylo uvedeno dříve, většině detonací AN předcházela nekontrolovaný požár. Podstata nebezpečí spočívá v tom, že ve skladovacích nebo dopravních zařízeních může vypuknout nekontrolovaný požár, způsobit detonaci skladovaného AN a vést k rozsáhlým škodám a ztrátám na životech. Vzhledem k tomu lze řešení snadno odvodit. Hlavním požadavkem na bezpečné skladování musí být použití nehořlavých materiálů ve skladovacím zařízení a v jeho blízkosti nesmí být skladován žádný hořlavý nebo výbušný materiál. Pro zajištění bezpečné manipulace je třeba těmto požárům zabránit následujícími opatřeními:

- Skladování veškerého AN v budovách s nehořlavou konstrukcí. To zahrnuje omezení používání hořlavých materiálů zásobníků nebo přepážek skladovací místnosti např. dřeva či plastu.
- Oddělení AN od jiných skladovaných či převážených hořlavých materiálů, tak, aby nebyly umístěny ve stejné budově nebo ve stejném vozidle. To se týká zejména přístavních skladů a logistických společností, která nakládají s AN a s dalšími různými materiály.
- Zavedení automatického požárního sprinklerového systému.
- Instalace požárního poplachového systému monitorovaného hasičskou stanicí. Vozidla převážející AN vybavit automatickou detekcí požáru a signalizací požárních poplachů. Použití účinného hašení a vybavit je navíc automatickým hasicím systémem v motorovém prostoru.
- Omezení výskytů jímek, odtokových kanálů a jiných prvků, kde by se mohl shromažďovat roztavený AN a kde by mohlo dojít k jeho utěsnění.

Zavedení protipožární ochrany (automatické sprinklery apod.) není přijatelnou náhradou za použití nevhodného stavebního materiálu nebo směsných materiálů, které by neměly být skladovány společně. [15][5]

Samotná prevence požáru u skladovaného či převáženého AN pomocí nařízení ohledně konstrukce a vybavení skladu není jediným důležitým prvkem prevence pro zabránění nechtěných výbuchů AN. Pro efektivnost je důležité, aby informace o tom, že AN může detonovat, pokud se vyskytne v ohni, byla předána všem, kteří s AN nakládají jako např. řidiči kamionu převážející AN či pracovníci skladu, kde se AN nachází. Pro tyto pracovníky je informace zásadní z toho pohledu, že mohou zabránit následkům ztrátách na životech, pokud k explozi AN dojde. Mohou zachránit nejen svůj život, ale i život ostatních lidí nacházející se v okolí díky včasné evakuaci. Např. v roce 2004 v Mihailesti v Rumunsku exploze převáženého AN zabila 20 lidí, a to jen kvůli tomu, že se okolo hořícího kamionu před výbuchem shromáždili televizní reportéři a ostatní řidiči projíždějící kolem. V takovém případě, pokud by řidič věděl, že AN je schopný v ohni detonovat, mohl by se zasloužit o evakuaci lidí z okolí.

Nedílnou součástí povědomí o tom, že AN může v ohni detonovat, je i správný výcvik a školení hasičů. Ti by v první řadě měli mít informaci o nebezpečí výbuchu AN během požáru, a sami se tak nevystavovat nebezpečí, že dojde k explozi, pokud zrovna budou v blízkosti AN hasit požár. Zároveň by také zamezili ostatním lidem k přístupu k požáru, ve kterém se nachází AN. Důležitá je tedy mimo zmíněné podmínky prevence výbuchů AN v ohni i připravenost a kvalifikace hasičů zasahujících u požáru s AN. Předchozí body opatření je tedy vhodné dále doplnit o následující:

- Provedení školení hasičů ohledně povědomí o nebezpečí výbuchu AN v ohni. Připravenost na evakuaci lidí z okolí.
- Zabránění přístupu ostatním lidem k požáru AN.
- Doručení kompletní informace o nebezpečí detonace AN během požáru všem pracovníkům, kteří s AN nakládají nebo se v jeho blízkosti pracovně vyskytují.

Závěr

V průběhu posledních sto let došlo k mnoha nehodám s AN, na jejichž základě jsou po světě k dispozici různé a rozsáhlé bezpečnostní pokyny reagující na tyto události. Katastrofické nehody v nedávné době, jako např. výbuch v Bejrútu, však zdůrazňují potřebu důslednějších bezpečnostních postupů v celém dodavatelském řetězci AN.

Že je legislativa v mnoha případech nekonzistentní a nedostatečná, vychází z nejasných výsledků, které doposud testování AN přineslo. Efekt určitého utěsnění, kontaktu s palivem či jinými látkami na detonaci většího množství AN byl prokázán, ale není upřesněné, zda to jsou již všechny okolnosti, které nepříznivě působí na rozklad AN a jakou měrou stojí za přechodem do detonace.

Pro snížení četnosti nehod, kdy dojde k detonaci AN během požáru, by měla být nastavena a dodržována bezpečnostní nařízení se zaměřením na odstranění hlavních mechanismů, které v minulosti přispěly k nehodám. Aktuálně by se nařízení měla vztahovat k prevenci vzniku požáru, dokud nebude přechod AN do detonace lépe popsán a otestován. Na základě dalšího testování, které by přineslo konkrétnější výsledky by se i legislativní nařízení mohla zpřesnit a doplnit.

Použité zdroje informací:

- [1] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board: INVESTIGATION REPORT: West Fertilizer 2013.
- [2] Scott G. S., Grant, R. L. Ammonium Nitrate: Its Properties and Fire and Explosion Hazards. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines 1948.
- [3] Lees F. P. Loss Prevention in the Process Industries. 2nd edition 1996, Volume 2. STORAGE: 22.29.3 Ammonium nitrate.
- [4] Wikipedia, List of ammonium nitrate disasters.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ammonium_nitrate_disasters#cite_note-9
- [5] Boeck L.R., Mahan P.W. Loss prevention learnings from Beirut and similar ammonium nitrate explosions. Process Safety Progress. 2022, 41(2), 276-282. doi:10.1002/prs.12322
- [6] November 1988: Six KC Firefighters Killed in Ammonium Nitrate Explosion. Firehouse, 1. 11. 2008. (Online)
<https://www.firehouse.com/rescue/article/10495115/november-1988-six-kc-firefighters-killed-in-ammonium-nitrate-explosion>
- [7] Khwayyir H.H.S., Maria G., Dinculescu D. Simulation of the consequences of the ammonium nitrate explosion following the truck accident next to mihăilești village (Romania) in 2004, Chemical and Biochemical Engineering Quarterly. 2021, Volume 34, Issue 4, 277 – 287.
- [8] Babrauskas V. The ammonium nitrate explosion at West, Texas: A disaster that could have been avoided. Fire and Materials. 2018, 42, 164–172. <https://doi.org/10.1002/fam.2468>
- [9] Pisman H. J., Fouchier C., Park S., Quddus N., Laboureur D. Beirut ammonium nitrate explosion: Are not we really learning anything? Proc Safety Prog. 2020, 39.
- [10] At least 13 killed after immense explosion rocks western Ghana. The Guardian, 22. 1. 2022. (Online)
<https://www.theguardian.com/world/2022/jan/20/ghana-explosion-apiate-mining-vehicle>
- [11] United Nations. Recommendations on the transport of dangerous goods. Model Regulations, 2019c, Volume I, 21st ed.
- [12] United Nations. Manual of Tests and Criteria. 2019b. Seventh Revised ed. ST/SG/AC.10/11/Rev.7.
- [13] European Union. Závažné havárie s přítomností nebezpečných chemických látek. EUR-Lex. Acces to European Union law. 2018. [Cit. 8.11.2021] Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121215>
- [14] Babrauskas V, Leggett D. Thermal decomposition of ammonium nitrate. Fire and Materials. 2020, 44, 250-268. <https://doi.org/10.1002/fam.2797>
- [15] Babrauskas V. Fire safety is the key to ammonium nitrate explosion safety. Proc Safety Prog. 2020, 39, e12200. <https://doi.org/10.1002/prs.12200>
- [16] Oxley J. C., Smith J. L., Rogers E., Yu M. Ammonium nitrate: thermal stability and explosivity modifiers. Thermochimica Acta. 2002, 384, 23–45.
- [17] Health and Safety Executive. STORING AND HANDLING AMMONIUM NITRATE. 1986.
- [18] Xia R., Wang J., Han Z., Li Z., Mannan M. S., Wilhite B. Mechanism study of ammonium nitrate decomposition with chloride impurity using experimental and molecular simulation approach. Journal of Hazardous Materials. 2019, 378. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.068>
- [19] Zukas J. A., Walters W. P. Explosive Effects and Applications. Springer. 1998, ISBN 0-387-98201-9
- [20] Künzel M., Vodochodský O., Matyáš R., Jalový Z., Pachman J., Maixner J. Tetraamminecopper (II) Nitrate and Its Effects on Ammonium Nitrate (V). Cent. Eur. J. Energ. Mater. 2017, 14(1), 169-183. doi: 10.22211/cejem/67469
- [21] Van Dolah R.W., Mason C.M., Perzak F. J. P., Hay J. E., Forshey D.R. Explosion Hazards of Ammonium Nitrate Under Fire Exposure. U.S. Dept. of the Interior Bureau of Mines. 1966, RI 6773. <http://hdl.handle.net/2027/mdp.39015078513630>

Název přednášky: Moderní prostředky trhací techniky
Autoři: Ing. Vojtěch Kala, Ing. Ondřej Čermák, Ph.D.

Name of the presentation: Modern blasting techniques
Authors: Ing. Vojtěch Kala, Ing. Ondřej Čermák, Ph.D.

Abstrakt:

Prostředky a metody trhací techniky se neustále vyvíjejí a zejména v posledních letech došlo k výraznému nárůstu nových trendů. Přednáška pojednává o nových softwarových i hardwarových vybavení, sloužící k usnadnění práce při provádění trhacích prací nebo ke zlepšování výsledků a zajištění bezpečnosti při provádění trhacích prací.

Klíčová slova:

Trhací práce, Optimalizace trhacích prací, E*STAR, Paradigm, Quarry

Abstract:

Modern blasting techniques are in continuous development and especially in last years a huge increase of new trends has appeared. Papers are describing new software and hardware tools which are useful to provide easier to handle, better and safer blasting.

Keywords:

Blasting, Blasting optimization, E*STAR, Paradigm, Quarry

Úvod

Pokrok nezastaví! Toto „klišé“ se týká všeho, tedy i trhacích prací. V poslední době přinesl nástup nových technologií výrazné ulehčení naší práce zejména z pohledu přípravy, plánování, analýzy a také vyhodnocení provedených odstřelů. Odstřely lze plánovat na realistickém 3D modelu, v poli pak plán přenést prostřednictvím přesných GPS jednotek, porovnat plán a reálné vrtné schéma, a následně využít poznatky při tvorbě nejvhodnějšího časování. Opětovné vypracování 3D modelu po odstřelu nám dává možnost optimalizovat následné odstřely – zátrhy, stabilita stěny atd. Stejně tak můžeme analyzovat fragmentaci rozvalu. Několik možností z hlediska hardwaru i softwaru jsou představeny v tomto článku.

Přípravné práce

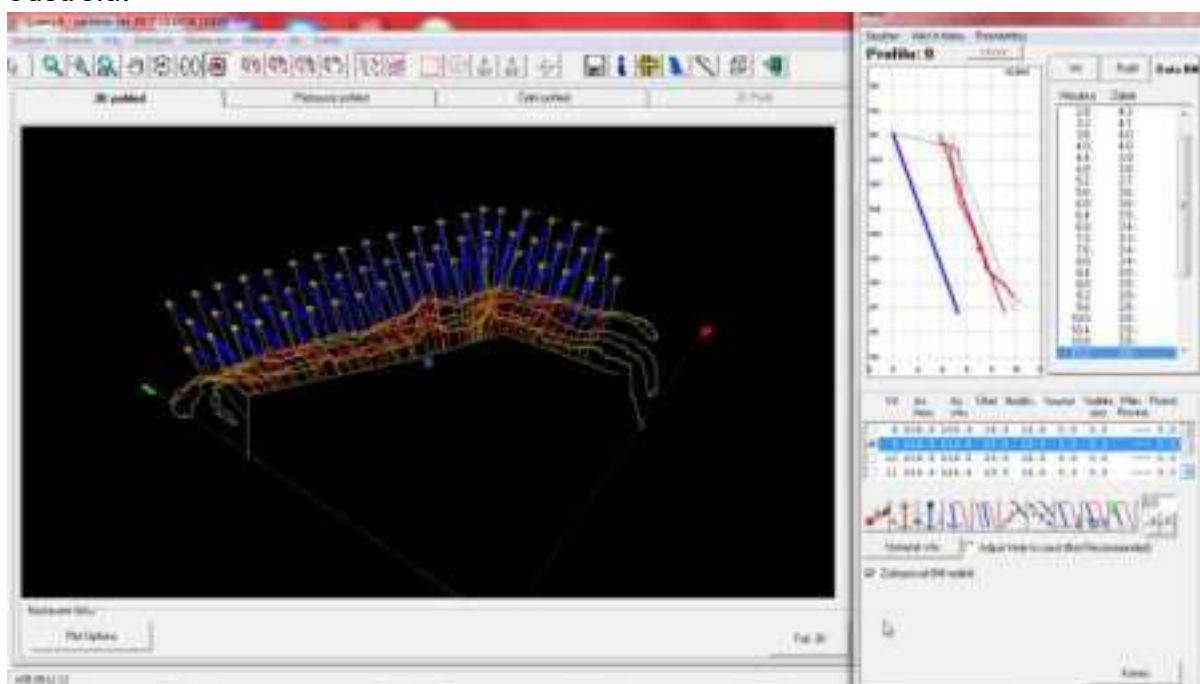
K zaměření odstřelů se již nejběžněji využívají totální stanice, které na rozdíl od klasických teodolitů, kde se odečítaly hodnoty z latě, samy vyhodnocují a ukládají

souřadnice jednotlivých měřených bodů na základě zjištění vlastní polohy od fixního záměrného bodu. Tyto stanice jsou schopny měřit jednotlivé body samostatně anebo ve skupinách, čímž je možné vytvořit linii bodů, která např. zaznamená profil volné stěny. Jako příklad můžeme uvést totální stanici Topcon OS 105 s vnitřním programem Easy Quarry, která ukládá souřadnice do datového souboru vhodného pro následné zpracování softwarem Quarry.



Totální stanice Topcon OS 105

V softwaru Quarry 6 nebo Quarry X je možné ze získaných souřadnic vytvořit vrtné schéma. V místě zaměřených bodů lze promítnout vrty s jejich uvažovanými parametry a ihned znázornit řez daného vrtu. Parametry vrtu lze pak měnit tak, aby vyhovoval potřebám připravovaného odstřelu. V Quarry X lze připravit i časování odstřelu.



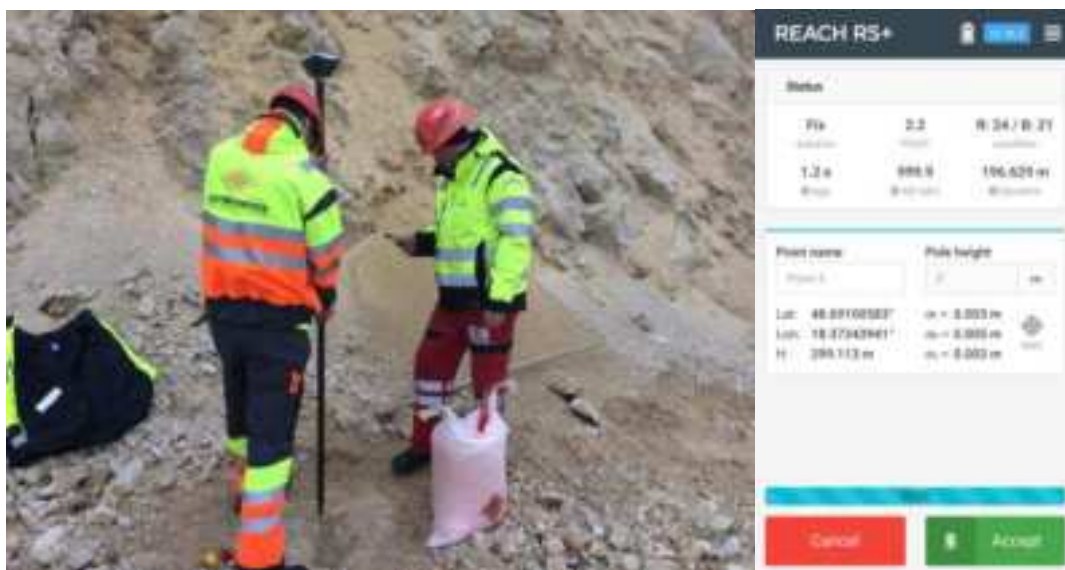
Odstřel v lomu Čachtice (SK), 3. etáž v softwaru Quarry 6

Alternativním způsobem zaměření stěny, který je využíván například v USA, je tzv. 3D fotogrammetrie využívající snímků z Dronu. Pomocí specializovaného programu jsou snímky sestaveny ve 3D model. Pokud jsou snímky navíc opatřeny referenčními body zaměřenými v souřadnicích GPS, je možné 3D model umístit přesně na mapu, zkombinovat se záměrou plánovaných vrtů pomocí totální stanice, případně záměrou provedenou pomocí GPS jednotky. Následný postup je identický s postupem v programu Quarry, kdy jsou sklony vrtů a další parametry upravovány v jednotlivých řezech tak, aby odpovídaly požadavkům na prováděnou trhací práci. Pouze je využit software, který zvládá použití 3D modelu.

Ať již je metoda tvorby vrtného deníku jakákoli, výstupem ze všech programů jsou informace pro vrtaře, podle kterých jsou vrty na místě plánovaného odstřelu vytyčeny a vrtař poté provede jejich vyvrtání.

Nebaví vás vytyčovat vrtařům vrty nebo se vám stává, že zašlete vrtné schéma vrtařům a výsledné vrty nejsou tam, kde by měly být? Výstupem z dnešních programů může být vrtné schéma s přesně danými souřadnicemi vrtů. Toto schéma je možno „nahrát“ do vrtací soupravy, která je opatřena GPS jednotkou a vrtací souprava pak přesně navádí vrtaře na plánované místo vrtu. A domněnka, že přesnost GPS není dostatečná je mylná. Dnes už se dostáváme na přesnost jednotek cm.

I přes všechny vymoženosti dnešních moderních vrtacích souprav se může stát, že vrtání není vždy optimální – vrty jsou na jiných místech, geologické podmínky způsobily změnu jejich úklonu, případně nejsou vyvrtány vůbec. Tyto faktory mohou nepříznivě ovlivnit výsledek trhacích prací především v tom případě, že se jedná o problémovou lokalitu, v níž je potřeba omezovat seismické účinky z trhacích prací, nebo hlídat kusovitost rozpojeného materiálu na patřičné úrovni. Je tedy nezbytné znát přesně i podmínky před samotným nabíjením a na jejich základě upravovat parametry odstřelu. Záměra vrtů před nabíjením je samozřejmostí. Opět je možné využít totální stanice, nebo GPS jednotky, jako je např. EMLID GPS, pokud se jedná o místo, které je špatně dostupné nebo není možné se vhodně postavit před stěnu. Systém EMLID funguje na principu propojení dvou jednotek, kdy jedna je jako stacionární stanice, která vysílá zpřesňující koordináty do mobilní jednotky, jenž je využívána buďto pro zaznamenání souřadnic vrtů, nebo čehokoli jiného potřebného. Takto zpřesněné souřadnice jsou s odchylkou desetin centimetru. Tohoto systému je možno využít i k prvotní záměře vytyčených vrtů, a to ze stejných důvodů, které již byly popsány. V takovém případě nezískáme profil stěny, s tím je však možné si poradit pomocí dronu a fotogrammetrie.



Měření pozice vrtů pomocí GPS jednotky EMLID v lomu Hradište (SK)

Pozice vrtů jsme získali, ale co jejich sklon a průběh? Boretracking, neboli inklinometrie není novým pojmem, avšak technologie pro získání přesných měření opět pokročila. S využitím aktuálního technického řešení, např. Pulsar Borehole Probe, je možné získat přesný průmět vrtu, vložit jej např. do programu Quarry a zjistit, jak se pohnul záběr a zda je potřeba upravit nabíjecí plán.

Optimalizace trhacích prací

Veškerá získaná data při projektování odstřelu je možno využít pro analýzu a optimalizaci odstřelu. Na to již existuje několik speciálních softwarů. Jedním takovým je Paradigm, pomocí něhož lze u připravovaného odstřelu předpovědět, jaký vliv má změna parametru odstřelu na výslednou fragmentaci, rozlet a problémy v záběru první řady. Také je možné upravit časování tak, aby odpovídalo požadavkům povolení TP, nebo jej optimalizovat do té míry, aby došlo k co největšímu snížení seismických účinků z TP případně neoptimálnější fragmentaci. Díky přesně zaměřeným souřadnicím vývrtů není nutné využívat fixních časů zpoždění mezi vývrty, ale být více flexibilní a využít přesně ty časy v ms/m, které zaručí ten nejbezpečnější a nejlepší výsledek TP.

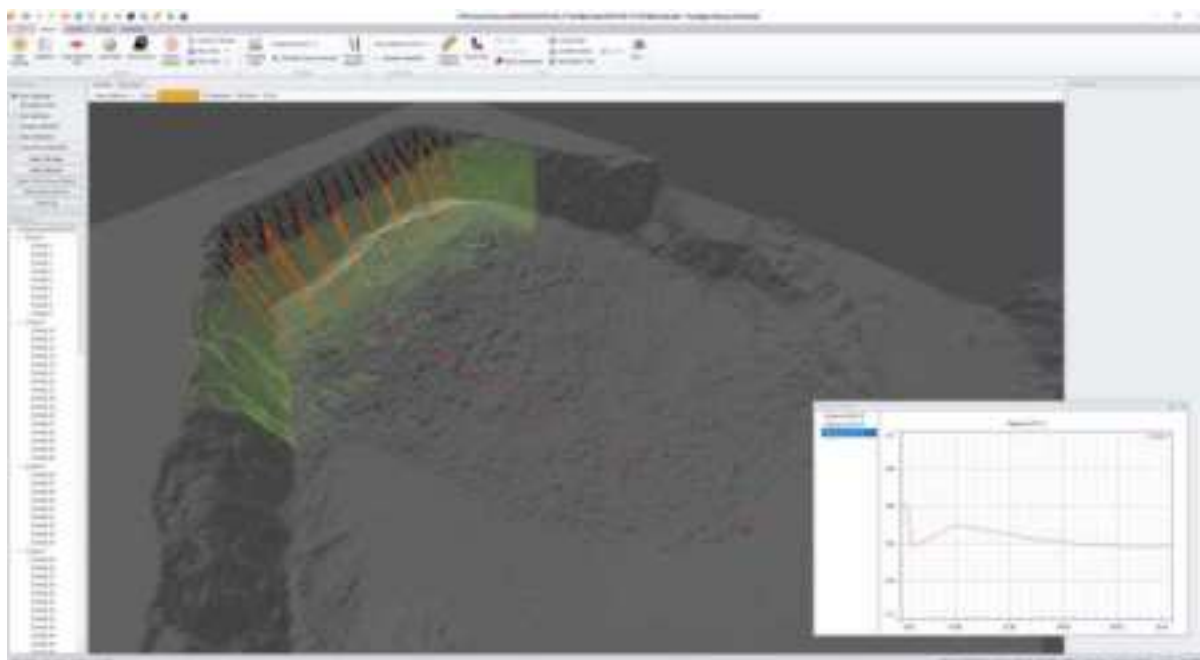


Analýza minimálního záběru na datech z totální stanice, odstřel Čachtice (SK), 3. etáž

Pokud analyzujeme a upravujeme parametry odstřelů pro co nejlepší výsledek, nastává situace, kdy limity stanovené konvenčními pyrotechnickými rozbuškami přestávají stačit. Uvedme si příklad: ideální časování pro danou horninu, s ohledem na nejlepší fragmentaci, je určeno z modelace na 2,6 ms/m a rozteče mezi vrty se podle přesných souřadnic zaměřených GPS pohybují v rozmezí od 2,75 do 3,3 m. Při takovýchto parametrech by nepřineslo nejlepší výsledek použít fixní časování 9 ms mezi vrty. Proto je potřeba zvolit alternativu, která je schopna přesného časování dosáhnout, tedy použít elektronické rozbušky (E*STAR). S přesností časování elektronických rozbušek je možné dosáhnout predikovaných hodnot z modelace, nebo se jim co nejvíce přiblížit. Stejně je to pro speciální časování při omezování seismických účinků trhacích prací. Zde je naprosto nezbytné, aby nálož byla iniciována v přesný čas, aby došlo k vzájemné interferenci jednotlivých seismických vln a tedy ke snížení konečné vlny na místě měření. Tohoto nelze dosáhnout jinak než s využitím elektronické rozbušky.

Závěr

Každý model je pouze tak přesný, jako jsou informace do něj vložené. Tedy informace získané v přípravné fázi. Proto je nutné využívat co nejpřesnější měřicí prostředky.



Analýza po dostřelu na 3D modelu, kde je simulována původní stěna, vrty i ukázán profil rozvalu (USA)

Využití moderních technologií, ať jsou to drony, 2D/3D profilování, fotogrammetrie nebo využití optimalizačních softwarů, v sobě nese jistou výzvu, ale také přináší více informací a dávají nám větší přehled o tom, jak opravdová situace vypadá. Na tomto základě je pak možné provádět přesnější, bezpečnější a ekonomičtější trhací práce. Je pravda, že nové moderní technologie něco stojí, ale svět se posouvá tímto směrem a my nesmíme zůstat pozadu!

Zdroje

Vlastní fotografie a snímky obrazovek z programů vlastněných společnostmi Austin Detonator a Austin Powder Slovakia

Elektronická rozbuška E*STAR GO

Ing. Vojtěch Kala, Ph.D.

Ing. Maciej Kosowski, Ph.D.

Abstrakt

Elektronický systém E*STAR GO je novým přírůstkem do rodiny E*STAR od firmy Austin Detonator. E*STAR GO je vstupním systémem do světa E*STAR a cílí na co nejsnadnější použití. Systém má jen ty vlastnosti, které pro základní použití elektronických rozbušek potřebujete a usnadňuje tak uživatelům přechod z jiných typů rozbušek na rozbušky elektronické. E*STAR GO cílí na použití v lomech a ve stavebnictví. E*STAR GO, GO Ahead!

Electronic system E*STAR GO is a new addition to the E*STAR family produced by Austin Detonator. E*STAR GO is the entry system into the world of E*STAR and aims to be as easy to use as possible. The system has only the features you need for the basic use of electronic detonators, making it easier for users to switch from other types of detonators to electronic detonators. E*STAR GO was designed for use at quarries and construction. E*STAR GO, GO Ahead!

Klíčová slova: *elektronická rozbuška, E*STAR, E*STAR GO*

Keywords: *Electronic detonator, E*STAR, E*STAR GO*

1. Přehled iniciačních systémů

Lidstvo již od doby, kdy začalo průmyslově využívat výbušné materiály, hledá bezpečnou a efektivní metodu jejich iniciace. Průběhem času jsme prošli dlouhou cestu od prvních



primitivních knotů až po elektrické a neelektrické rozbušky a nakonec jsme se dostali k elektronickým rozbuškám. Každá iterace přinesla do průmyslového použití výbušnin nějaké vylepšení a novinky. Když se elektrické rozbušky staly běžným průmyslovým nástrojem, získali jsme možnost bezpečného a předvídatelného iniciování materiálů z velké vzdálenosti bez nutnosti přítomnosti člověka v ohroženém prostoru. Největší nevýhodou elektrického systému je jeho omezená odolnost proti nechtěné iniciaci z cizího zdroje elektrické energie. Na druhé straně tento systém umožňoval provádět kontrolu kontinuity a správnosti připojení roznětné sítě na základě měření elektrického odporu rozbušek propojených v sérii.

Přibližně v roce 1967 se na trhu objevil neelektrický systém iniciace, který od té doby úspěšně vytlačoval elektrické systémy z trhu (kromě některých specializovaných použití, jako je použití výbušnin v prostorech ohrožených výbuchem metanu nebo uhelného prachu) [5]. Systém iniciace s použitím neelektrických rozbušek představoval významnou odolnost proti iniciaci cizím zdrojem energie a rozšiřoval možné varianty časování. Neobsahoval možnost přímého ověření z místa odpálení a uživatelům zůstala pouze vizuální kontrola povrchové sítě. V tomto případě nebylo možné hodnotit stav rozbušek ve vrtu.

Nejnovějším způsobem iniciace průmyslových výbušnin je iniciace pomocí elektronických rozbušek. Tento systém má mnoho výhod oproti předchozím systémům a zároveň eliminuje jejich nevýhody. Na příkladu rozbušek série E*STAR, které vyrábí společnost Austin Detonator s.r.o. (člen konsorcia Austin Powder), lze konstatovat, že jsou odolné vůči elektromagnetickému poli a cizím impulsům elektrické energie. Tento systém také umožňuje plnou diagnostiku roznětné sítě a jednotlivých rozbušek [2], což výrazně zvyšuje bezpečnost při výkonu trhacích prací a snižuje pravděpodobnost chyb. Tyto elektronické rozbušky přináší výhodu snadného ovládání,



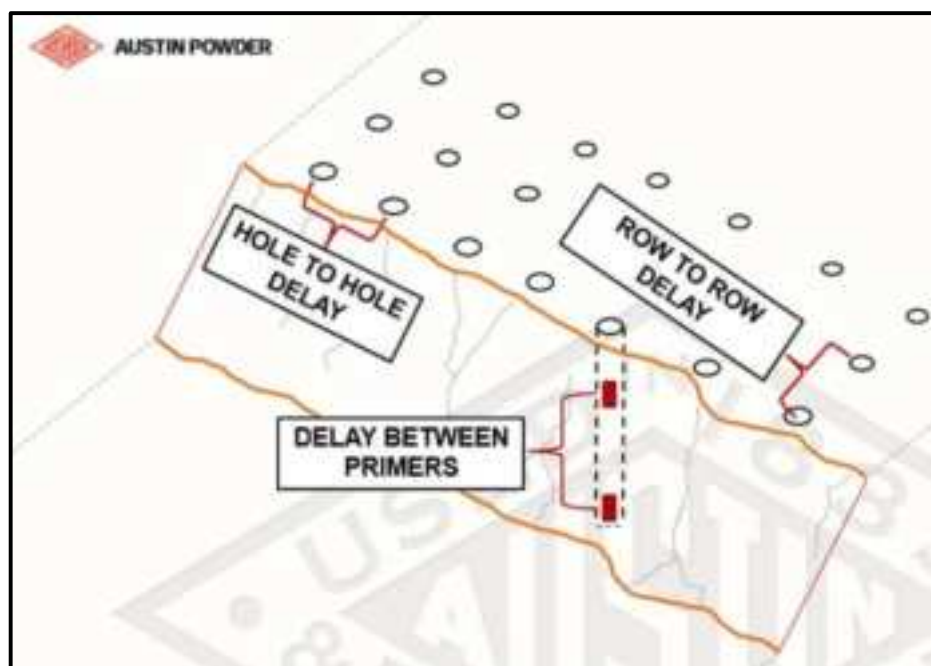
spolehlivější iniciaci a snížení rizika nehod, což znamená, že jsou pro průmyslové použití vhodnější, než tradiční způsoby iniciace.

2. Popis systému E*STAR GO

Systém E*STAR GO představuje moderní alternativu k tradičním neelektrickým systémům iniciace trhavin, který nabízí výhody spojené s použitím elektronických rozbušek a zároveň eliminuje nevýhody neelektrických systémů. Hlavním cílem systému E*STAR GO je zlepšit uživatelskou přívětivost a usnadnit činnosti při trhacích, pracích v lomech a stavebních pracích, během kterých se často používají těžké matrace, které minimalizují riziko rozletu rozpojené horniny. E*STAR GO umožňuje neustálou kontrolu sítě a jednotlivých rozbušek během pokládání matrace a pokud dojde k přerušení vodičů nebo odpojení konektoru Logger okamžitě upozorní uživatele zvukovým a vizuálním alarmem.

Proces programování systému je velmi jednoduchý a vyžaduje pouze znalost základních parametrů, jako je zpoždění jednotlivých počínů v jednom vrtu, zpoždění mezi vrty v řadě a zpoždění mezi řadami.





Obrázek 1. Grafické vysvětlení pojmů týkajících se časování.

Architektura systému byla navržena tak, aby proces programování probíhal automaticky po zadání dat a vyžadoval minimální zásah uživatele do zařízení. Technické parametry systému jsou uvedeny v tabulce níže:

Tabulka 1. Technické parametry systému E*STAR GO

Hlavní technické vlastnosti systému E*STAR GO		
Maximální počet rozbušek pro jeden odstřel:	400	[-]
Maximální počet rozbušek v jedné řadě:	100	[-]
Maximální zpoždění poslední rozbušky v jednom odstřelu:	3000	[ms]
Maximální počet počínů v jednom vrtu:	2	[-]

Protože cílovou skupinou jsou současní uživatelé neelektrických systémů, byly do systému E*STAR GO integrovány stejné časy zpoždění, které výrobce Austin Powder používá při výrobě neelektrických rozbušek.

Tabulka 2. Časování rozbušek v systému E*STAR GO

Možnosti časování rozbušek v systému E*STAR GO										
Mezi počiny	0			25			50			[ms]
Mezi vrty	0	9	17	25	42	67	100	167		[ms]
Mezi řadami	9	17	25	42	67	84	100	142	167	200 [ms]

Základním prvkem E*STAR GO je elektronická rozbuška v měděné dutince o délce $9,1 \cdot 10^{-2}$ [m] a průměru $7,5 \cdot 10^{-3}$ [m], obsahující $7,2 \cdot 10^{-4}$ [kg] pentritu jako sekundární náplň. Odolnost rozbušky proti vodnímu tlaku je $3 \cdot 10^5$ [Pa] po dobu 48 hodin. Elektronickým srdcem rozbušky je modul EIM, který má dva separátní obvody [2,3]. První slouží ke komunikaci s programovacím zařízením „Logger“ a druhý modul slouží k samotné iniciaci. Díky EIMu je zajištěna maximální bezpečnost práce s rozbuškou a možnost nechtěné iniciace je zcela vyloučena. EIM také zajišťuje přesné časování rozbušky s přesností 0,01% nominálního zpoždění [2,3]. Rozbuška je vybavena dvoužilovým vodičem s železným jádrem o průměru $6 \cdot 10^{-4}$ [m], který je potažen izolační vrstvou z polypropylenu. Vodič je zakončen speciálním konektorem umožňujícím jeho spolehlivé připojení k odpalovacímu vedení i v prostředí s vysokou vlhkostí a znečištěním. Konektor byl navržen tak, aby obsahoval co nejmenší množství plastu s cílem minimalizovat vliv na přírodní prostředí, přičemž zachovává vynikající uživatelské a pevnostní vlastnosti.





Obrázek 3. Rozbuška E*STAR GO na cívce a smyčce

Elektronická zařízení určená pro práci se systémem jsou nedílnou součástí celého E*STAR GO systému. Po hardwarové a softwarové stránce byla tato zařízení kompletně navržena společností Austin Detonator s.r.o., který sídlí ve Vsetíně v Zlínském kraji.

První zařízení, které je součástí systému, se nazývá E*STAR LOGGER GO. Slouží k programování a ověřování správného fungování a připojení rozbušek. Logger je vybaven softwarem, který značně zjednodušuje proces programování a ověřování. Nejdůležitější funkcí Loggeru je způsob programování nazývaný "Log by Walking", který bude představen v samostatné kapitole. Druhým zařízením je E*STAR BLASTER GO, což je elektronická roznětnice, která umožňuje bezdrátovou komunikaci s Loggerem. Díky tomu není nutné fyzicky propojovat obě zařízení pomocí kabelu, aby bylo možné přenášet data, týkající se naprogramovaných rozbušek. Využití bezdrátové technologie přenosu dat urychluje celý proces a eliminuje pravděpodobnost poškození komunikačních portů.

3. Metoda programování "Log by Walking"

"Log by Walking" je zjednodušená metoda programování, která spočívá v postupném připojování dalších rozbušek k odpalovacímu vedení a přecházení od vrtu k vrtu. Střelmistr (TVO) má na rameni speciálně navrženou tašku, do které umísťuje "Bus Line" a Logger. Jeden konec kabelu je připojen k Loggeru a druhý volně vychází z tašky. Střelmistr (TVO) prochází podél řady vrtů a připojuje k "Bus Linu" další rozbušky, které jsou v Loggeru programovány v pozadí. Každé připojení rozbušky je signalizováno zvukovým signálem, a proto má jistotu, že každá připojená rozbuška byla naprogramována. Pokud Logger zjistí jakoukoliv anomálii, spustí odlišný zvukový signál, který upozorní programující osobu na anomálii u některého z parametrů. Po dokončení programování celé řady následuje ověření a ihned se přistoupí k programování další řady. Díky tomuto přístupu je nutnost přímého používání Loggeru omezena na minimum.



Obrázek 4. Taška E*STAR GO



Z důvodu, že tento systém je určen pro nové uživatele, byl způsob školení zcela přepracován a modernizován. Školení zaměřené na práci se systémem E*STAR GO zahrnuje velké množství animací ukazujících přehledně a srozumitelně reálné situace v poli. Školená osoba je postupně seznámena s pracovním postupem pomocí jednoduchých animací, na kterých může kromě situace v poli sledovat také aktuální obrazovku Loggeru nebo roznětnice.

4. Shrnutí

Přestože je veřejnost často negativně naladěna vůči těžebnímu průmyslu, těžba surovin pro minerální, stavební a energetické odvětví bude v nejbližších letech růst, aby uspokojila poptávku, která je generována rostoucí populací [4]. V této souvislosti není bez významu také růst celosvětového životního standardu, který přirozeně vede k vyšší spotřebě zboží, což znamená, že v příštích letech se předpokládá neustálý globální nárůst spotřeby výbušnin a s tím související spotřebou rozbušek. Pozorovaným trendem je, že těžební společnosti přecházejí ze starších systémů iniciace trhavin na elektronické rozbušky[1], avšak ne všichni zákazníci jsou schopni nebo mají možnost využít veškerý potenciál složitých systémů. Častým důvodem setrvání u starší technologie je také obava z komplikovaných řešení, které kromě vyškoleného personálu vyžadují také vyšší finanční náklady. Právě na tyto zákazníky směřuje společnost Austin Powder svůj nejnovější produkt E*STAR GO, který může být krokem vpřed při zlepšování bezpečnosti a efektivnosti malých a středních podniků provádějících trhací práce. Díky jednoduchému použití a promyšlenému systému umožní mnoha firmám udělat první krok směrem k elektronickým rozbuškám a díky tomu budou moci těžit z nejmodernějších technologických pokroků.



Seznam použité literatury:

- [1] Kala V. (2021): *Optimalizace trhacích prací na povrchu s využitím nejmodernějších technologií*. Disertační práce, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [2] Austin Powder (2019): *E*STAR Manuals*. Cleveland, OH, USA.
- [3] Austin Detonator (2020): *Produktové listy: E*STAR*. Vsetín.
- [4] The Business Research Company (2023): *Explosives Global Market Report 2023 – By Type (C4, HMX, PETN, RDX, Dynamite, ANFO, Others), By Application (Military, Mining, Quarrying, Construction, Others), By Pyrotechnics Application (Display, Consumer, Procimate, Others) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2023-2032*. USA.
- [5] Manzoor S. Choudhary D. (2014): *Detonator: evolution, classification and comparison*. International Journal of research in Aeronautical and Mechanical Engineering.

Původ pochybností při analýze vibrací v podzemním stavitelství

The origin of uncertainties in the analysis of vibrations in underground construction

prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.

Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz

prof. Dr. Zdenek Kalab, PhD.

Institute of Geonics of the Czech Academy of Sciences, Studentská str. 1768, CZ-708 00, Ostrava-Poruba, Czech Republic, kalab@ugn.cas.cz

Abstrakt

Jedním z trendů ke zlepšení životního prostředí a řešení problémů v přelidněných místech je výstavba mělce uložených podzemních staveb. Nejde jen o klasické tunely, ale i podchody, kolektory, prostory pro podzemní vedení silových a telekomunikačních kabelů atd. Výstavba těchto staveb je provázena řadou problémů, které se řeší jak v projektové fázi, tak i při výstavbě.

Stavba podzemního objektu je mimo jiné doprovázena antropogenní seismicitou z různých zdrojů. Velmi často je ražba podzemního díla realizována za pomoci trhacích prací, které vyvolávají největší vibrační účinky. Jestliže referenční hodnoty uvedené v normách (např. ČSN 73 0040 a STN 73 0036) nejsou překročeny, poškození staveb ve smyslu omezení užitečnosti není očekáváno. Pro hodnocenou lokalitu bývají specifikovány mezní a kritické hodnoty pro případná poškození objektů v závislosti na geologických podmínkách a technickém stavu stavebních objektů. Strukturně-geologická situace území má zásadní vliv na velikost vyvolaných vibrací. Kromě toho je ale nutno vzít do úvahy další příčiny potenciálních problémů - zde je nezbytné posuzovat tři problémové okruhy: vliv vibrací na podzemní díla, na povrchovou zástavbu a na vnímání obyvatelstva.

Analýza vibrací a též modelování účinků vibrací, a to nejen v podzemním stavitelství, vyžaduje řadu vstupních parametrů. V článku jsou shrnuty nejvýznamnější zdroje informací a k nim stručný komentář, s jakou přesností je možno je definovat.

Abstract

One of the trends to improve the environment and solve problems in overcrowded places is the construction of shallow underground structures. It is not only about classic tunnels, but also underpasses, collectors, structures for underground power and telecommunication cables, etc. The construction of all these structures is accompanied by a number of problems that are solved both in the design phase and during construction.

The construction of an underground facility is accompanied, among other things, by anthropogenic seismicity from various sources. Excavation of an underground work is very often carried out using

blasting, which causes the greatest vibrational effects. If the reference values specified in the standards (e.g. CSN 73 0040 and STN 73 0036) are not exceeded, damage to buildings in the sense of limiting usefulness is not expected. Threshold and critical values for possible damage to objects are usually specified for the evaluated location, depending on the geological conditions and the technical condition of the building objects. The structural-geological situation of the territory has a fundamental influence on the values of the induced vibrations. In addition, however, it is necessary to take into account other causes of potential problems - here it is necessary to assess three problem areas: the influence of vibrations on underground works, on surface construction and on the perception of the population.

Vibration analysis and also modelling the effects of vibrations, not only in underground construction, requires a number of input parameters. The paper summarizes the most important sources of information and provides a brief commentary on how precisely they can be defined.

Úvod

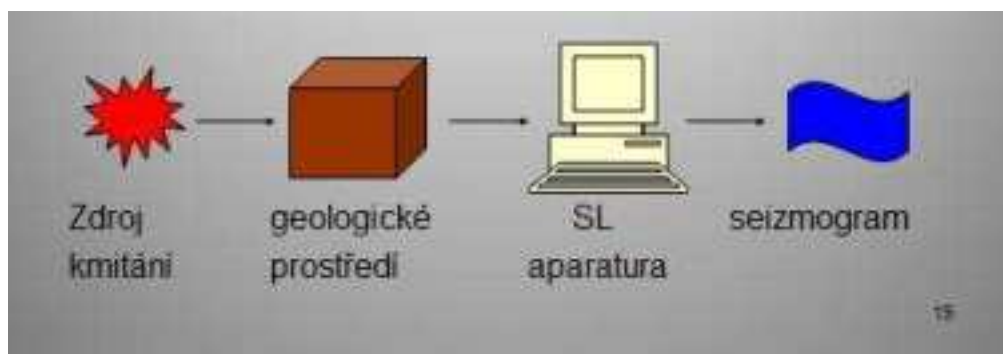
Na otázku „Co vše patří do životního prostředí?“ uvádí Zákon č. 17/1992 České republiky: „Vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie.“ (Zákon č. 17/1992 Sb.) Ke zmírnění negativních vlivů na životní prostředí, tedy i člověka, je zpracována řada výzkumných i souhrnných zpráv a je podporováno velké množství různě zaměřených projektů.

Jedním z trendů ke zlepšení životního prostředí a řešení problémů v přelidněných místech je výstavba mělce uložených podzemních staveb. Nejde jen o klasické tunely, ale i podchody, kolektory, prostory pro podzemní vedení silových a telekomunikačních kabelů atd. Výstavba těchto staveb je provázena řadou problémů, které se řeší jak v projektové fázi, tak i při výstavbě (např. Rozsypal, 2001, Klepsatel et al., 2005, Towhaka, 2008, Vojtasík, 2018, Kaláb, 2021, Pandula et al., 2022). Stavba podzemního objektu je mimo jiné doprovázena antropogenní seismicitou z různých zdrojů. Velmi často je ražba podzemního díla realizována za pomoci trhacích prací, které vyvolávají největší vibrační účinky.

Z geotechnického hlediska můžeme na vibrace pohlížet jako na druh zatížení. Jde o vliv na konstrukci, který způsobuje změnu stavu napjatosti, změnu stavu přetvoření nebo změnu tvaru a polohy konstrukce, případně i změnu pouze jednoho z těchto projevů (např. Petřík, Hrubešová, 2012, 2014, Kaláb, Štemon, 2017). Obecně lze uvést, že vibrace řadíme mezi mimořádná zatížení (tato zpravidla působí jen velmi krátce a jejich výskyt je během životnosti konstrukce výjimečný), obvykle se setkáváme se zatíženími stálými nebo proměnnými. Zatížení stavebních konstrukcí se hodnotí Eurokódy: ČSN EN 1990 *Zásady navrhování konstrukcí* a ČSN EN 1991 *Obecná zatížení* a normami navazujícími.

Kmitání vyvolané zemětřeseními hodnotí Eurokód 8: *Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení* (ČSN EN 1998-1 (730036)), antropogenní vibrace jsou hodnoceny národními normami. Jestliže referenční hodnoty uvedené v normách (např. ČSN 73 0040 a STN 73 0036) nejsou překročeny, poškození staveb ve smyslu omezení užitečnosti není očekáváno. Je nezbytné zdůraznit, že měřenou hodnotu formuje zdroj vibrací, strukturně-geologická situace území a registrační a zpracovatelský software (obr. 1). Konverzí pohybů země v místě měření na elektrické signály (děje se v senzorech) a následným zesílením, filtrací a registrací na zapisovači (děje se v seismologické aparatuře) jsou získány seismogramy, které jsou dnes zpravidla v aparatuře (PC) digitalizovány, filtrovány a uloženy.

Cílem tohoto článku je shrnout ve stručné formě parametry ovlivňující velikost vibrací vyvolaných trhacími pracemi a definovat původ pochybností při analýze těchto vibrací, tj. poukázat na parametry, které pro interpretaci nelze přesně stanovit.



Obr. 1 Schematické znázornění získání seizmogramu

Podzemní stavitelství ve městech

S narůstajícím počtem obyvatel ve větších městech a s narůstajícím objemem nákladní přepravy se výstavba tunelů stává řešením vedoucím nejen ke zlepšení životního prostředí, ale i zásadním řešením řady problémů přelidněných území. Celkové trendy vývoje pak směřují k výraznějšímu využívání mělce uložených podzemních staveb, které tvoří integrální součást infrastruktury moderní společnosti a které jsou, kromě tunelů, užívány v různých aplikacích, včetně podchodů, skladišť různého materiálu, kanalizace či kolektorů vodovodního potrubí, telekomunikačních a napěťových kabelů. Z geotechnického hlediska je výstavba podobných zařízení současně provázena řadou problémů, z nichž některé lze řešit na základě zkušeností z výstavby na jiných lokalitách, jiné musí být řešeny operativně v průběhu vlastní výstavby. Lepší poznání fyzikálně-mechanických vlastností daného prostředí a napěťo-deformačních stavů v mělkých částech podloží může přispět ke stanovení řady faktorů důležitých pro lokalitu, která byla vybrána pro výstavbu daného podzemního díla.

Pokud dojde k rozhodnutí vést danou část infrastruktury pod povrchem, potom velmi důležitou roli při přípravě vedení této trasy má strukturně-geologická situace zájmové oblasti. Naše i zahraniční zkušenosti však ukázaly, že mechanické vlastnosti a napěťový stav nejsvrchnějších partií zemské kůry, kde se má podpovrchové dílo razit, jsou mnohem citlivější k anomáliím ve vlastním horninovém masívu než vůči hloubce samé. Proto je obtížnější odhad a stanovení těchto fyzikálně-mechanických vlastností hornin obklopujících toto ražené důlní dílo. Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují chování a stabilitu podpovrchové výstavby. K nejvýznamnějším faktorům můžeme počítat: hloubku, ve které je vlastní hloubení situováno, topografii povrchu, redukci napětí a pevnosti masívu v důsledku zvětrávání, základní geologickou stavbu území, zatížení podloží hmotností povrchových staveb a napěťový stav v mělkých strukturách podložních hornin. Jelikož jsou napětí v malých hloubkách kolem hloubeného tunelu často nízká, dochází v důsledku odtěžení daného objemu horniny k celkovému odlehčení v tomto místě, které bývá provázeno značným rizikem z pohledu stability okolních stavebních jednotek, zejména tam, kde je povrch značně zvětralý a tudíž má nízkou pevnost. Potom nízké napětí může dokonce způsobit celkové rozrušení a devastaci díla v důsledku ztráty jeho stability.

Dalším problémem, který se může vyskytnout při realizaci děl v malých hloubkách, je pokles povrchu, v důsledku čehož může dojít k poškození staveb na povrchu. Je proto důležité minimalizovat poklesy povrchu právě v místech povrchové zástavby, např. dokonalým vyztužováním tunelu. V souvislosti s tím může naopak působit nepříznivě na hloubené dílo zatížení horninového masívu indukované působením vnějšího zatížení budovami, které se nacházejí nad takovým dílem. Proto mají optimální rozměry raženého díla, nezbytně nutná výztuž a volba vhodné metody ražení díla značnou technickou důležitost z pohledu předcházení, zamezení a též omezení následků poklesů povrchu, což se v konečné fázi projeví i na ekonomických výsledcích, tj. celkových nákladech vynaložených na výstavbu.

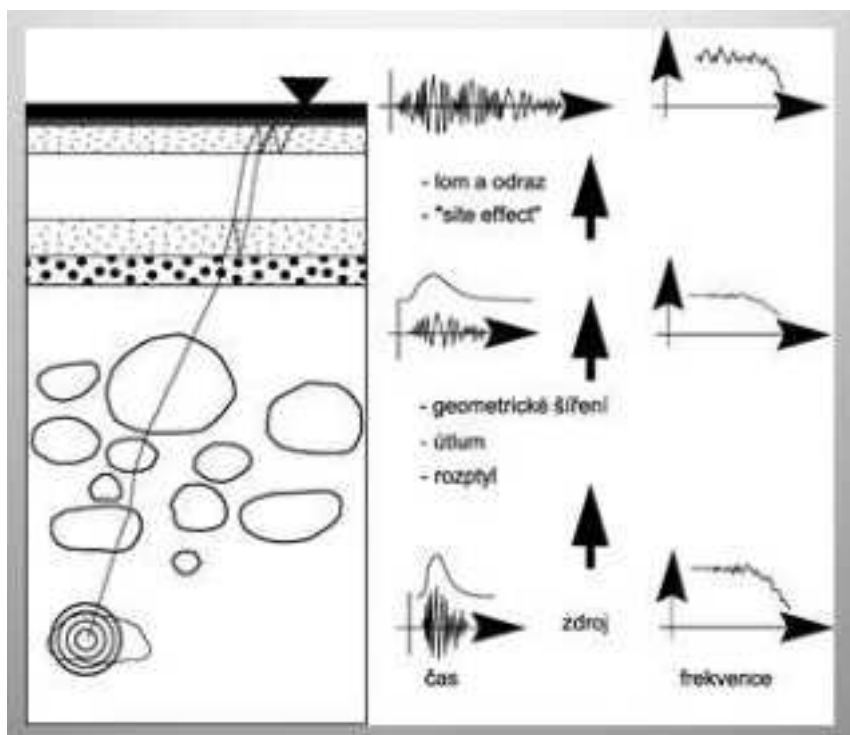
Napětí, které existuje v horninovém masívu, není vázáno jen na zatížení nadložními vrstvami pokryvu, ale i na geologickou historii. Znalost napětíových stavů *in-situ* v masívu je důležitá jak ve stavebnictví, tak i v hornictví, a je všeobecně známo, že napětí s hloubkou vzrůstá. Z toho vyplývá, že lze tedy očekávat problémy související se změnou napětí v důsledku narůstající hloubky, které často vedou k porušení nebo devastaci podzemního díla. Hloubení mělce situovaného tunelu však může být také ovlivněno buď značným horizontálním napětím nebo nedostatečnými horizontálními napětími (Amadei a Stephansson, 1997).

Kromě tvaru raženého podzemního díla však existuje řada dalších geotechnických situací, které nepříznivě působí na prostory při postupném odtěžování horniny. Zde můžeme jmenovat např. poruchové geologické struktury, zónu zvětrání, zatížení prostoru základy již existujících budov, které se z podloží přenáší do oblasti ražby situované pod nimi nebo porušení nejbližšího okolí raženého díla trhacími pracemi.

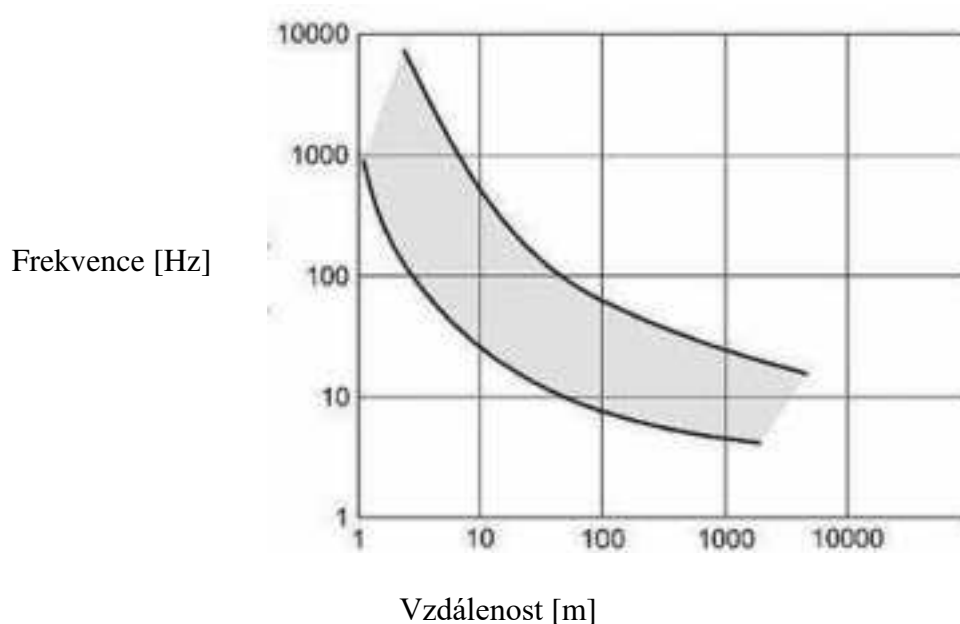
Obecné hodnocení efektu vyvolaného trhací prací

Trhací práce produkují seismické vlny se širokým spektrem frekvencí, které je závislé na vlastnostech rozpojovaného materiálu, vlastnostech trhaviny a technologii trhacích prací. Frekvenční spektrum seismického záznamu trhací práce je dále významnou měrou ovlivněno prostředím, kterým se vlny šíří; s rostoucí vzdáleností jsou v horninovém masívu složky vyšších frekvencí rychleji tlumeny. Obecný vliv prostředí, jímž se vlny šíří, je znázorněn na obr. 2.

Isaac (1991) představil orientační graf závislosti frekvenčního rozsahu seismického signálu na vzdálenosti od trhací práce. Z něho vyplývá, že zvláště v malých vzdálenostech od místa odstřelu je nezbytné, aby seismický kanál měl co nejširší frekvenční rozsah (především do vyšších frekvencí), pokud chceme mít k dispozici nezkreslený záznam seismického projevu. Frekvenční spektrum seismických signálů vyvolaných blízkou trhací prací ve skalních a poloskalních horninách může obsahovat frekvence přesahující 250 Hz (např. obr. 3). Vyšší frekvence v záznamu mohou být navíc ovlivněny resonancí struktur horninového masívu, jejichž rozměry jsou srovnatelné s délkou vlny. To vše způsobuje, že používaný vztah mezi velikostí maximální rychlosti kmitání, hmotností dílčí nálože a vzdáleností lze stanovit pouze přibližně s využitím statistických metod. Skutečné maximální vyvolané hodnoty rychlosti kmitání je nutno stanovit měřením. V řadě příkladů z odborné literatury vykazují naměřené hodnoty značný rozptyl (např. Holub, 2006, Pandula, Kondela, 2010, Kaláb et al., 2013, Fehér et al., 2020).



Obr. 2 Schematické znázornění vlivu prostředí na seismogram a jeho spektrum (podle Scherbaum, 1994)



Obr. 3 Orientační závislost frekvenčního složení seismického signálu trhavé práce v závislosti na vzdálenosti (podle Rock Blasting Technique. Blasting with Restriction)

Jak bylo uvedeno, zatížení stavebních konstrukcí vibracemi vyvolanými odstřelem trhavin se nejčastěji posuzuje podle maximální amplitudy rychlosti kmitání částic V_{max} a frekvence převládajících kmitů. K predikování této rychlosti je sestavován empirický vztah, který představuje závislost maximální amplitudy rychlosti kmitání částic na celkové velikosti nálože (nebo velikosti nálože odpálené v jednom časovém stupni) Q a vzdálenosti l . Pro stanovení maximálních hodnot

rychlosti kmitání v dostatečné vzdálenosti od zdroje vibrací se používá empirická závislost obecném tvaru $V_{max} = K \cdot Q^m \cdot l^n$, kde V_{max} - maximální rychlost kmitání [mm/s], Q - hmotnost nálože [kg], l - vzdálenost od místa provádění trhací práce [m], K , m a n jsou empirické parametry (často nazývaná Langeforsův vztah). Empirické parametry jsou stanovovány z výsledků experimentálních měření a jsou závislé na geologické stavbě prostředí a vzdálenosti. Jsou ale známy lokality, kde tento vztah vykazuje velmi nízký koeficient korelace (např. Stolárik et al., 2017).

Existuje-li těsnější závislost, je možné odhadnout pro posuzované místo při známé vzdálenosti k místu provádění trhacích prací hmotnost nálože tak, aby maximální hodnoty jednotlivých složek rychlosti kmitání částic nepřesáhly mezní rychlosti kmitání (např. Kaláb, 2008, Pandula, Kondela, 2010) Tyto mezní rychlosti jsou definovány z přípustného zatížení stavební konstrukce.

Souhrnně lze konstatovat, že intenzita vyvolaných vibrací závisí na mnoha parametrech (např. Dojčár et al., 1996, Kaláb, 2004), a to především na způsobu generování vibrací, intenzitě vibrací (vyzařené vibrační energii), epicentrální vzdálenosti, příp. hloubce zdroje, stavbě masivu, jímž se seismické vlny šíří, a lokální geologii v místě sledovaného projevu. Velká různorodost příčin ovlivňujících velikost seismického projevu na povrchu je důvodem, proč nelze získat věrohodnější výsledky bez většího množství měření a proč nelze sestavit jednoduché závislosti, zvláště v malých vzdálenostech.

V současnosti je nedílnou součástí posuzování vlivu antropogenní seismicity na objekty matematické modelování s využitím různých programových systémů (např. Park, B.-K. et al., 2005, Hori, M., 2006). Základními úkoly modelování je volba geometrie modelu, volba materiálového modelu a volba dynamických hraničních podmínek. To umožňuje, pokud je možno sestavit dostatečně reprezentativní model horninového masivu, získat nejen informace o šíření vln v masivu, ale též o vyvolaném seismickém projevu v místech, ve kterých nebylo realizováno měření.

Projev trhacích prací v podzemí a na povrchu

Martino (2002) vyšetřoval vliv trhacích prací na porušení dvou tunelů vyražených v hloubkách 240 m a 420 m. Na základě výsledků se ukázalo, že zóna porušení tunelu v hloubce 240 m byla poměrně úzká (0,1- 0,3 m) a byla užší než obdobná zóna v okolí tunelu na hloubce 420 m. Závěry, ke kterým Martino dospěl lze charakterizovat tak, že porušení díla vedeného v menší hloubce bylo způsobeno především trhacími pracemi, zatímco na porušení okolí hlubšího tunelu se kromě trhacích prací podílely i změny napětových podmínek. Jako typická rychlost S-vln podloží mělkého tunelu byla zjištěna rychlost 3200 m/s, která ve vnitřní porušené zóny klesala o 400 m.s⁻¹. Rychlost P-vln kolem téhož tunelu se pohybovala v rozmezí 5400 - 5600 m.s⁻¹, přičemž u této vlny byl uvnitř zóny porušení prokázán pokles její rychlosti mezi 400 - 1300 m.s⁻¹. Na základě zjištěných poklesů rychlostí P a S-vln lze usuzovat na redukci Youngova modulu o 35 - 40 %, ovšem za předpokladu konstantní hustoty prostředí. Jinak řečeno, v zóně porušení dochází ke změně fyzikálně-mechanických vlastností horniny v okolí raženého tunelu, čímž se mění i napětové pole dané lokality.

Seismické projevy jsou i na povrchu velmi proměnlivé, a to zvláště v oblastech nejbližších epicentru. Souhrnně lze zopakovat, že intenzita vyvolaných vibrací závisí na mnoha parametrech (podle Kaláb, 2004), a to především na:

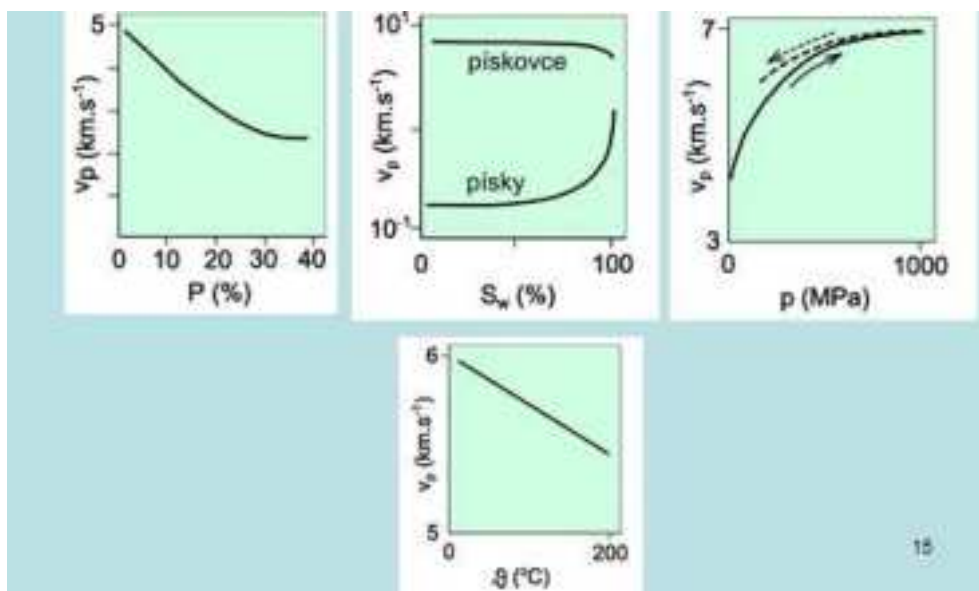
- způsobu generování vibrací,
- vyzařené seismické energii,
- epicentrální vzdálenosti, příp. hloubce zdroje,

- stavbě masivu, jímž se seismické vlny šíří, a lokální geologii v místě sledovaného projevu,
- ovlivnění vyzařovací charakteristiky zdroje vibrací vlastním důlním dílem (např. odstřel na čelbě nevyzařuje energii izotropně).

Velká různorodost příčin ovlivňujících velikost seismického projevu na povrchu je důvodem, proč nelze získat věrohodnější výsledky bez většího množství měření a proč nelze sestavit jednoduché závislosti.

Hlavními problémy při studiu seismických vlivů jsou:

- posouzení „homogenity“ prostředí, kterým se seismické vlny šíří, a stanovení jeho základních petrofyzikálních charakteristik s ohledem na přenos a útlum seismické energie (pro konkrétní případ lze charakteristiky určit z dostatečného počtu měření, nelze však získané poznatky přenášet jinam, resp. je nutno přesně definovat hraniční podmínky pro použití těchto poznatků),
- informace o technologii prováděných prací, případně parametry odstřelu (pro vibrace vyvolané těžebním postupem lze očekávat poměrně dobře definovanou závislost vyvolaných vibrací na vzdálenosti; pro projevy trhačích prací je nutno analyzovat chování prostředí a parametry kmitavého pohybu v tzv. blízké zóně – vliv časování nálože, rozvoj jednotlivých vlnových skupin a jejich vzájemné ovlivňování, ...),
- metodika měření, která zahrnuje také určení parametrů aparatur pro kvalitní záznam dat, výběr místa měření a instalaci senzorů kmitavého pohybu (posledně jmenované má zásadní význam pro správné stanovení velikosti maximálních naměřených amplitud kmitavého pohybu a jeho frekvenční obsah), posouzení možného rezonančního kmitání objektů nebo jejich konstrukčních prvků a jeho vlivu na naměřené hodnoty.



Obr. 2. Závislosti rychlosti podélného vlnění na pórovitosti (P), vodonasycení (S_w), tlaku (p) a teplotě (v) sedimentárních (připovrchových) vrstev - kompilováno z různých zdrojů

Vrátíme-li se k posouzení homogenity geologického prostředí, můžeme si tento vliv ukázat na závislosti rychlosti podélného vlnění na fyzikálních vlastnostech sedimentárního prostředí. Na obr. 4 jsou v grafické podobě prezentovány závislosti rychlosti podélného vlnění na pórovitosti,

vodonasycení, tlaku a teplotě přípovrchových sedimentů. Je zřejmé, že i z tohoto důvodu nelze přesně definovat detailní popis takového prostředí (především pro numerické modelování).

Závěr

Uvedené poznatky a informace z odborné literatury o původu pochybností při analýze vibrací lze shrnout do následujících bodů:

- neznalost zesílení vibrací v měkkých aluviálních sedimentech,
- nedostatečně definovaný vliv vlastností místních půd a topografických poměrů na zesílení,
- vznik trvalých reziduálních deformací přípovrchových geologických struktur,
- postupně se rozvíjející sesuvy půdy,
- složitá kombinace různých příčin vibracemi vyvolaných prasklin v různých typech staveb (např. setrvačná síla, deformace okolí atd.),
- neznalost vzájemného dynamického působení půdy/základů a staveb,
- neměřitelnost malých pohybů podél zlomů/puklin.

Parametry ovlivňující výslednou odezvu systému na dynamické zatížení lze pomyslně rozdělit na problematiku vlivu nejistot a nepřesností ve vstupních veličinách (způsobenými nehomogeností reálného přenosového prostředí a obtížným získáním přesných hodnot) a na omezení při použití dostupných materiálových modelů (aproximace při zadávání zatížení či okrajových podmínek).

Kromě toho je ale nutno vzít do úvahy další příčiny potenciálních problémů - zde je nezbytné současně posuzovat tři problémové okruhy vliv vibrací, a to na vlastní podzemní díla, na povrchovou zástavbu a na vnímání obyvatelstva (např. Lanzano et al., 2008, Pescara, 2011, Kaláb, Štemon, 2017). Tato problematika je ale mimo vlastní téma článku.

Poděkování: Příspěvek je zpracován s podporou na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace RVO: 68145535.

Reference

Amadei, B., Stephansson, O. (1997): Rock stress and its measurement. Chapman and Hall, London.

Dojčár, Horký, J., Kořínek, R (1996): Trhacia technika. Montanex Ostrava, a.s., 421 s.

Fehér, J., Cambal, J., Pandula, B., Kondela, J., Šofranko, M., Mudarri, T., Buchla, I. (2020): Research of the technical seismicity due to blasting works in quarries and their impact on the environment and population. Applied Sciences, Vol. 11(5), 1-21.

Holub, K. (2006): Vibrace vyvolané trhacími pracemi a jejich účinky na podzemní díla, povrchovou zástavbu a na obyvatelstvo. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava: řada stavební, 113-123.

Hori, M. (2006): Introduction to computational earthquake engineering. Imperial College Press, Londýn.

- Isaac I. D. (1991): Effects of constructional vibrations upon an urban environment. In: Earthquake, blast and impacts: Measurements and effects of vibration, Elsevier Applied Science, 442-462.
- Kaláb Z. (2004): Impact of seismicity on surface in mining affected areas: General description. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 1 (133), Prague, 35-39.
- Kaláb, Z. (2008): Seizmická měření v geotechnice. Monografie. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 125 s.
- Kaláb, Z. (2021): The contribution of geophysics to geoenvironmental studies. Conference Proceedings, Geoinformatics, European Association of Geoscientists & Engineers, May 2021, Volume 2021, p.1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521096>
- Kaláb, Z., Štemon, P. (2017): Influence of seismic events on shallow geotechnical structures. Acta Montanistica Slovaca, Vol. 22, No. 4, s. 412-421. <https://actamont.tuke.sk/pdf/2017/n4/9kalab.pdf> (březen 2023)
- Kaláb, Z., Pandula, B., Stolárik, M., Kondela, J. (2013): Examples of law of seismic wave attenuation. Metalurgija, Vol. 52, Issue 3, 387-390.
- Klepsatel, F., Mařík, L., Frankovský, M. (2005): Městské podzemní stavby. Jaga Group Bratislava, 296 s.
- Lanzano, G., Bilotta, E., Russo, G. (2008): Tunnels under seismic loading: A review of damage case histories and protection methods. In: Fabbrocino & Santucci de Magistris eds: Strategy for Reduction of the Seismic Risk, 65-74.
- Martino J. B. (2002): The excavation damage zone in recent studies at the URL. The 2002 Inter. EDZ Workshop, The Excavation Damage Zone – Causes and Effects. J.B. Martino (ed.) Atomic Energy of Canada Ltd.
- Pandula, B., Kondela, J. (2010): Metodológia seizmiky trhacích prác. SSTVP, Banská Bystrica, 156s.
- Pandula, B., Kondela, J., Konček, M., Fehér, D.: (2022): Optimization of the impact of technical seismicity on the surrounding, building and the population. EGRSE - Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment XXIX.2, 70-101. DOI: <https://doi.org/10.26345/EGRSE-070-22-205>
- Park, B.-K. et al. (2005): A Numerical method for estimating blast-induced vibration using particle velocity measurement. In: Konečný, Pa. (ed): EUROCK 2005 – Impact of Human Activity on the Geological Environment, A.A.Balkema Publisher, Leiden, 433-439.
- Pescara, M. (2011): Design of underground structures under seismic conditions: A long deep tunnel and a metro tunnel. ETH Zurich – 15 dec. 2011 Colloquium on seismic design of tunnels., Geodata Engineering SpA, Torino, Italy.
- Petrík, T., Hruběšová, E. (2012): Vliv změny deformačního modulu zeminy na šíření seizmického vlnění. EGRSE - Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment XIX/2, 75-83.
- Petrík, T., Hruběšová, E. (2014): Modelování vlivu vlastností zeminy na amplitudu rychlosti kmitání. EGRSE - Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment XXI/1, 79-84.

Rozsypal, A. (2001): Kontrolní sledování a rizika v geotechnice. Jaga Group Bratislava, 198 s.

Scherbaum, F. (1994): Basic Concepts in Digital Signal Processing for Seismologists. Springer-Verlag, 158 p.

Stolárik, M., Kaláb, Z., Pinka, M. (2017): Analysis of coefficients of vibration transmission through ground environment carried out of three shallow driven tunnel construction sites. Tunel, 2, 41-47.

Vojtasík, K. (2018): Projektování podzemních staveb. <https://www.geoci.cz/wp-content/uploads/2018/05/Projektovani-podzemnich-staveb.pdf> (březen 2023)

Towhaka, I. (2008): Geotechnical earthquake engineering. Springer, 684 p.

Normy:

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Obecná zatížení a normami navazujícími.

Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení (ČSN EN 1998-1 (730036))

ČSN 73 0040 2019 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva

STN 73 0036:1997-09 Seizmické zaťaženie stavieb

Epiroc inovace a optimalizace vrtacího nářadí

SmartROC T35 Electric

Epiroc představil na veletrhu Bauma svou vůbec první povrchovou vrtací soupravu s hybridním bateriovo-elektrickým pohonem: SmartROC T35 E. Konstrukce stroje vychází z osvědčené povrchové vrtací soupravy SmartROC T35. V kombinaci s neocenitelnými zkušenostmi získanými z vývoje podzemních bateriových strojů a ve spolupráci se zákazníky je tento nový stroj navržen tak, aby zlepšil ekologické standardy lomů a větších stavenišť. Kromě nízkých emisí poskytuje tato vrtací souprava řadu chytrých funkcí, vysokou bezpečnost, spolehlivost a výkon v tišším pracovním prostředí. Souprava SmartROC T35 E je vybavena baterií i elektrickým kabelem, aby si obsluha mohla vybrat nejvhodnější alternativu pro vrtání v daném prostředí.

My Epiroc - zvýšená produktivita a snížené prostoje

U nás v Epiroc se neustále snažíme vyvíjet nové technologie a velmi se zaměřujeme na rozvoj digitalizace a automatizace. Představujeme vám naši aplikaci **My Epiroc**, která umožňuje zákazníkům kompletní správu jejich strojového parku včetně vizualizace telemetrických dat strojů, plánování údržby, či oznamování a sledování poruch strojů.

Optimalizace vrtacího nářadí

Pod tímto spojením si mnozí představují různé vědecké průzkumy a testování, avšak firma Epiroc má v zájmu snížit Vaše provozní náklady na vrtání na co nejnižší cenu za metr.

Dosáhnout snížení nákladů lze pár těmito kroky:

Celá kompletní vrtná kolona od jednoho dodavatele – Epiroc

- Shank adaptéry – z naší dlouhé servisní historie a zkušenosti víme, že neoriginální shank adaptér do vrtacího hydraulického kladiva stojí mnohdy více než jen ušetřených pár EUR při nákupu. Velice často pak následný servis dosahuje i několikrát vyšší částku (10T EUR).
- Vrtací tyče – již několik let máme patentovanou úpravu závitu T-Wizz, která zaručuje snadné povolování závitů a jejich rozklepávání. Pružnost a celkovou flexibilitu tyčí zaručujeme unikátní výrobní technologií a celkovým tepelným opracováním tyčí.
- Vhodná korunka – naši technici mají neustále u sebe v autě k dispozici základní sadu korunek, které můžeme otestovat pro danou horninu na místě, kde je pro Vás problém vrtat.

Správné nastavení stroje a vrtacích parametrů, servisní zázemí

- Epiroc - Správné a odborné nastavení vrtacích parametrů: příklep vrtacího kladiva, přítlak, tlumicí tlak, tlak v rotaci a správné otáčky korunky jsou klíčovými parametry pro vrtací rychlost a výplach vrtu. Bez těchto faktorů se stává vrtání pro Vás finančně ztrátové.

- Naše servisní zázemí je Vám plně k dispozici dle daných potřeb a problémů. Pokud jsou problémy s vrtacím nářadím, pak se jako první vše řeší se servisními techniky, kteří stroj servisují a kteří komunikují s technikem vrtacího nářadí.

Epiroc innovation and optimization of drilling tools

SmartROC T35 Electric

At the Bauma trade fair, Epiroc presented its very first surface drilling rig with hybrid battery-electric drive: SmartROC T35 E. The machine's design derives from the proven SmartROC T35 surface drilling rig. Combined with invaluable experience gained from developing underground battery machines and in cooperation with customers, this new machine is designed to improve environmental standards at quarries and large construction sites. Besides low emission, this drilling rig provides a range of intelligent functions, plus high-level safety, reliability and performance in a quiet work environment. The SmartROC T35 E rig is equipped with a battery and electrical cable, so that operators can choose the best alternative for drilling in a given environment.

My Epiroc – higher productivity, less downtime

At Epiroc, we constantly work on new technology and are strongly focused on developing digitization and automation. We present our application **My Epiroc**, which enables customers to fully manage their machine fleet, including visualization of telemetric machine data, maintenance planning, and notification and monitoring of machine breakdowns.

Optimization of drilling tools

When they hear this, many imagine various scientific surveys and testing, but Epiroc is interested in reducing your operating costs for drilling to the lowest possible price per metre.

Costs can be reduced in two ways:

A complete drilling column from one supplier – Epiroc

- Shank adaptors – From our long service history and experience, we know that non-original shank adaptors for a hydraulic hammer drill often cost more than the few euros saved on the purchase. Very often, subsequent service raises the cost by multiples (10,000 euros).
- Drill rods – For several years, we have had the patented T-Wizz thread treatment that ensures easy thread loosening and vibration. We ensure the bars' elasticity and overall flexibility through unique manufacturing technology and overall heat treatment.
- A suitable bit – Our technicians always have a basic set of bits in their vehicle, so that we can test a given rock in a place where it causes you drilling problems.

Correct setting of machine and drilling parameters, service capabilities

- Epiroc – Correct, professional adjustment of drilling parameters: drill hammer impact, down pressure, damping pressure, rotation pressure and correct bit speed are key parameters for drilling speed and bore flushing. Without those factors, you'll drill at a financial loss.

- Our service capabilities are fully available according to your needs and issues. If there are problems with a drilling tool, everything is handled by the technicians who service the machine and communicate with the drilling tool technician.

geo-konzept GmbH

Nový přístup k provádění trhacích prací

Současný stav a legislativa oboru provádění vrtných a trhacích prací malého a velkého rozsahu, zažívá modernizaci ve všech stupních této činnosti. Do popředí se dostávají nové metody měření skalní stěny, nové softwarové možnosti a je také snaha vyvíjet nové trhaviny, co nejméně zatěžující životní prostředí.



Obor trhacích prací prošel za posledních 20 let řadou změn. Dospěl do bodu, kdy používání neelektrických systémů roznětu je standardem a již nastupuje ve větší míře roznět elektronický, kterým lze lépe optimalizovat časování odstřelů, a tedy dodržet požadovanou fragmentaci rubaniny a podmínky seizmického zatížení okolí.

Dochází také k progresu na poli projektování a zaměřování. Standardem by již mělo být skenování pracoviště pomocí laserových stanic. Do popředí se stále více dostává možnost měření pomocí UAV a fotogrammetrických softwarů s následným převedením informací do projekčních programů pro projektování trhacích prací.

Střelmistři, majitelé lomů a poskytovatelé služeb trhacích prací se v dnešní době potýkají se spoustou výzev.

Na jedné straně se musí vyhýbat jakékoli formě nežádoucího rozletu horniny, který způsobuje poškození zařízení nebo dokonce lidského života.

Vzrůstá také potřeba minimalizovat vibrace způsobující konflikty s lidmi žijícími v blízkosti místa provozoven.

Na druhou stranu potřebují produkovat dobře fragmentovaný materiál, připravit velké množství dokumentace pro klienta a úřady a v neposlední řadě je kladen velký důraz na minimalizaci nákladů trhacích prací.

Společnost geo-konzept je jedním z lídrů na trhu v oblasti měřicí techniky a projektování trhacích prací a klade důraz na bezpečnost a profesionalitu těchto prací.

V přednášce se mimo jiné dozvíte nové trendy a možnosti při zaměřování pracoviště pomocí 3D FastScan Profiler HP, zpracování projektu pomocí nejnovějšího softwaru QuarryX Pro, možnosti vytyčování vrtného schéma pomocí GNSS modulu a následné přeměření inklinace vývrtů pomocí sondy Blasthole Probe Mk3 a také propojení projektování s vrtací soupravou pomocí RiGuide - GNSS Rig Guidance systém.



Obr. 1 – Znáznornění systému geo-konzept



Obr. 2 – ukázka rozhraní softwaru BlastManager

Základem systému společnosti geo-konzept je software Blast Manager (BM). Komplexní řešení začíná zadáním parametrů do tohoto programu, který umožňuje vložit klienta, provozovnu, databázi trhavin a rozněcovadel, nastavení parametrů lokality a parametrů vrtných a trhacích prací. Pomocí BM je možné vytvářet a spravovat projekty odstřelů, stahovat a zpracovávat data z různých systémů pro profilování lomové stěny. BM umožňuje výměnu dat mezi jednotlivými softwary.

BlastManager je k dispozici ve dvou verzích, a to ve verzi Standard a Pro. Verze BlastManager Pro umožňuje oproti standardní verzi analýzu nákladů a seizmických účinků a rozšířenou možnost importu a exportu dat.

Základem systému je zaměření pracoviště. Pro tuto činnost vyvinula společnost geo-konzept laserový přístroj FastScan Profiler HP. Tato stanice je určena převážně pro vytvoření 3D modelu pracoviště ve velmi krátkém čase, v závislosti na podmínkách a nastavení přístroje. Přístroj FastScan disponuje ve spolupráci s tabletem MESA velmi intuitivním ovládáním. Jeho nespornou výhodou je možnost zaměření jakéhokoliv profilu lomové stěny, vrtné nebo těžební etáže.

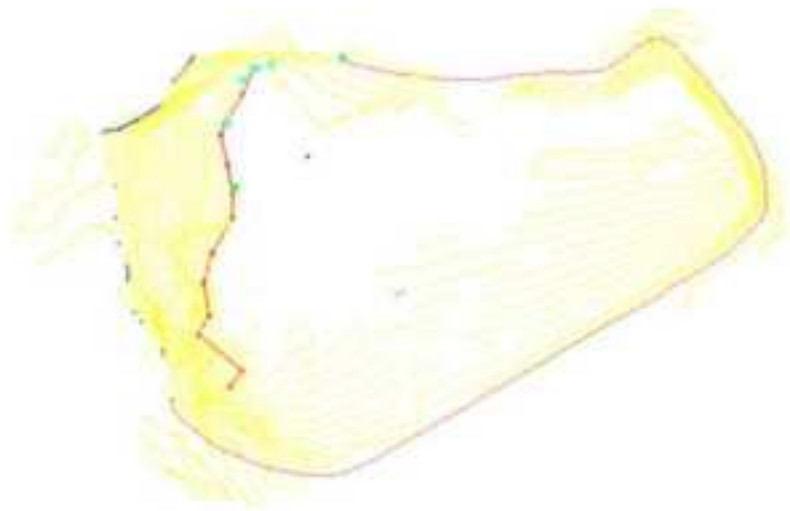


Obr. 3 – Přístroj FastScan Profiler HP

Rychlost skenování je závislá pouze na vzdálenosti přístroje od pracoviště. Přístroj je schopen měřit ve vzdálenosti od 0,5 m do 300 m. Čím je přístroj dále od pracoviště, je skenování povrchu kratší. Doporučená vzdálenost je praxí určena na interval 10 m – 250 m.

Přístroj je také schopen měřit i za zhoršených klimatických podmínek jako je déšť, sníh a mokrá stěna.

Přístrojem lze také provádět záměru pracoviště z několika měřících stanovišť a je také schopen zpracovat jakýkoliv zadaný reliéf pracoviště. Není tedy potřeba zaměřit pro skenování pouze tři body, kde by si přístroj čtvrtý dopočítal do obdélníku, ale je možné si přístrojem označit jakoukoliv nelineární plochu a přístroj tuto plochu naskenuje.



Doplněním a dnes již zcela potřebným je použití GNSS modulu přes národní RTK síť pomocí internetového přístupu.

Díky spojení FastScan Profile HP a GNSS modulu je dosaženo přesné záměry pracoviště v GPS souřadnicích v různých formátech souřadnicového systému.

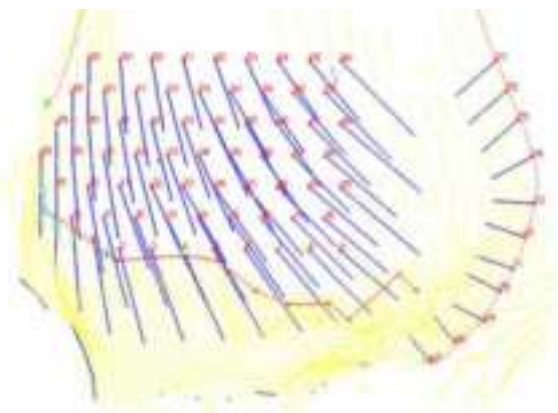
Obr. 4 – Ukázka záměry pracoviště z pěti měřících stanovišť – 2D model

Pro vytvoření kvalitního, bezpečného a profesionálního projektu ve 2D i 3D vyvinula společnost geo-konzept programy QuarryDetonator (QD) a QuarryX (QX), který je možné koupit opět ve dvou verzích Standard a Pro.

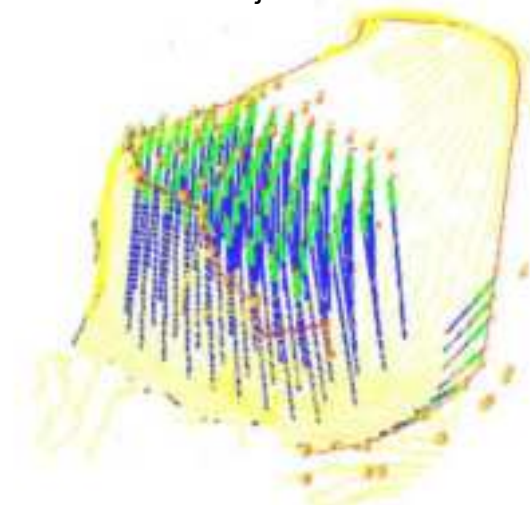
Program QX disponuje mnoha funkcemi pro neoptimálnější plánování vrtných a trhacích prací. Je možné posouvat ústí vrtu bez posunutí paty vrtu a tím optimalizovat vrtné schéma. Je možné měnit úhly a azimuty vrtů, délky vrtů a jejich převrtání v návaznosti na jejich úhel.

Samozřejmostí programu QX je upnutí ústí vrtu na vrtnou etáž a při zaměření výšky těžební etáže, přesně v závislosti na sklonu vrtů a jejich azimutů, naplánovat jejich přesnou délku.

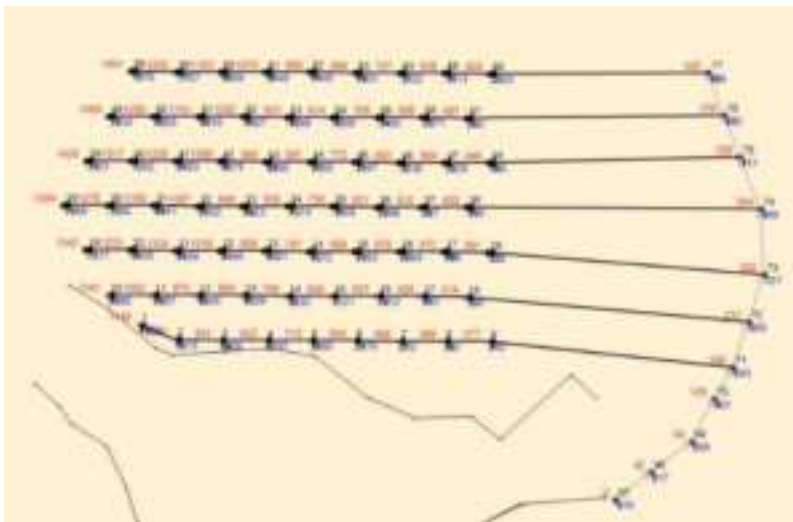
Projekt je možné plánovat v 2D a následně překontrolovat ve 3D modelu. Je zde také možnost měřit záběr a vzdálenosti jednotlivých vrtů mezi sebou v jakékoliv hloubce vrtu.



Obr. 5 – 2D projekt odstřelu

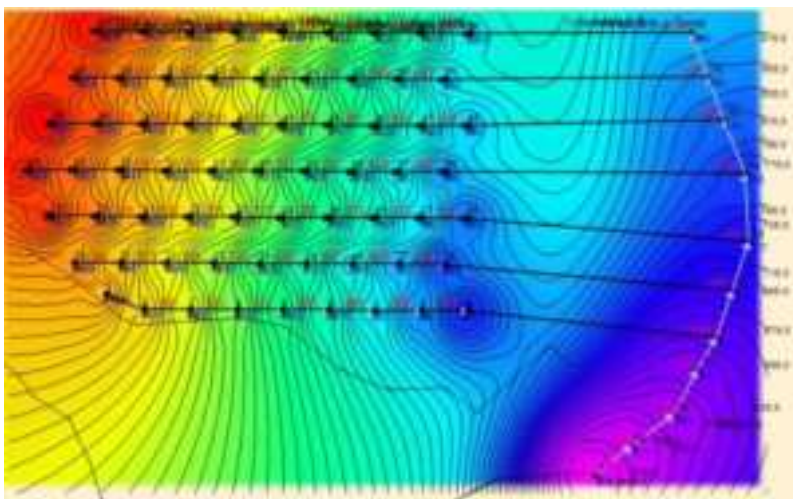


Obr. 6 – 3D model projektu



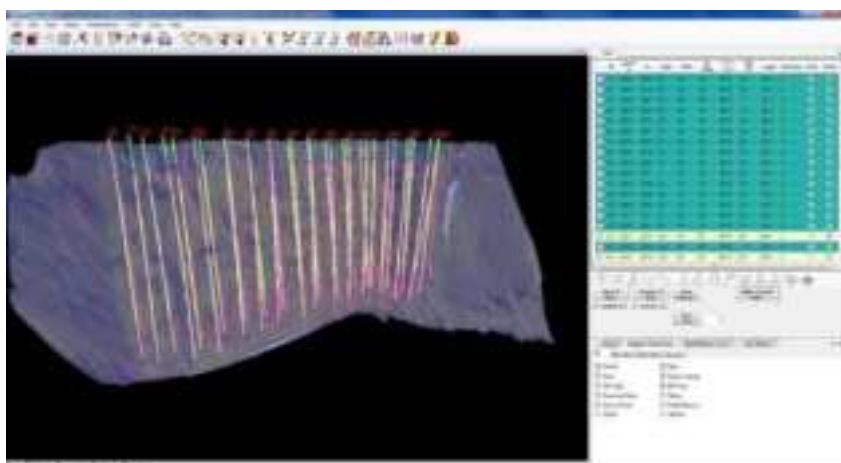
Obr. 7 – Příklad časování odstřelu

Optimální vrtné schéma je možné podpořit zadáním typu horniny, jejími mechanicko-fyzikálními charakteristikami, typu vrtné soupravy, průměrem vrtů, zamýšlenou použitou trhavinou a zamýšleným návrhem časování s ohledem na výslednou rubaninu a seizmické zatížení okolí.



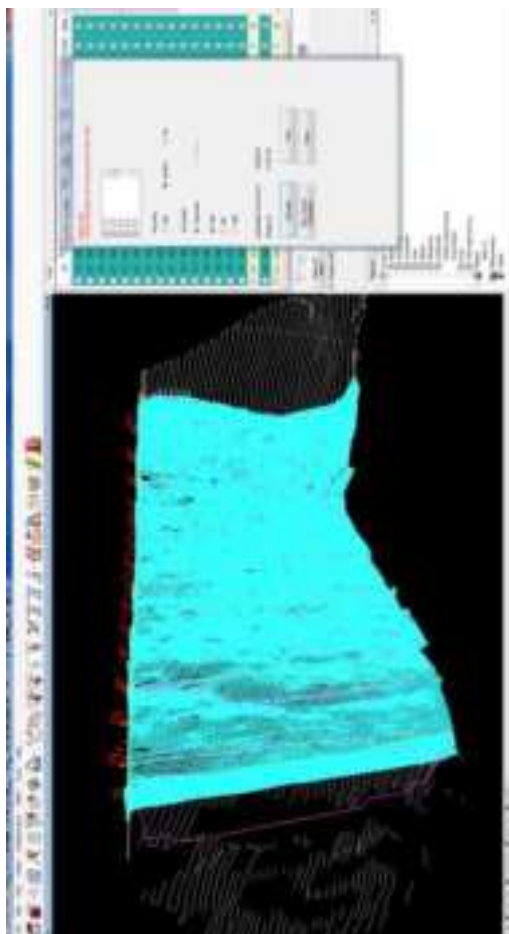
Obr. 8 – Znázornění seizmických vln při zvoleném časování odstřelu

Program je také schopen predikovat seizmické zatížení v daném místě, nadměrný rozlet za hranici bezpečnostního okruhu a také je schopen propočítat fragmentaci rubaniny na základě několika metod.



Obr. 9 – 3D model stěny s vloženými vrty

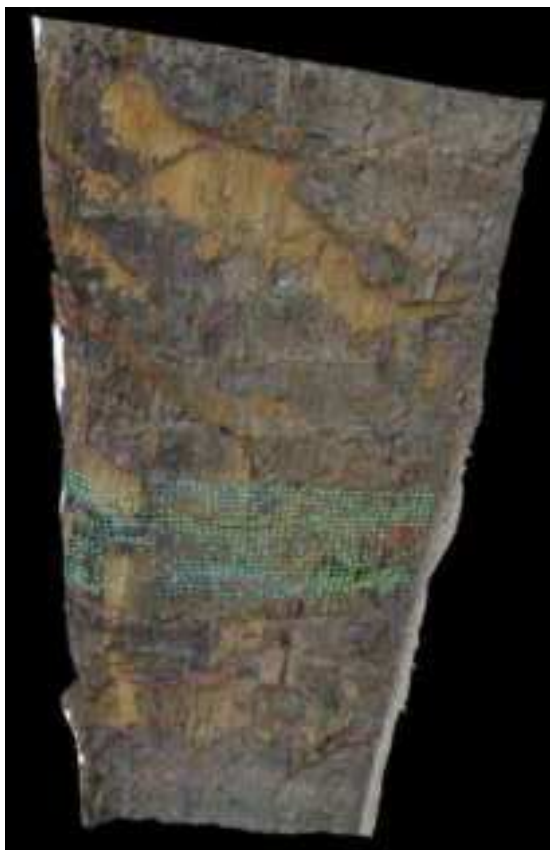
Programem je také možné změřit počáteční plánovaný objem rubaniny a následně je možné zaměřit pracoviště po provedení odstřelu pomocí GNSS modulu a spočítat přesný objem rubaniny. Pro výpočet objemu horniny vyvinula společnost geo-konzept speciální program VolumeX (VX).



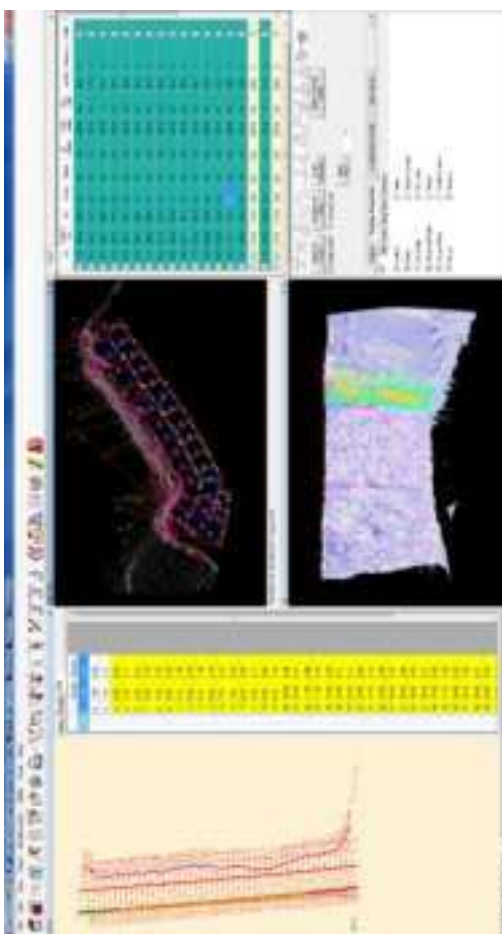
Obr. 10 – Ukázka výpočtu objemu horniny rozpojené odstřelem



Obr. 11 – Ukázka úhybu vrtnu první řady v řezu



Obr. 12 – Vložení reálného snímku do projektu

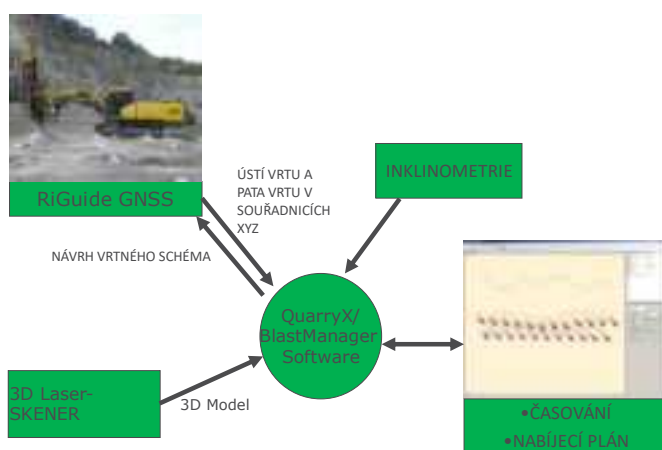


Obr. 13 – Řez vrtnu první řady a jeho zobrazení ve stěně odstřelu s odhadem působení náloží

Po zpracování projektu v programu QX lze vrtné schéma vytýčit pomocí GNSS modulu. Jedná se o přesnou a bezpečnou práci při navrhování a vytyčování odstřelu.

Součástí tabletu MESA v spojení s GNSS modulem je také možnost funkce Life profile. Jedná se o kontrolu plánovaného vrtného schéma na místě odstřelu. Lze tedy pomocí GNSS modulu zobrazit řez první řady přímo v místě plánovaného vrtu a ověřit tím naplánované vrtné schéma v závislosti na přesné pozici vrtů.

Další částí celého systému je možnost komunikace střelmistra s operátorem vrtné soupravy. Lze odeslat vrtné schéma odeslat do vrtací soupravy, která je předem vybavena systémem geo-konzept. Vrtací souprava je poté schopna sama najet na pozici vrtů pomocí GPS. Jedná se o systém RiGuide - GNSS Rig Guidance system (RGS).



Tento systém výrazně usnadňuje práci jak střelmistřům, tak obsluze vrtací soupravy. Odpadá vytyčování vrtů střelmistrem nebo obsluhou a díky přesné GPS lokalizaci ústí vrtu jsou eliminovány chyby při vytyčování a tím zaručena bezpečnost provedení odstřelu.

K dispozici je analogové rozhraní pro obsluhu vrtné soupravy. Systém obsahuje úhlové senzory, měření hloubky, zaměřovací zařízení (CAN Bus), panel PC, software RiGuide, GNSS kompas (TCP/IP) a RTK GNSS (TCP/IP).

Obr. 14 – Systém práce s GNSS Rig Guidance

Systém RGS lze použít na AtlasCopco, Sandvik, Hausherr, Furukawa, TM Bohrtechnik a další vrtné soupravy.

Systém je dodáván ve 3 modulech:

- 1) Jednoduché zaměřovací zařízení.
- 2) GNSS systém na bázi kompasu.
- 3) Plná 3D navigace

Možnosti systému ve VŠECH modulech jsou:

Vytvoření vrtného schéma

Import vrtného schéma (IREDES nebo soubor QuarryX .qxd)

Sběr Strata informací

Funkce AutoCollect

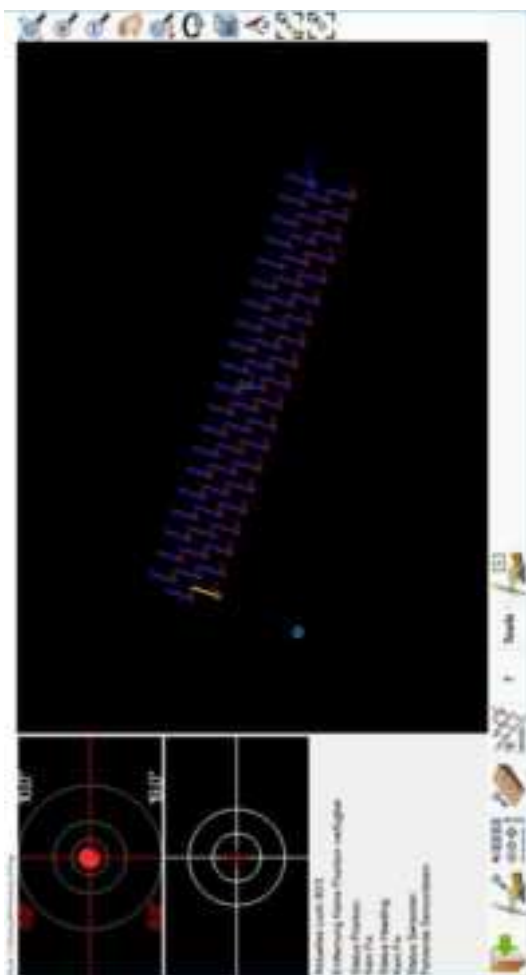
Vytvoření zprávy o kvalitě vrtání pro import do QuarryX

Upravení parametrů vrtů

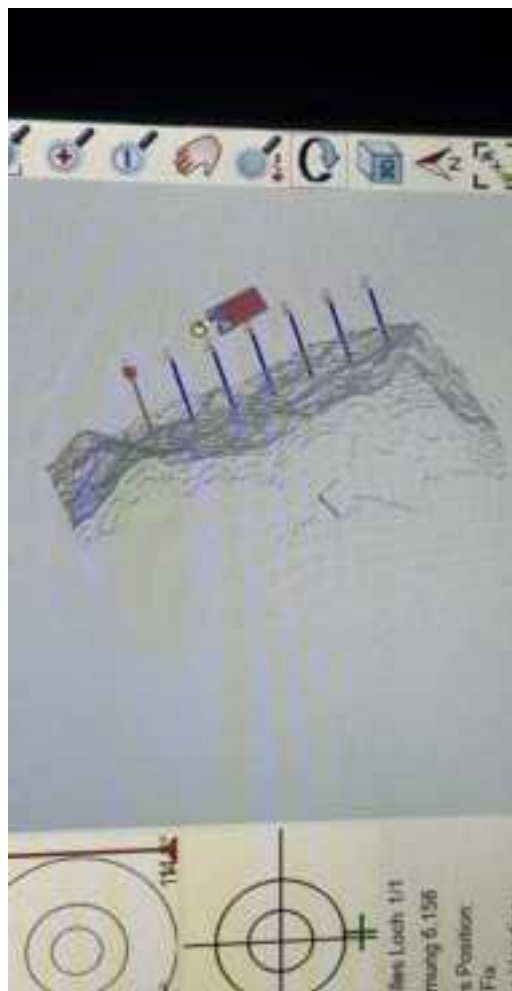
Online podpora (vyžaduje připojení k internetu)

Snadná výměna dat (e-mail, cloudové webové služby, USB)

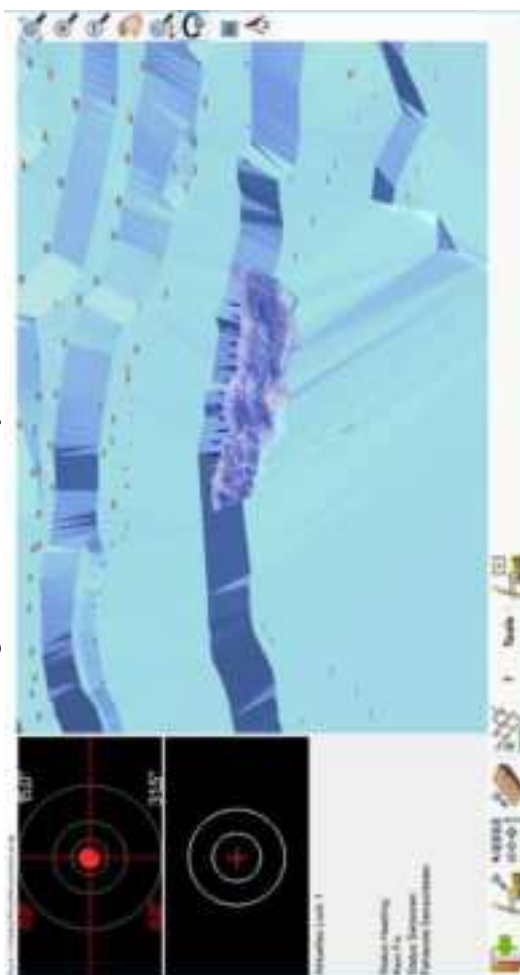
Automatické zastavení vrtání, pokud je dosaženo požadované hloubky vrtu



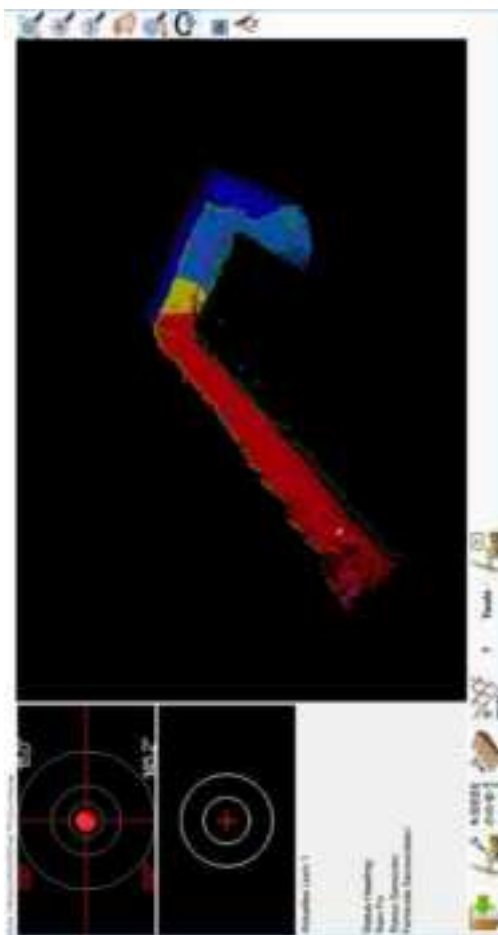
Obr. 14 – Úvodní analogová obrazovka systému



Obr. 15 – RiGuide 2D náhled během vrtání



Obr. 16 – Vizualizace v programu QuarryX nahraná do vrtací soupravy

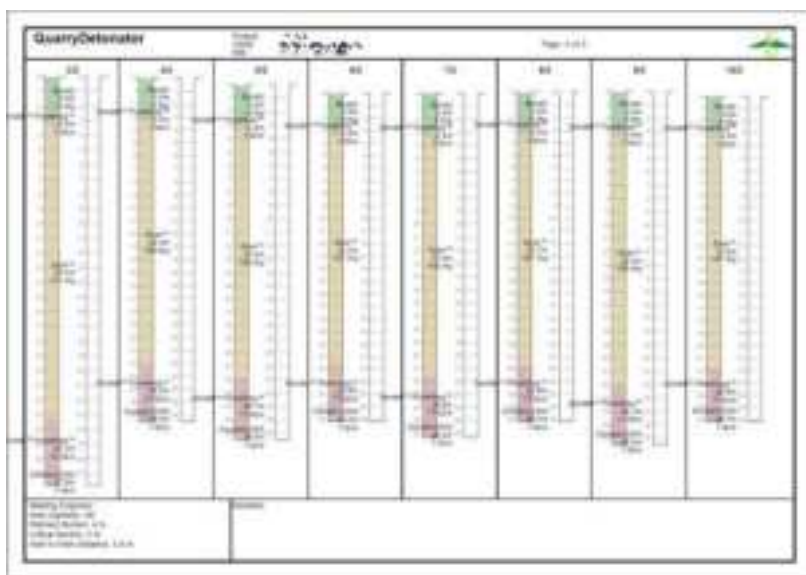


Obr. 17 – Plán odstřelu v 3D nahraný do vrtací soupravy



Obr. 18 – Příklad úhybu vrtů

Součástí systému geo-koncept je také sonda Blasthole Probe Mk3 pro kontrolu inklinace a deviace vrtů. Data ze sondy je možné velmi jednoduše a intuitivně importovat do projektu, vytvořeném v QuarryX. Společně se zaměřením vrtů pomocí GNSS modulu, lze vytvořit přesný náhled odstřelu v reálných souřadnicích s reálným průběhem vrtů.

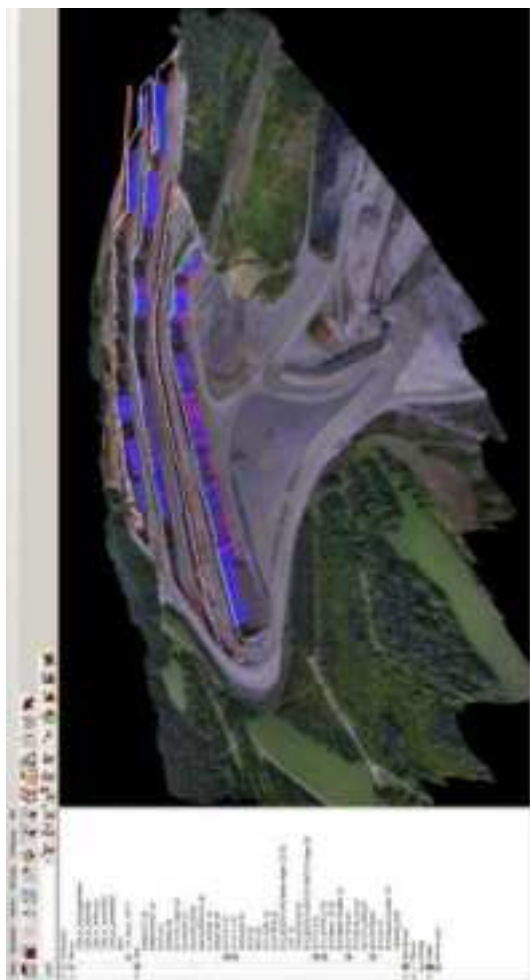


Obr. 19 – Příklad nabíjecího plánu vrtů

Na základě takto zjištěných dat lze dokonale optimalizovat nabíjecí plán jednotlivých vrtů včetně meziucpávek, omezení náloží a zvolení nejvhodnějšího schéma časování odstřelu s ohledem na místní podmínky.

Kompletní systém uzavírá program Quarry Manager (QM), který je určený převážně pro samotné provozovny a společnosti provozující kamenolomy.

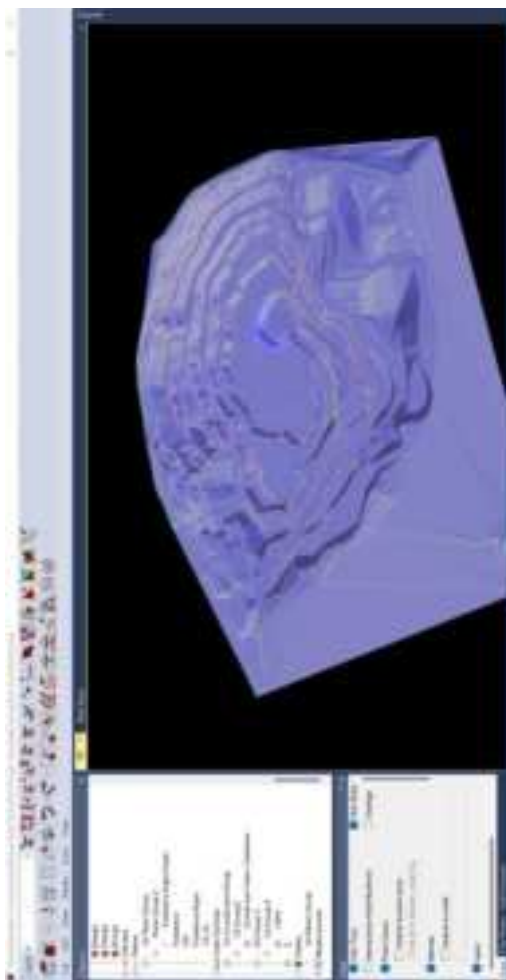
Software umožňuje zaměření celého kamenolomu v GPS souřadnicích, následně vytvoření přesného 3D modelu. Do tohoto modelu je možné vkládat data ze všech kompatibilních zaměření a realizované odstřely. Jak kamenolom, tak společnost dodávající trhací práce mají dokonalý přehled o pozici odstřelů, odstřelené roční kubatury, včetně sklonu a výšek jednotlivých etáží. V QM je také možné plánovat rozšíření lomu, další postupy, vytvoření dopravních cest, optimalizaci skryvkových prací a celkovou vizualizaci provozovny.



Obr. 21 – Ukázka QuarryManager s vloženými odstřely



Obr. 22 – Ukázka QuarryManager 3D model ve vrstvách



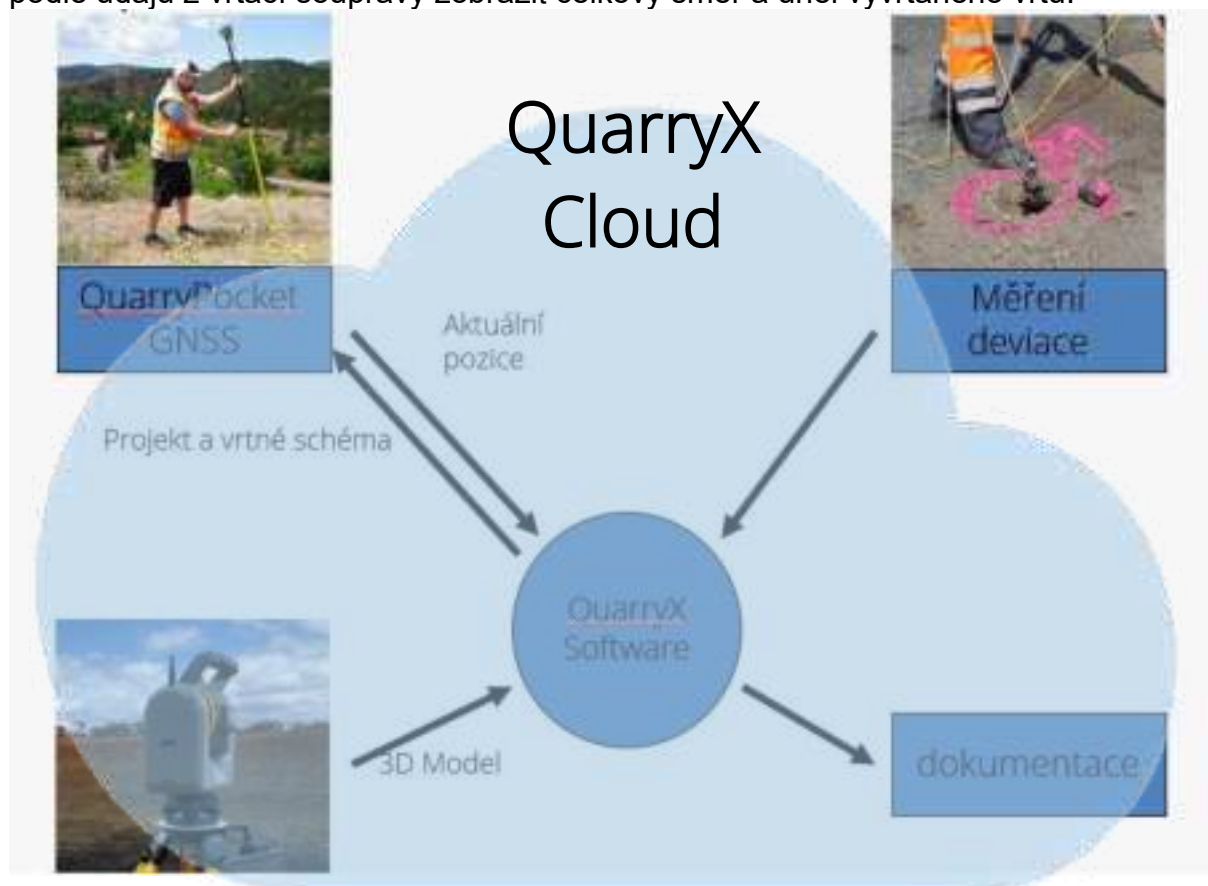
Obr. 23 – 3D model celého kamenolomu



Obr. 23 – Zobrazení provedených odstřelů ve 3D

Benefity systému geo-konzept

Systém geo-konzept je v současné době možné získat včetně QuarryX Connect. Jedná se o cloudový systém ukládání a organizace prací. V rámci jedné společnosti je možný přístup odkudkoliv s internetovým připojením. Systém umožňuje daleko efektivnější organizaci prací střelmistrů a jejich zastupujících kolegů, jelikož jsou všechna data o lokalitě, data ze záměry pracoviště, projekt odstřelu, informace o vrtání a nabíjecím plánu včetně časování dostupné na cloudovém úložišti. Střelmistr má dokonce možnost on-line kontroly vrtání pomocí mobilní aplikace. Ta zobrazuje reálný stav vrtných prací, a dokonce je schopna podle údajů z vrtací soupravy zobrazit celkový směr a úhel vyvrtaného vrtu.



Celý systém geo-konzept je modulární (skener, sonda, GNSS, software, RiGuide). Umožňuje flexibilní pracovní postupy v závislosti na potřebách zákazníka na základě přesných dat z jednotlivých sekcí systému. Systém je kompatibilní se všemi verzemi MS Windows: WinXP – Windows 11. V současné době je k dispozici v několika jazykových mutacích. V roce 2023 se chystá česká mutace QX a QD.

Součástí konceptu je školení zákazníků a podpora prováděná odborníky a to on-line nebo v místě zákazníka.

Použitím systému geo-konzept je zákazník schopen projektovat vrtné a trhací práce s největší přesností, dodržovat kontrolu vrtacích prací, optimalizovat nabíjecí plán s ohledem na lokalitu a zamýšlené trhaviny, optimalizovat časování odstřelů s ohledem na fragmentaci rubaniny a seizmické zatížení okolí a v neposlední řadě provádět trhací práce ekonomicky.

Připravil: Ing. Petr Konupčík
zástupce společnosti geo-konzept GmbH pro ČR a SR

Robbantások
rendkívüli körülmények között

prof. dr. Bohus Géza, CSc, Miskolci Egyetem

Életem legfontosabb munkaköre a robbantások tervezése és kivitelezése volt. Két év bányamérnöki gyakorlat után tettem robbantásvezetői vizsgát a tatabányai Bányafelügyeletnél. Jogosultságom „mindennemű” robbantási munkálatok tervezésére és vezetésére szolt.

Ebbe az 55 évbe nagyon sok hazai (és számos külföldi) munka belefért, melyek közül 8 olyan munkát választottam ki, melyek témája és kivitelezési körülményei nem szerepelnek a robbantástechnikai szakkönyvekben és szakcikkben.

Ennek a 8 munkának kettős tanulsága is van: az egyik, hogy bárki kerülhet hozzám hasonló helyzetbe. a másik, hogy ezek a példák is alátámasztják azt a tapasztalatot, hogy jól átgondolt és felelősséggel kivitelezett robbantással nagyon sok feladat biztonságosan megoldható.

Rövid számvetés

Készítettem egy vázlatos összegzést is arról, hogy mit tudtam tenni a szakmában az elmúlt jó fél évszázad alatt.

3 szakkönyv társszerzője és 2 szakkönyv lektora, 3 lexikon szócikk-szerzője, továbbá 2 egyetemi és 12 továbbképző jegyzet szerzője – 35 „ROBBANTÁSTECHNIKA” periodika készítője – 112 szakképző szerzője önállóan vagy társszerzővel – 97 előadás tartása hazai és külföldi konferenciákon – 51 továbbképző tanfolyam szervezése és azokon előadások tartása.

9 nemzetközi robbantástechnikai konferencia szervezője – 5 szabadalom társszerzője – 117 kutatási jelentés és 201 szakvélemény készítője vagyok – 246 magyarországi településen végeztem munkákat, számos helyen többet is – 39 föld alatti bányában és alagútnál végeztem munkákat – 65 külfeljárás nyitásával, technológiájának fejlesztésében vettem részt – 271 különböző építmény teljes vagy részleges bontását végeztem robbantással. (Ebben a felsorolásban még nincsenek benne a kohászati, vízügyi, erdészeti, mezőgazdasági, szeizmikus stb. robbantások, valamint a nagyobb – főleg budapesti – építkezésnél végzett zaj- és rezgésmérések – dr. Kovács Attilával és dr. Buócz Zoltánnal.)

Külföldön nem könnyű robbantást vállalni. Nem mintha a földrajzi és fizikai körülmények mások volnának, mint hazánkban, hanem a robbantásokkal szembeni igényeket általában úgy fogalmazzák meg, hogy csak az vállalhat idegenben ipari robbantási munkát, aki az adott ország hivatalos nyelvén leviszsgálja az ott hatályos robbantási szabályzatból. Ez viszont nem könnyű. A megoldás: valamelyik ismerős helyi szakember felvállalja a munkát, akit mind a tervezésben, mint a kivitelezésben ötletekkel, jó tanácsokkal láthatunk el. Így dolgozhattam Csehszlovákiában, Szlovákiában, és Németországban építmények bontásán. A Németországban és az Izraelben dolgozó magyar alagútépítőket tervekkel, műszaki megoldásokkal segíthettem.

A katonai munkák végzése jóval egyszerűbb feladat. A laikus számára úgy tűnhet, mintha bizonyos országokban a hadsereg törvényeken kívül álló szervezet lenne. Ilyen érzésem volt Jemenben – ahol az államfő föld alatti bunkerének építését vezettem – és különböző feladatok végzése során több afrikai országban is Szép feladat volt Egyiptomban a Nílus völgyében húzódó vasútvonal mellett helyet készíteni a közeli sziklákban egy újabb vágánypár lefektetéséhez – természetesen a vasúti közlekedés minél kisebb zavarásával. Vannak még maradandó emlékeim az Etiópiában, Szomáliában, Iránban és Mongóliában végzett munkáimról is.

1. Robbantás a Duna alatt

A ma M2-nek, de korábban Kelet-Nyugati metró vonalnak nevezett alagút a budapesti Parlament mellett húzódik a Duna alatt.

Az építés során az első problémát a metán megjelenése okozta a Duna két partja közelében. A folyó medre alatt ugyanis széntelepek találhatók, melyek metántartalma a vetőkön keresztül beáramlott az alagút szelvényébe. A Bányafelügyelet gyorsan intézkedett: minden villamos berendezést -, így a szovjet fűtőpajzsokat is -, sújtólégbiztosabbra kell kicserélni.

Ilyen gépek, berendezések viszont akkor egyáltalán nem voltak nálunk. Mit lehetett tenni? Hosszú lyukakat fűrtünk és azokon keresztül lecsapoltuk a metánt.

Ekkor újabb gondok jelentkeztek: az alagút szelvényében 0,8...1,2 m vastag homokkő-padok akadályozták a fűtőpajzsok munkáját. Ilyen közetben az alkalmazott fűtőpajzsok leálltak. Mit lehetett tenni? – A pajzsok vágóéle előtt meg kellett robbantani a kőzetpadokat. Az így felaprított kőzetdarabokat már ki lehetett szállítani. Később jöttünk rá, hogy a legjobb megoldás, ha az alagút egész szelvényét kirobbantjuk a kitörés hosszában (1,0 m-re).

Ebből a megoldásból nagy ijedelem támadt és számos (felesleges) biztonsági intézkedést fogantatosítottak. A legnagyobb félelmet a Duna vízének bejutási lehetősége okozta. Erre viszont nem

került sor, mert az alagutak főtepontja fűtött mindenütt 10m vastag, jó minőségű vízzáró sárga – réteg volt.

A robbantásokkal pedig 2m-nél hosszabb repedéseket nem tudtunk létrehozni.

(Az alagutak lyukasztása után nagy ünnepséget tartottunk, a beruházó pedig megajándékozott egy Zsiguli gépkocsival).

2. Alagúthajtás a Gellérthegyben

Budapest egyik fontos látványossága a Gellérthegy, a hegy tetején a Citadellával. A hegy északi oldalán a Rác-fürdő, déli oldalán a Gellért-fürdő, középütt, a Duna mellett pedig a Rudos-fürdő található, melyeket a gellérthegyi források látnak el gyógyvízzel.

Az 1970-es években a főváros illetékesei úgy határoztak, hogy a Gellért-fürdő fölötti hotel alagsorától induló alagúttal összekötik a három fürdőt és a hotel vendégeit a nekik megfelelő gyógyhatású fürdőkbe egy alagútban haladó kisvasúttal szállítják.

Az alagút-építés legnagyobb akadályát maga a hegy képezte. Ugyanis annak kőzetanyaga nem túl tömör, repedésekkel sűrűn szabdalt dolomit. A meredek hegyoldal alatt – a Dunával párhuzamosan – egy főközlekedési út húzódik nagy fővárosi forgalommal.

A hegy felszínétől kb. 20 m-re épített, 18m²-es szelvényű alagútban végzett robbantások kitágították a hegy oldalán lévő repedéseket, ami kőzetomlához vezethetett.

Ennek elkerülése érdekében rendszeresen mérni kellett a robbantások keltette rezgéseket és figyelni a repedések tágulását.

A végeredmény: a 800 m hosszúságú alagutat kőzetomlás és forgalom-terelés nélkül tudtuk kihajtani.



1. A gellérthegyi alagút

3. Üreges testek robbantása

Az ipari robbantások tervezői abban érdekeltek, hogy minél kevesebb robbanóanyagot használjanak. Ezt igényli a káros környezeti hatások korlátozása is. De ki lehet váltani a robbanóanyagot valamilyen más munkaközeggel? Igen, ez pedig az „összenyomhatatlan” víz.

Viszonylag kevés szerkezet robbantásának megkönnyítésére használhatjuk ki a víz előnyeit. Ilyenek a zárt, vagy könnyen zárttá tehető, üreges szerkezetek. Annál könnyebb ilyen szerkezetet robbanással elbontani, minél kisebb a falvastagság és olcsón áll rendelkezésre víz, aminek az elvezetéséről is gondoskodni kell.

Több ilyen munkánk közül a visontai lignit külfejtés útjában lévő halmajugrai borászati üzem földbe épített, kb. 5m x 5m 5m méretű, 25cm falvastagságú vb. tartályait említeném meg. Ezen tartályok robbantásos bontásához elegendő volt egy-egy, a tartály középpontjába helyezett kb. 10 kg-os koncentrált vízálló töltet felrobbantása. A vizet a külfejtés egyik közeli vízszintsüllyesztő kútjából hoztuk át tömlővel. A vb. dobozok szétnyíltak, a víz szétfolyt és elnyelődött.

A repeszhatás pedig 15m-en belül maradt.



2. Vékony vb. - falú objektum kinyitása koncentrált töltetekkel

4. Építmények irányba döntése

Magas, karcsú építmények (tornyok, gyárkémények, antennák stb.) irányba döntése – természetesen pontos tervezés és gondos kivitelezés mellett – könnyen teljesíthető. A kevésbé karcsú építmények egy kijelölt irányba ugyan elhúzhatók, de irányba döntésről már nem beszélhetünk. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a robbantástól csak annyi várható el, hogy a törmelék nem közel azonos szélességben fog elhelyezkedni az építmény alapja körül, hanem a kijelölt irányban szélesebb, az azzal ellentétes irányban kevesebb helyet fog elfoglalni a törmelék.

A tatabányai alumínium kohó timföld-silóját két nagy üzemi épület közé építették. A kohó bezárása után az új tulajdonosnak csak a gyárépületekre volt szüksége, a silóját viszont nem.

A gépi bontás – a szűk hely miatt – szóba se jöhetett. Így maradt a robbantásos irányba döntés. A döntés feltételei pedig a következők voltak:

A siló tetejét bezáró vasbeton korong széle az egyik épülettől 1,5 a másiktól 2,0m-re volt. A szerződésben kikötötték, hogy az épületek nem sérülhetnek! (Ezt a feltételt jól teljesítettük: a szomszédos épületeknek még az ablakai sem törtek ki).



3. Egy siló irányba döntése szűk helyre

5. Csőhorgonyzás robbantásos rögzítéssel

A robbantással rögzített horgony abból a felismeréből született, hogy a fűrőlyukba helyezett cső végét robbantással kitágítva a lyuk kiöblösödik s ha ezt a kitágult lyukvéget injektálják, olyan rögzítést lehet létrehozni, hogy a horgony a cső szilárdságának értékéig terhelhetővé válik. Ennek a horgonynak a működése, a horgonyzási eljárás legfontosabb jellemzői és előnyei az alábbiak:

Az első esetben a csőhorgonyt a közet tulajdonságainak megfelelő nagyságú töltet elrobbantásával elért kiöblösödés rögzíti és így, mint „pontrögzítésű” közethorgony működik.

Injektálás esetén a robbantás után a közetrepedésekbe a csőhorgonyon keresztül kötőanyagot injektálnak és ennek megszilárdulásával teherviselő közetköpeny alakul ki. A közetcsavaron keresztül történő kötőanyag-injektálás a közetköpenyt monolit-szerkezeté alakítja. Ezáltal a közet különálló rétegeit egymással összekapcsolja és így növelhető a teherbírása.

A robbantással rögzített csőhorgony szinte minden közetben alkalmazható: a puha agyagtól a kemény mészkőig. A robbantás egyúttal tömöríti a közetet, amely hatás elsősorban laza, üreges közetek esetében jelentős. A csőhorgony azonnal teherviselő, ellentétben a ragasztott horgonyokkal, melyek a beépítés után csak kb. két óra múlva teherbírók.

A csőből készült horgony felhasználható injektálás céljára is. Az injektálás hatásfokát – hatósugarát – növelni lehet a töltetsúly emelésével, illetve ennek eredményeként a robbantólyuk körül kialakítható növekvő repedésrendszer segítségével. A környező közet szilárdítását nagyban szolgálja az erre alkalmas anyaggal végzett nagy nyomású injektálás, mely a repedések, a közetben meglévő vállapok, réteglapok között kapcsolatot létesít. Az így szilárdított közet nagy hatékonyságú biztosítási rendszert alkot a vágatot övező közettömegben.

A csőhorgony méretezési szempontjai egyrészt megegyeznek más típusoknál követett elvekkel, másrészt a gyakorlati alkalmazás tapasztalatai alapján alakíthatók ki. A csőhorgony szakítószilárdsága a cső átmérőjének, falvastagságának, illetve anyagi minőségének változtatásával módosítható. A robbantással rögzített csőhorgonyok a végzett összehasonlító tehervizsgálatok szerint a műgyantával ragasztott horgonyokkal egyenrangúak. Teherbírásuk a cső méreteitől és a rögzítés utáni kezelés módjától függően változik (pl. 25,4mm átmérőjű esetén 50...150 kN).

Az injektált csőhorgony esetén a szétrobbantott esővéget kitölti az injektált anyag, amely megakadályozza a szétnyílt csőpalást visszahajlását. Az utóbbi horgonyok engedékenysége csupán a csőanyag megnyúlásából adódik, tehát ezek merevek és adott terhelésen túl a menetes résznél elszakadhatnak.

A budapesti 3-as metróvonal Váci úti szakaszán az alagút szelvényét határoló résfalakat ilyen módon horgonyoztuk hátra 20...22m hosszú, 80...100mm átmérőjű acélcsövek felhasználásával. Ezáltal feleslegessé vált a támfalakat egymásnak feszítő gerendák beépítése. (A metrós munkát Greschik professzorral, a bányabeli munkákat Dorogi Károlyval, a Dorogi Szénbányák főmérnökével végeztük Lencsehegyen).

6. Vasúti felüljáró bontása a Miskolc-Kassa közötti vonal fölött

A feladat megoldását gépi bontásra tervezték - , a vonatokat ideiglenesen autóbuszokkal kiváltva.

Miután engem is felkértek ajánlat-tételre, elhatároztam, hogy egy különleges robbantásos bontást fogunk alkalmazni.

A feladat lényege az volt, hogy a hídból csináljunk két tartót úgy, hogy a hosszanti vb. gerendák acél szálait a híd közepén robbantással átvágjuk. A pilléreket hátul szabaddá tesszük és a vasúti sínekből összeállított tartót földdel leterhelve a hidat kettévágó robbantás hatására a pillérek hátra dőlnek.

Egy éjszaka – vonatmentes időben, kis zajjal-, elvégeztük a robbantást (Onga község közelében) úgy, hogy az első, Kassáról érkező vonat késés nélkül haladhatott át a híd darabjai között.



4. Vasúti felüljáró robbantása

7. Tartóoszlopok beépítése metró-állomásokon

A budapesti 2-es és 3-as metróvonal egy-egy állomásán 50-100 oszlop tartja a főtét, melyek egy talp – és egy fejtárhoz közötti kapcsolatot teremtenek meg. (A tárhozba nagy szilárdságú vb. gerendákat építettek).

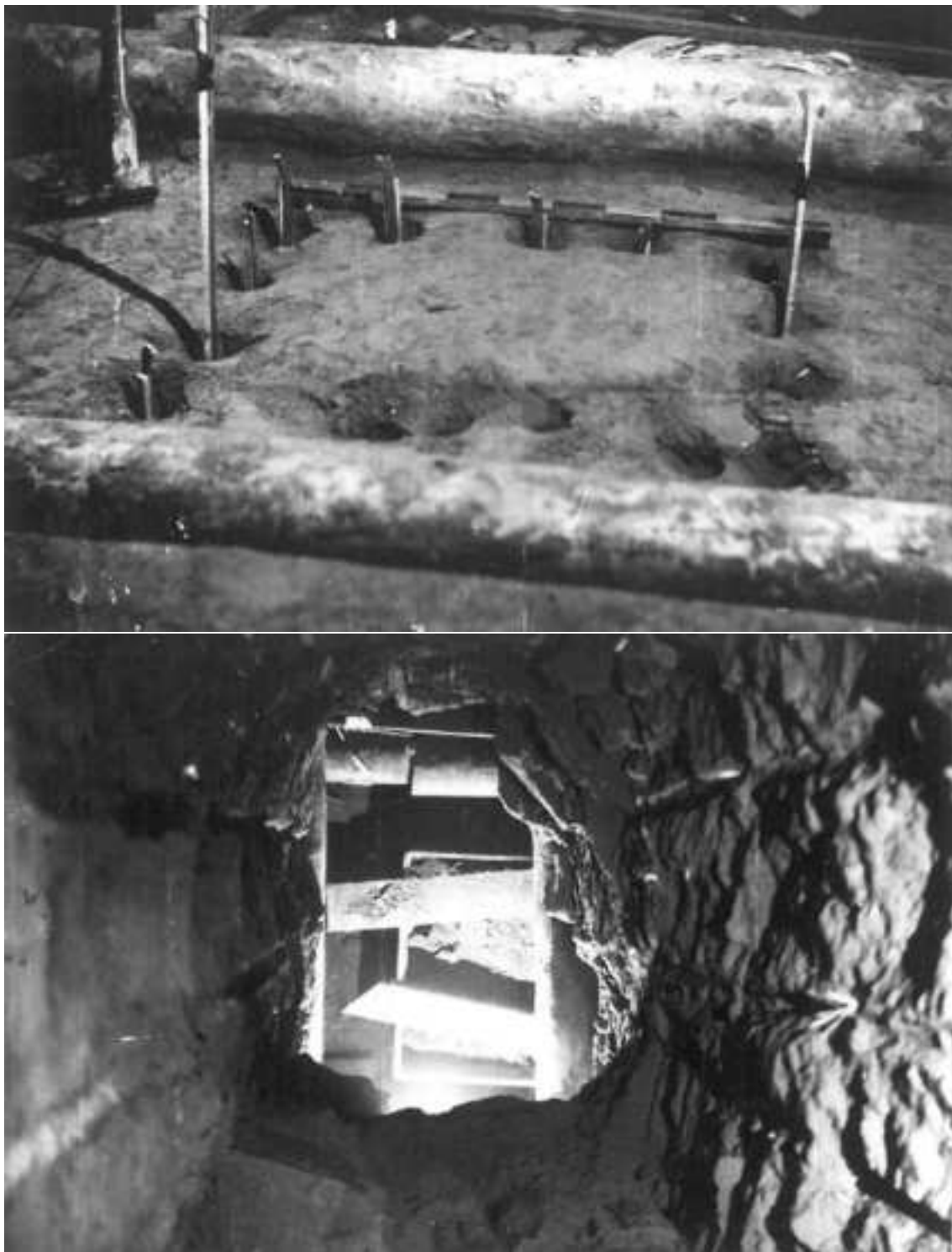
A tartóoszlopokat a közet magjában (fő tömegében) helyezték el alulról készített, ún. feltörésekben. (Ez a munka nemcsak hosszadalmas, de baleset-veszélyes is volt).

A megoldást a robbantásban találtam meg.

A felső tárhoz 14db kissé kifelé irányított, a közet vastagságánál 0,3m-rel rövidebb lyukat fúrtunk, továbbá egy függőleges lyukat az így körülhatárolt tömb közepébe. A tömb szélein fúrt lyukba NIPENTEX robbanózsínort, a középső lyukba pedig 0,3kg PAXITOT helyeztünk.

A robbanózsínórral áthasították a lyukak közötti közet, a Paxit pedig felaprította a csonkagúla formájú közettestet. Az alsó tárhoz betolt csillébe hullott a közettömbnek kb. a fele.

Ezzel a módszerrel nem csak gazdaságosabbá, hanem sokkal gyorsabbá és biztonságosabbá vált a talp-és a fejtárhoz közé behúzott tartóoszlopok helyének kialakítása.



5. Feltörés készítése metró állomások oszlopaihoz

8. Idegenek behatolása lezárt robbantási területre

Senkinek sem kívánom, hogy átéljen olyan eseményt, ami nekem adatott a budapesti SIEMENS-gyár irodaháza melletti lakóépület robbantásos bontása során.

Az öt szintes, belső udvaros, zárt téгла-épület az északi falával az irodaháznak támaszkodott. Ahhoz viszont, hogy onnan el lehessen húzni a kb 70m hosszú oldalfalat, az épület két végét előzetesen el kellett bontani. (Kézi szerszámokkal elválasztottuk, majd péntek délután a belső udvar felé bedöntöttük robbantással. Szombaton elszállították a sítet, mi pedig felkészültük a vasárnap 15 órára tervezett nagyobb robbantásra -, ami az épület hosszanti irányú falainak egymással szembeni behúzását jelentette).

A szükséges biztonsági intézkedések (az épület átvizsgálása stb.) megtétele után, elvégeztük a töltést, kialakítottuk a repeszvédelmet és védtük a robbantásra előkészített lezárt épületet. (Természetesen, hogy előzetesen nem csak a gyár illetékeseivel, hanem a környékeliekkel is egyeztettük és kihelyeztük a figyelmeztető plakátokat).

A probléma akkor keletkezett, amikor a gyár velünk egyeztető alkalmazottja közölte velem, hogy a vezérigazgató is szeretné megnézni (sőt, a szemben lévő gyárépület tetejéről videózni is) a robbantást, de közlekedési akadályok miatt késni fog. Kérte, hogy 3 órától – a szükséges mértékig – halasszuk el a robbantást.

Természetes, hogy a kérést teljesítve várakoztunk. A Gizella utcai oldalról néztük a még álló épületrészeket, amikor a déli épületrész második emeleti függő folyosóján megjelent egy ember piros felsőrészben. Elképzelhetik, hogy azonnal megállt bennem az ütő.

Minden segítőmet a robbantandó épületrészekbe küldtem, azoknak újbóli alapos átvizsgálására. Találtak is két 30 év körüli, kissé sokat napozott embert, akik arra a kérdésre, hogy mit keresnek az épületben? – Azt a választ adták, hogy úgy tudták, hogy vannak még réz drótok az épület falaiban, azokat gyűjtötték össze. És az sem tűnt fel nekik, hogy mindenütt ki volt plakátolva a 3 órás robbantás – és már elmúlt 3 óra-, mert kiderült, hogy ők analfabéták voltak!?

(Az esetet később ismertettem egy gyakorlott büntető bíróval. A válasz: még jó ügyvéd mellett is min. 5, max 8 év börtönre számíthattam volna, ha a Siemens-gyár vezérigazgatójának késése miatt nem kellett volna elhalasztanunk a robbantást).



6. Fotók a budapesti Siemens-gyári történethez

Utószó

A Dunai Vasmű, vagy DUNAFERR a legnagyobb kohászati üzem Magyarországon. Ez a cég a gyakori robbantási feladatokat saját robbantócsoporttal végezte a gyár privatizációjáig (még saját, nagy kapacitású robbantóanyag raktárral is rendelkeztek).

Mindaddig, amíg a Kassa melletti U.S.Steel nem vásárolta meg a kombinátot, addig gyakran kaptam én is különböző robbantási feladatokat a Dunafertről. Ezt követően viszont Eduard WEISZER barátomnak kellett minden robbantást megtervezni és kivitelezni úgy, mint a kassai kombinátban.

A motani – ukrán – orosz tulajdonú – kombináttól ismét kaptam feladatokat, de ezeknél mindig számíthattam E.W. szakértelmére, tapasztalataira. Ezt a kiváló szakmai és baráti együttműködést szeretném illusztrálni az utolsó fotóval, ahol a II. kohóban sikeresen befejeztük a mintegy 550t tömegű „medve” robbantásos felaprítását. (A képen álló harmadik személy Hevesi Imre kohómérnök, a munka koordinátora).



7. Dunaújvárosi csoportkép (B. G. – Eduard WEISZER és HEVESI Imre)

AZ ÉRZÉKETLEN ROBBANÓANYAG-IPARI TERMÉKEK ÉS ALKALMAZÁSUK LEHETŐSÉGEI¹

INSENSITIVE EXPLOSIVES PRODUCTS AND THEIR APPLICATIONS

Norbert DARUKA Ph.D²

Kivonat:

Az elmúlt évtizedekben a robbanóanyag gyártás nagy változásokon ment keresztül. Új robbanóanyagok jelentek meg a piacokon a bányászat igényeit, a robbantásos építménybontás igényeit, illetve az egyéb ipari robbantási feladatokhoz szükséges igények kielégítése miatt. Sajnos az elmúlt évek katonai cselekményei arra is rávilágítottak, hogy a hadi alkalmazás területén is folyamatosan végeztek ezeket a fejlesztéseket. Az új robbanóanyagok lehetőséget biztosítanak a minél gazdaságosabb és hatékonyabb robbanóanyag felhasználás elérésére. A gazdaságosság mellett a modern robbanóanyagok alkalmazhatóságát azok kezelhetősége is jelentősen befolyásolja. Célom, hogy bemutassak néhány olyan érzéketlen robbanóanyagot, amelyek a piacokon kevésbé ismertek, ezzel is elősegítve a szakterületen dolgozók munkáját.

Kulcsszavak: robbanóanyag-ipar, érzéketlen robbanóanyag, robbantástechnikai innováció.

Abstract:

Explosives manufacturing has undergone major changes in recent decades. New explosives have appeared on the market to meet the needs of the mining industry, the demolition of structures by blasting, and other industrial blasting tasks. Unfortunately, the military actions of recent years have also highlighted the fact that these developments have been continuously made in the field of military applications. New explosives offer the opportunity to achieve the most economical and efficient use of explosives. In addition to economics, the usability of modern explosives is also significantly influenced by their handling. My aim is to present some of the more insensitive explosives that are less well known on the market, to help those working in the field.

Keywords: explosives industry, insensitive explosives, explosive innovation.

INTRODUCTION

Researchers into the history of the development of explosives and detonators have many theories and, in some cases, evidence about the date of the first „deliberate” detonation in history. Many may consider this research as a passé and keep coming up with new theories to disprove the previous hypothesis. What can be proven at present is that explosives began to be used in military explosive devices, artillery shells, in the second half of the 19th century.

In 1887, the Frenchman Eugen Turpin introduced *Melinit*, a picric acid-collodion base, and the French army systematically used Turpin's artillery ammunition with picric acid explosive charges. During this period, the British Army used a military explosive known as Cordite Mark I or CSP³, as did the British Lyddite, the Russian *Silotwor*, the Austro-Hungarian Monarchy's *Ekrazit*, the Japanese *Simoze* and the German *Sprengkorper*. [1]

Used as a yellow dye in 1863, *trinitrotoluene*, or more commonly known as *Trotyl*, was only introduced into the explosives palette at the turn of the century, but thanks to its properties, the German military industry started using it as early as 1902 to charge artillery shells and high explosive mortars.⁴ “It was first used for military purposes in the 1905 Russo-Japanese War, the US began using it in 1912, and in World War I, it was a regular explosive of all belligerents.”⁵ The demand for treatment-proof TNT was so great that the production processes could not keep up. Experiments with

¹ NECITLIVÉ VÝBUŠNINY A ICH POTENCIÁLNE POUŽITIE.

² Ph.D graduate of military engineering, Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering; ORCID: 0000-0002-7102-1787. E-mail address: daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

³ CSP - Cordite Smokeless Powder.

⁴ The TNT-charged armour-piercing shells were capable of exploding on the other side of the armour, while the picric acid-charged armour-piercing shells used by the British at the time were already effective on the outside of the defences. This wasted much of the energy of the explosion. Therefore, in 1907, the British forces also switched to TNT.

⁵ LUKÁCS (2008) p.20.

mixed explosives then began, and in 1915 *Amatol*, a mixture of trinitrotoluene and ammonium nitrate in the right proportions, was created in England. This substance had the properties needed to replace pure TNT-based explosives in projectiles.

After the turn of the century, and unfortunately also drawing on the experience of the First World War, the development of explosives was characterised by an increase in the basic knowledge of explosives, a better understanding of the explosion phenomena and the continuous development of explosives and detonators. There are many examples of developments, experiments and various attempts, so to speak, which have contributed to the development of explosives with varying degrees of success. In addition to the thousands of experiments, there were, of course, examples of unsuccessful attempts, but these usually ended in serious or fatal injuries to the people involved.

On April 16, 1947, an explosion in the port of Texas City occurred in what has been recorded as one of the world's deadliest industrial accidents. The accident occurred aboard a French Liberty ship named "Grand Camp", loaded with 2,300 tons of ammonium nitrate (FGAN - Fertilizer grade ammonium nitrate). A fire in the hold caused the entire surface of the material to catch fire and detonate.

The unfortunate event and its terrible consequences were compounded by the fact that the ammonium nitrate and other cargo (peanuts, tobacco, twine, bunker oil) dispersed by the explosion continued to burn and the fire from the further reactions spread to nearby industrial sites and power plants. *"The explosion caused a fifteen-metre tsunami wave that hit the dock and flooded the area. Windows shattered in Houston, 40 miles to the north, and the blast was felt 250 miles away in Louisiana."* [2]

The explosion on the "Grand Camp" ship and its catastrophic effects had not even been realized when the ship "High Flyer", which had suffered minimal damage in the previous explosion, blew up less than an hour after midnight. This explosion was to be expected, as it was reported that attempts to tow the ship further away from the harbour in an attempt to reduce the damage were unsuccessful. The most important thing about the subject of the publication was that the ship was carrying about 1,000 tonnes of ammonium nitrate fertiliser in one hold and 2,000 tonnes of sulphur in the other two holds. This is important because ammonium nitrate becomes much more volatile when combined with sulphur. This explosion was expected, but it still killed 2 people and caused further damage to the port.⁶ Investigations have concluded that the spread of the ammonium nitrate explosion on the "Grand Camp" ship to industrial areas led to the incident becoming a major disaster.⁷ [2]

On 23 July 1947, the Norwegian cargo ship "Ocean Liberty" arrived in Brest with 3,160 tons of ammonium nitrate and 300 tons of oil after crossing the Atlantic. As in the previous cases, smoke was detected in the enclosed hold of the ship and attempts to extinguish it were unsuccessful, but the explosion occurred. The beach near the harbour was flooded by a tidal wave as a result of the explosion, adding to the death toll. In total, 22 people died in the accident, 4 people were missing and hundreds were injured. At the time, it was not known that ammonium nitrate was dangerous in itself, that it could boil, catch fire and cause an explosion without any external effect.⁸ [3]

These were the tragic initial events that led to a profound revolution in explosives handling as a technology. In the middle of the 20th century, it was not yet known that the loading of ammonium nitrate from dryers into bags and the accumulation of large quantities of it - like a ship's hold - would promote self-accelerating decomposition, culminating in detonation.

Following the disasters, research into the safe handling of explosives accelerated.

⁶ The explosion destroyed the pier and several nearby grain trains, as well as the ship "Wilson B. Keene", anchored at "proper" distance and loaded with thousands of tons of flour. It could not be determined afterwards what was damaged in the first and what in the second explosion.

⁷ Around 581 deaths were reported, of which only 405 bodies were identified. This tragedy led to the first case brought against the US government for its negligence under the then newly enacted Federal Tort Claims Act.

⁸ On 15 December 1954, the civil court in Brest upheld the liability of the US ammonium nitrate producer. In 1957, the Court of Appeal of Rennes upheld the verdict on the grounds that in 1947 it was not scientifically known that ammonium nitrate was inherently dangerous, that it heated up and that there was a risk of ignition and explosion.

Some of these studies have also found that combustible additives and packaging can contribute to, or even increase, the hazards of explosives. Further studies have led to the introduction of safe handling practices.

INSENSITIVE EXPLOSIVES

The demands of military and industrial use of explosives have required the development of explosives that can withstand external environmental influences. The primary objective was to increase safety, whatever the application.

There are two general approaches to developing insensitive explosives to meet the relevant criteria. The first is the production of polymer bonded explosives (PBX), in which the energetic component is embedded in a flexible polymer matrix. The other method is to use intrinsically fewer sensitive components such as 1,3,5-triamino-2,4,5-trinitrobenzene (TATB - triaminotrinitrobenzene)⁹ or 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one (NTO - nitrotriazolone)¹⁰. [4] In the following, I will only deal with the second issue.

The resistance of explosives to external influences can be achieved by adding an additive (phlegmatizer) that renders the explosive insensitive or less sensitive to the effects of heat, shock, impact, friction or rubbing. Some of the most common phlegmatizers used in manufacturing processes include wax, paper, water, polymers (such as chlorofluoropolymers), alcohol and some types of oils (such as paraffin and petrolatum). [5] The phlegmatizers listed are of course not the only solution to the process of desensitizing an explosive, as there are many methods, manufacturing processes and additives that can produce the desired effect. The listed substances are more relevant in terms of economy and ease of use.

In manufacturing processes, some types of explosives are so highly phlegmatically that the detonation can only be triggered by another explosive, known as a primer. According to the ADR 2021 (Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road), such substances are classified as Highly Insensitive Explosives (UN 0482), “*substances which, although they present a mass explosion hazard, are so insensitive that there is very little risk of initiation or of transition from burning to detonation under normal conditions of transport.*” [6]

Trotyl as an explosive has been used in a number of applications over the past decades, both alone and as a mixture. It was one of the preferred explosives of the military industry until toxicity and sensitivity problems associated with certain TNT-based melt-forming formulations caused TNT to fall out of favour, primarily with Western armies. With this change, the way was opened for developers and organisations investigating various alternative solutions and new materials were introduced to the explosives market. Before describing the potential applications of insensitive explosives, let us first look at the latest explosives in this field.

☛ **FOX-7** – DADNE, chemical name 1,1-diamino-2,2-dinitroethene

FOX-7 is an insensitive brilliant explosive produced at the Swedish Defence Research Agency (SDRA) in 1998. It is stoichiometrically¹¹ equivalent to RDX¹² and HMX¹³, but structurally

⁹ TATB is a very powerful explosive - on a par with Hexogen and Trotyl - but is extremely insensitive to shock, vibration, heat and other environmental effects. Because it is very difficult to detonate accidentally, even under severe conditions, it is preferred for applications where extreme safety is required, such as explosives used in nuclear weapons, where an accidental detonation during an aircraft crash or missile failure would pose extreme dangers.

¹⁰ NTO is a brilliant, odourless, powdery or crystalline, granular explosive. Its colour ranges from off-white, yellowish beige to light yellow. First identified in 1905, its explosive properties were not investigated until the 1980s. The substance is gradually being used in new explosive formulations such as IMX-101, a new, safer alternative to TNT.

¹¹ Stoichiometry is the part of chemistry that deals with the laws of mass and volume relationships in chemical reactions. Stoichiometry also includes the calculation of density, molar mass and volume, melting and boiling points, etc. of chemical substances.

¹² RDX, also known as cyclonite or hexogen, is an explosive nitramine widely used in industry and warfare. In its pure state it is a white, crystalline substance. It is stable, easy to store and one of the most powerful explosives.

¹³ HMX, also known as octogen, is an explosive nitramine used more narrowly in industry and the military. In its pure state it is a white crystalline substance. It is stable, easy to store and one of the most powerful explosives. Not on its own, it is mostly used in explosive mixtures.

dissimilar. As regards the properties of the explosive, reference can only be made to the data given in the [4] Technology Report. The density of the explosive has been determined by various methods: crystal density 1.878 g/cm³ [7]; powder fraction 1.885 g/cm³ [8]; gas displacement¹⁴ 1.86-1.87 g/cm³. The detonation velocity measured under laboratory conditions is 8335 m/s at a density of 1.756 g/cm³. [4]

FOX-7 is poorly soluble in common organic solvents and water, but readily soluble in dipolar-aprotic solvents¹⁵ such as acetone. To explore the substance on a broad scale, the developers conducted comparative studies with RDX as another explosive. Small-scale sensitivity studies were carried out by Defence Science & Technology Organisation (DSTO) comparing fully pure and crystallised samples of FOX-7 with samples of hexogen.

TEST	FOX-7	RDX
Rotter Impact (FofI) ¹⁶	110-140	80
Drop weight Impact (cm) ¹⁷	126-159 (recrystallisation)	38
BAM Friction (N) ¹⁸	168-288	120
Electrostatic spark discharge (J)	4,5 (ignition) 0,45 (no ignition)	4,5 (ignition) 0,45 (no ignition)
Vacuum Stability (ml/g) ¹⁹	≤0,1	≤0,1
Temp, of Ignition (°C)	226	223

Table 1 Summary of results of sensitivity and hazard testing [4]

The values shown in Table 1 clearly demonstrate that the sensitivity of FOX-7 is significantly higher than the known values for Hexogen. However, there is no data available and no interface is yet available to show how its production cost and economics compare with other insensitive explosives already in use. Since it is made from commercially available products and its production is unproblematic, it is expected that its cost-effectiveness could improve as it becomes more widespread. However, it is already reported in various sources that the military industry will be the target audience that may require the continuous production of the new explosive and its application, in particular in insensitive munitions. Several military research centres are testing its properties, looking for even fewer sensitive explosives that can be used more safely.

☛ **FOX-12** – GuDN, chemical name N-guanilurea dinitramide

An insensitive, white, crystalline powdered brizant, a high explosive.

The explosive was discovered by SDRA chemist LANGLET Abraham and patented in 1997. Because of its production costs, it is commonly used in mixtures, as are insensitive explosives with similar properties. After initial experiments, it was used in car airbag cartridges (like gunpowder) mixed with KNO₃-potassium nitrate as a strong oxidising agent. Depending on the manufacturer, it is also found in the same field mixed with Cu(NO₃)₂ copper nitrate.

¹⁴ Helium pycnometry - uses the principle of gas displacement to accurately measure volume. Inert gases, in this case helium (possibly nitrogen), can be used as a displacing medium. The sample is sealed in an instrument chamber of known volume, the appropriate inert gas is allowed to enter the chamber and then expanded to another precision internal volume. Comparison of the pressure measured when the sample chamber is filled and the measured pressure of the gas released into the second, empty chamber allows the volume of the solid sample to be calculated.

¹⁵ Dipolar-aprotic solvents: DMF, DMA, DMSO, HMPTA. They have in common that they are mostly difficult to release their hydrogen bound to carbon; their dielectric constant is greater than 15; they solvate cations well, anions less well.

¹⁶ Figure of Insensitivity: the inverse scale of the impact sensitivity of an explosive. In this particular context, the term “insensitivity” refers to the probability of initiation/explosion due to impact, friction, electrostatic discharge, flame, etc. It is the quantitative measure of the stimulus level required to produce explosive decomposition.

¹⁷ In a 2 kg BAM drop-weight device.

¹⁸ Julius Peters test in a BAM friction apparatus.

¹⁹ Determination of the gas evolution of a sample kept at 100 °C for 48 hours.

It is not only found on the market mixed with oxidants, but also with other explosives. The Trotyl – FOX-12 blend, when mixed in equal proportions, forms a melt-pourable explosive that is used as a preferred explosive filler for high calibre projectiles, bombs, mines and torpedoes. This material is known on the market as GUNTOL, but is also known as GUANTONAL. GUNTONAL is the version containing 15% aluminium. [9] Aluminium powder is also used in other explosive mixtures to achieve a more stable detonation wave and to increase the detonation velocity. [5]

For mixtures, even higher performance can be achieved by adding PETN²⁰, RDX or HMX as solid filler to FOX-12 explosives. Although the performance of these mixtures is outstanding, they cannot be used in precision weapon design as they do not meet the requirements for insensitive munitions (IM) due to their sensitivity. Attempts have been made to reduce the already low impact sensitivity by adding wax, paraffin or petroleum jelly, possibly other inert components, but no credible evidence of this working has been found.

There is little information available regarding the amount of JD-X, or HNS²¹ as it is more commonly known, used in FOX-12 blends, but it is confirmed that 0.5% HNS is added when TNT is cast to form irregular microcrystals in the TNT to prevent cracking. The material therefore drastically reduces the risk of cracking by making the macro structure stronger, making it suitable for use as the main charge in artillery shells. [10]

☛ **DNAN** – 2,4-Dinitroanisole

A low-sensitivity, very slightly soluble in water, pale yellow, granular - crystal or needle-like - organic compound. Due to its low sensitivity, it is under continuous investigation as a member of a new class of low-sensitivity melt castings. For the reasons described above, it has been investigated and developed as a suitable alternative to Trotyl.

As a first step in the tests, the blend was formulated to match the composition of Composite B - i.e., RDX/TNT (60/40) - by directly replacing TNT. This material was tested as ARX-4027²² and contained 39.75% DNAN, 0.25% MNA and 60% RDX. In the second step, in order to achieve maximum insensitive properties, DSTO produced the formulation ARX-4028 in-house, containing 29.75% DNAN, 0.25% MNA²³ and 70% NTO. For the third formulation, ARX-4029, the aim was to increase the explosive properties of the material compared to the previous ARX-4028. Therefore, the composition of the formula contained 29.75% DNAN, 0.25% MNA, 65% NTO and 5% RDX. To illustrate the results of the comparative tests, the fourth formula was a basic Composite B, i.e., 60% RDX, 40% [TNT+(1% wax)]. [11]

Based on the results of the measurements carried out, it was concluded that DNAN has the potential to replace TNT in the described materials, melted, cast explosive formulations. *“Although its thermal properties are (arguably) not as ideal as those of TNT for processing in current melt casting equipment (e.g., higher melting point), it should not be expected that no insurmountable obstacles to its implementation have been found.”*²⁴ As the chemical compatibility of the material with the listed components has been shown to be satisfactory, there is no obstacle to the use of DNAN by the military industry as an alternative to Trotyl. [12]

The test results shown in Table 2 also confirm that there were no significant differences in the impact assessments of DNAN-based explosives.

This can be seen in the thermal tests, friction values and electrostatic discharge values. Taking into account the results, it can be concluded that the explosives tested (ARX formulations) do not become sensitive to different stimuli and are able to withstand temperature changes.

²⁰ PETN, or TEN - pentaerythritol tetranitrate, better known as Nitropenta.

²¹ JD-X (HNS) - hexanitrostilbene. Yellowish-orange solid, heat-resistant high explosive. It is produced by oxidation of TNT with sodium hypochlorite solution. HNS boasts a higher thermal sensitivity than TNT and is similarly insensitive to impact.

²² ARX - Australian Research Explosive.

²³ N - Methyl-4-nitroaniline (MNA) is used as an additive to lower the melting point of energetic materials in the synthesis of insensitive explosives. This chemical is commonly used as an intermediate in the synthesis of dyes, antioxidants, pharmaceuticals and gasoline, in rubber inhibitors, poultry pharmaceuticals and as a corrosion inhibitor.

²⁴ PROVATAS (2006.) p.3.

According to the material test documentation²⁵, “*accelerated ageing studies show that explosives cast from DNAN melts are more effective than conventional TNT-based explosive charges such as Composition-B.*” With their insensitivity to various stimuli and effects - shock, impact, impact - and their thermal properties, these compositions are perfectly suited to replace TNT and would therefore be suitable materials for filling insensitive munitions.

PROPERTY	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composition B
<i>Velocity of detonation (m/s)</i>	5344	7398	7179	7487	7843
<i>Rel. Det. Pressure (GPa)</i>	9,49	22,47	20,84	22,01	24,5
<i>Critical diameter (mm)</i>	47,5-50,8	9,3-11,8	44,0-50,8	38,1-44,0	3,0-4,0
<i>Density (g/cm³)</i>	1,54	1,68	1,76	1,77	1,72
<i>Shock sensitivity (GPa)</i>	7,02	2,62	8,14	5,21	2,69
<i>Gap material is polymethyl methacrylate. (mm)</i>	18	47	13,5	21,4	45,9
THERMAL (DSC)	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composition B
<i>Melting point (°C)</i>	95,1	91,07	95,8	90,86	80,6
<i>Decomposition point (max, °C)</i>	350	236	262	258	220
SENSITIVENESS	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composition B
<i>Rotter Impact (FofI)</i>	>220	160	200	200	140
<i>BAM Friction (N)</i>	160	288	324	288	108
<i>Temp. of Ignition (°C)</i>	347	220	227	205	212
<i>Electrostatic spark discharge (J)</i>	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
<i>Vacuum Stability (ml/g)</i>	0,02	0,2	0,37	0,33	0,15

Table 2 Explosives test results²⁶

I think it is important to note that the replacement of Trotyl by DNAN has not been justified exclusively by the Australian DSTO. The suitability of explosive charges cast from molten metal has also been investigated by BAE Systems in the USA. “...the US Army has begun to phase out the use of TNT in artillery. The replacement, which is currently in continuous production, is called IMX-101 and is much safer to handle and store than TNT, while being equally effective on the battlefield.”²⁷ The IMX-101 is part of a new, next-generation family of Insensitive Munition technologies that uses new IM explosive components such as NTO and DNAN. To be more precise, it consists of 2,4-dinitroanisole (DNAN - 43.5%), nitrotriazolone (NTO - 19.7%) and nitroguanidine (NQ - 36.8%).

IMX-104 has also been tested, but the information currently available is not yet public, and the product is only known to contain DNAN, NTO and RDX. If the samples described above are taken as a basis, it is likely that the difference between the explosives is simply a matter of the military product they are intended to be used as a charge in.

☛ **JD-X (HNS)** – hexanitrostilbene

Trotyl is produced by a one-step process using sodium hypochlorite solution oxidation as a starting material. The very fine yellowish-orange crystalline material recovered from the reaction, which has been purified exclusively from impurities, is known as HNS-I. A free-flowing solid²⁸ with a larger particle size and higher bulk density, obtained by recrystallisation of HNS-I, is HNS-II²⁹. [13]

²⁵ PROVATAS (2014.) p.21.

²⁶ Table edited by the author based on PROVATAS (2014) p.5.

²⁷ Source: BAE Systems: <https://www.baesystems.com/en/feature/making-explosives-safer>; text on website translated by the author.

²⁸ Free-flowing solids have similar properties to liquids and can immerse a person, preventing breathing. These solids include grain, sugar, flour, sand, coal dust and other powdery or granular materials such as gravel or soil. They are also known as quicksand.

²⁹ According to much of the available literature, there is only one crystalline form of HNS, from room temperature to its melting point.

It is a very strong thermally stable explosive - it has a higher thermal sensitivity than TNT - and has excellent parameters for sensitivity testing. The explosive is also used in the casting of TNT, as mentioned for FOX-12, to prevent cracking.

Not only its insensitivity and excellent explosive properties, but also its thermal stability (up to 260°C permanently) have made it suitable for use in the Apollo programme³⁰ and in seismic experiments on the Moon. [14]

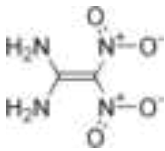
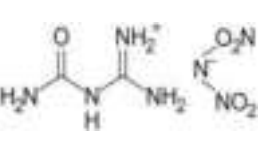
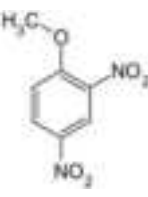
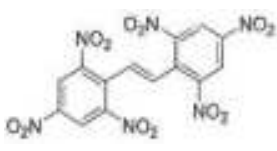
IDENTIFIERS	FOX-7	FOX-12	DNAN	JD-X
<i>CAS-number</i>	145250-81-3	217464-38-5	119-27-7	20062-22-0
<i>Chemical formula</i>	C ₂ H ₄ N ₄ O ₄	C ₂ H ₇ N ₇ O ₅	C ₇ H ₆ N ₂ O ₅	C ₁₄ H ₆ N ₆ O ₁₂
<i>Molar mass</i>	148,08	209,122	198,134	450,23
<i>Density</i>	1,885 g/cm ³	1,760 g/cm ³	1,336 g/cm ³	1,7 g/cm ³
<i>Melting point</i>	238 °C	225 °C	94,5 °C	316 °C
<i>Detonation velocity</i>	8335 m/s	8235 m/s	8436 m/s	7000 m/s
<i>Structural formula</i>				

Table 3 Insensitive explosives that can replace TNT

Having described these insensitive explosives - which in many cases can be used as a substitute for Trotyl, for example - let us look at the fields and devices in which they can be used, until a new explosive with better parameters is developed.

THE POTENTIAL USE OF INSENSITIVE EXPLOSIVES

The field of application of the explosives described is mostly limited to the military industry, as the parameters of these products are well suited to the requirements of the various types of explosive devices. The development of insensitive explosives, as I mentioned in the introduction, has mostly been the result of the test results following disasters. As with insensitive explosives, the development of insensitive munitions has been required in response to unexpected events, explosions that have claimed lives and damaged combat vehicles. There are innumerable examples of explosive devices that were more sensitive to heat and/or mechanical shocks being triggered, setting off a chain reaction that claimed human lives. In the Gulf War, for example, much of the damage to combat vehicles was caused by their own munitions (ammunition) load, triggered unintentionally by unwanted stimuli. The unintended reactions (explosions) did not even necessarily have to occur directly during the fighting. This is also important because under normal conditions of use these explosive devices and munitions are effective, as they are very unlikely to spontaneously detonate despite the dangerous nature of the high explosives they contain.

I have given the above example deliberately, since the proprietary ammunition stored in combat vehicles is subject to increased stresses due to the impact of an enemy projectile. If even one is fired it can trigger additional ammunition, which can result in the destruction of the entire stockpile, the operating crew and the combat vehicle.

The options to reduce these reactions to the greatest extent possible are to reconfigure the ammunition compartments of the combat vehicle or to package and separate the ammunition with materials that prevent the reaction from occurring. The problem in this case is the loss of the balance between safety and effectiveness, since the way to increase safety is to reduce the quantity of

³⁰ Apollo Lunar Surface Experiments Package.

ammunition. It was this problem that prompted researchers to replace the explosive used in explosive devices with a less sensitive but equally effective material.

I have already described materials that are suitable for replacing TNT in projectiles and are more resistant to adverse conditions. Not only high explosives, but also the mono-, di- and tri-base constituents of propellants and rocket propellants currently in use can be replaced by other, more energetic but less sensitive constituents. But what does the term insensitive ammunition mean?

Insensitive munitions are “*munition that reliably fulfills its performance, readiness and operational requirements on demand and that minimizes the probability of inadvertent initiation and severity of subsequent collateral damage to weapon platforms, logistic systems and personnel when subjected to specified accidental and combat threats.*”³¹ In practice, this means that insensitive ammunition will not explode, other than by destroying the target designated by the person using it, or by the direct or indirect effects of shrapnel or other projectiles, or in the event of extreme temperatures.

This property of insensitive munitions (increased sense of security) makes it possible to pack, handle, store and transport large quantities of munitions (such as missiles) in even the most confined spaces. In order to be certified as insensitive ammunition, the requirements laid down in STANAG 4439 - Policy for introduction and assessment of insensitive munitions (IM) - must be fulfilled.

THREAT TYPE	STIMULI	TEST PROCEDURES	
<i>Thermal Threats</i>	Fast Cook-off (FCO) or Fast Heating (FH)	STANAG 4240 Edition 3 AOP-4240 Ed: A Ver. 2	MIL-STD-2105 C ³²
	Slow Cook-off (SCO) or Slow Heating (SH)	STANAG 4382 Edition 3 AOP-4382 Ed: A Ver. 2	
<i>Mechanical Threats</i>	Bullet Impact (BI)	STANAG 4241 Edition 3 AOP-4241 Ed: A Ver. 2	
	Fragment Impact (FI)	STANAG 4496 Edition 1 AOP-4496 Ed: A Ver. 2	
	Shaped Charge Jet Impact (SCJI)	STANAG 4526 Edition 1 AOP-4526 Ed: A Ver. 2	
<i>Combined Threats</i>	Sympathetic Reaction (SR)	STANAG 4396 Edition 2 AOP-4396 Ed: A Ver. 2	

Table 4 Tests for the determination of insensitive munitions

Nowadays, many countries carry out the above tests on the explosive devices (grenades, ammunition, etc.) they develop. Those “products” that meet the requirements can be classified as insensitive munitions and thus marketed. Since the sharing of test materials is mandatory, more and more Western armies are using such ammunition. The Dutch and German armies have 155 mm IM-marked grenades in service, the French artillery has French-made XF series explosive-loaded grenades, the Hungarian Army may have Rh 26 and Rh 30 explosive-loaded grenades for the PzH 2000.

For example, among the explosives described in the publication, a 60/40% mix of FOX-12 and RDX is used as propellant in the UNIFLEX 2 IM modular artillery system, which is installed in the BAE 155 mm /L52 Archer. [15]

ALIMX-101, a mixture of approximately 24% aluminium and 76% IMX-101, is currently being investigated as an insensitive substitute for H6 and PBXN-109 in Mk82 cluster bombs.

The insensitive explosive PAX-41, which contains both coarse and fine grindings of DNAN, MNA and RDX, is a constituent of the Spider XM-7 Network Command Munition grenade.

The PAX-48 insensitive explosive was also created to be used in special cases where the main objective is to replace Composite B. As the explosive is a mixture of DNAN, NTO and HMX in the right proportions, its inert material properties make it an excellent main charge for mortar shells and

³¹ NATO Terminology Database.

³² Department of defense test method standard: hazard assessment tests for non-nuclear munitions.

tank ammunition. It is currently type certified for 120 mm (IM HE-T) Insensitive Munition High Explosive-Tracer.

The development and use of new explosives in artillery and other large calibre ammunition has also been based on the replacement of Trotyl, and IMX-101 has been used in many ammunitions. Currently, the US Army has adopted and is using the IMX-101 inert explosive-tipped M795 155 mm artillery round. The Navy is still using the TNT-mounted version, probably due to cost-effectiveness and other functionality concerns.

For mortar shells, the main objective was to replace Composite B explosives and the high-yield insensitive explosive IMX-104 - based on RDX, DNAN, NTO - provided the opportunity to do so. Based on the test results, type certification is in progress for the respective types of 60 mm, 81 mm and 120 mm mortar shells.

Mention should be made of studies and experiments that have either not produced the expected results or are not cost-effective for further development. An experiment was carried out on the development of HNS using linear cutting charges to take advantage of the cumulative effect. The challenge for the linear shaped charge, clad in aluminium without welds, was not the explosive but the design and sizing of the explosive body. [13] The high purity aluminium cladding was chosen for its favourable temperature, strength and weight properties.

Experiments on the sizing of casings and the applicability of 3D printing products are still being carried out today, both with military explosives (SEMTEX-H) and with multi-component explosives still in the experimental phase. [16][17]

Despite the fact that inert explosives are already used in artillery projectiles, mortar shells, their introduction is being considered in other areas.

The cost factor is of course important in all cases, but more effective explosives will continue to be needed in all areas in the future. Large anti-tank mines are also a potential target for developers. The continuous development and technological innovation in this field can be traced, but due to space constraints I will not go into this at this time. [18][19]

SUMMARY

The problems of initial, transport, storage and large-scale use of explosives could be solved after investigation of very serious accidents. And the research results of researchers and laboratories have made the explosives industry a dynamic industry. We are now at the beginning of a new era where we can replace the tried and tested materials with much safer, more economical and more effective materials. Explosives have been developed in many places and types around the world that are insensitive to external influences and stimuli, but can perform their intended function at any time.

These materials have been used to create new artillery shells, mortar shells and various experiments are being carried out on other munitions. But it is not only the military industry that stands to benefit from this development, because whether we are talking about rocket propellants or high-depth charges, inert explosives and the structures that carry them will always be needed.

As the author, I hope that we will be able to use these materials not against each other, but in the service of humanity!

BIBLIOGRAPHY

- [1] Dr. LUKÁCS László: A robbanóanyagok kialakulásának rövid története; Műszaki Katonai Közlöny 2008/1-4. szám, pp. 15-24.
- [2] Texas City Homepage: Moore Memorial Public Library; 1947-es Texas City katasztrófa; Source: <https://www.texascitytx.gov/464/First-Explosion>; Download: 24.02.2023.
- [3] The New York Times - By the Associated Press, July 29, 1947. Source: <https://www.nytimes.com/1947/07/29/archives/nitrate-ship-blast-at-brest-kills-8-injures-hundreds-port-and.html>; Download: 23.02.2023.

- [4] Ian J., LOCHERT (november 2001). FOX-7 - A New Insensitive Explosive (Technical report). Fisherman's Bend, Victoria, Australia: Defense Science & Technology Organization. DSTO-TR-1238. Source: [https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a399359 .pdf](https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a399359.pdf); Download: 23.02.2023.
- [5] Dr. DARUKA Norbert: Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei; Műszaki Katonai Közlöny XXVI. évfolyam, 2016. 1. szám pp.: 26-44. ISSN 2063-4986. Source: <http://www.hhk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu /PDF 2016 1sz/MKK2016 1sz ossz.pdf>; Download: 23.02.2023.
- [6] ADR International Recruiting Agency 2021; Source: <https://unece.org/adr-2021-files>; Download: 23.02.2023.
- [7] OSTMARK, H.; LANGLET, A.; BERGMAN, H.; WINGBORG, N.; WELLMAR, U. and BEMM, U., (1998), FOX-7 - A New Explosive with Low Sensitivity and High Performance, The 11th International Detonation Symposium, Colorado, USA.
- [8] BERGMAN, H.; OSTMARK, H.; PETTERSSON, A.; PETTERSON, M.-L.; BEMM, U. and HIHKIO, M., (1999), Some Initial Properties and Thermal Stability of FOX-7, Insensitive Munitions and Energetic Materials Symposium (NDIA), Tampa, Florida, USA.
- [9] Dr. Per SJÖBERG, EURENCO Bofors AB, Dr. Henric ÖSTMARK, FOI and Anna-Maria AMNÉUS, EURENCO Bofors AB – GUNTONAL - An Insensitive Melt Cast for Underwater Warheads; 2010 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology symposium; October 11-14, 2010 München Marriott Hotel Munich, Germany. Source: <https://imemg.org/wp-content/uploads/IMEMTS%202010/papers/Sjoberg-10544 GUN TONAL-An%20Insensitive%20Melt%20Cast%20for%20Underwater%20Warheads IMEMTS2010-Paper.pdf>; Download: 23.02.2023.
- [10] Jacques BOILEAU, Claude FAUQUIGNON, Bernard HUEBER és Hans H. MEYER-„Explosives” az Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry-ben, 2009, Wiley-VCH, Weinheim. DOI: https://doi.org/10.1002/14356007.a10_143.pub2
- [11] Arthur PROVATAS - Craig WALL: Ageing of DNAN Based Melt-Cast Explosives; 2014. Source: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA614943.pdf>; Download: 06.08.2021.
- [12] Phil J. DAVIES - Arthur PROVATAS: Characterisation of 2,4-Dinitroanisole: An Ingredient for use in Low Sensitivity Melt Cast Formulations; 2006. Source: <https://web.archive.org/web/20160304041436/http://www.ntis.gov/assets/pdf/st-on-cd/ADA458880.pdf>; Download: 06.08.2021.
- [13] Alfred C. SCHWARZ: Application of hexanitrostilbene (HNS) in explosive components; Explosive Components Division, Sandia Laboratories, Albuquerque; May 1972; SC-RR-710673; Source: <https://www.osti.gov/servlets/purl/4666790>; Download: 28.11.2021.
- [14] BEMENT, L.J. - Application of temperature resistant explosives to NASA missions, Proc. Symp. on Thermally Stable Explosives, Naval Ordnance Laboratory, Whiteoak, Md, 1970
- [15] Johan DAHLBERG: New Low-Sensitivity Modular Charge Propellant Based on GUDN. Source: <https://imemg.org/wp-content/uploads/IMEMTS%202006 Dahlberg%20 paper post.pdf>; Download: 23.02.11.
- [16] KUGYELA Lóránd: Experiments with Small Size Shaped Charges; Hadmérnök XIV. évf. 2. sz., pp. 99-110., 12 p. (2019). DOI: [10.32567/hm.2019.2.8](https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.8)
- [17] EMBER István: Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel; Műszaki Katonai Közlöny 32.évf. 3.sz., pp. 13-23., 11 p. (2022). DOI: [10.32562/mkk.2022.3.2](https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2)
- [18] KOVÁCS Zoltán: Aknatelepítés: Keleten a helyzet jelentősen megváltozott 1. rész; Haditechnika 56. évf. 3.sz., pp. 31-38., 8 p. (2022).
- [29] KOVÁCS Zoltán: Aknatelepítés: Keleten a helyzet jelentősen megváltozott 2. rész; Haditechnika 56. évf. 4.sz., pp. 31-37., 7 p. (2022).

A ROBBANÓANYAGOK KEZELÉSÉVEL KAPCSOLATOS KOCKÁZATOK A MUNKAVÉDELEM TEKINTETÉBEN¹

RISKS RELATED TO THE HANDLING OF EXPLOSIVES WITH REGARD TO OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

Norbert DARUKA Ph.D² - László SZALKAI³

Kivonat:

A robbanóanyagok-ipari termékek gyártása egy nagyon gyors ütemben fejlődő és rendkívül veszélyes iparág. A folyamatosan bővülő termékkör és annak multifunkcionális felhasználása manapság már megkérdőjelezhetetlen. A robbanóanyag-ipari termékek megújulásával, valamint a modern gyártástechnológia alkalmazásával párhuzamosan újabb veszélyforrások és kockázatok is megjelennek. A publikáció egyik alapvető célkitűzése, hogy feltárja a jogi szabályoz összefüggéseit. A másik célkitűzés, hogy ismertessük azokat a kockázati tényezőket, amelyek a munkavállalók egészségét és biztonságos munkavégzését veszélyeztetik. Illetve rámutassunk azokra a fizikai és kémiai kockázatokra, amelyek kevésbé ismertek a szakterületen munkát végzők előtt.

Kulcsszavak: kockázat, munkavédelem, robbanóanyagok hatásai

Abstract:

The manufacture of explosives is a very fast growing and extremely dangerous industry. The ever-expanding range of products and their multifunctional uses are nowadays unquestionable. As explosives products evolve and modern manufacturing technology is applied, new hazards and risks are emerging. One of the main objectives of this publication is to explore the legal context. The other objective is to describe the risk factors that threaten the health and safety of workers. It also highlights physical and chemical risks that are less well known to workers in the sector.

Keywords: risk, occupational safety, effects of explosives

INTRODUCTION

„I'm not crazy, (...) I just have a finely calibrated sense of acceptable risk.”⁴

Risk assessment is defined in the Occupational Safety and Health Act and employers' risk assessment obligations are aligned with it. In accordance with the OSH Act, a number of laws provide for the obligation to carry out risk assessment (estimation), including with regard to chemical and biological safety in the workplace:

- XCIII Act XCIII of 1993 on Occupational Safety and Health, § 54 (2), (3),
- Act XXV of 2000 on Chemical Safety, Section 19 (1),
- Act XLVIII of 1993 on Mining,
- Decree No. 27/2022 (I. 31.) SZTFH on the General Blasting Safety Regulation,
- Decree No. 61/1999 (XII.1.) of the Ministry of Economic Affairs and Labour on the protection of the health of workers exposed to biological agents.

The legal basis for the above-mentioned legislation is the Fundamental Law of Hungary.

Taking into account the requirements of the above-mentioned legislation, it can be stated that the purpose of the risk assessment is to determine whether the planned or existing controls are adequate. The aim is to minimise or, if possible, eliminate the risk before any hazardous event occurs. In this respect, the type of working environment is irrelevant, since the purpose of the risk assessment is to identify the hazards arising from the use of the workplace, technology, machinery, equipment, materials, etc., which may present a risk of harm to the health of operators, maintenance and control personnel. A further objective is to identify, on the basis of an estimate, the extent of the risk and to

¹ RIZIKÁ SPOJENÉ S MANIPULÁCIOU S VÝBUŠNINAMI VO VZŤAHU K BEZPEČNOSTI A OCHRANE ZDRAVIA PRI PRÁCI.

² Ph.D graduate of military engineering, Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering; ORCID: 0000-0002-7102-1787. E-mail address: daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

³ National University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, Ph.D. student. ORCID: 0000-0002-4843-4591. E-mail address: szalkai.laszlo81@gmail.com

⁴ John SCALZI: Old Man's War; Tor Books, New York 2011., p. 264. ISBN: 978-615-5442-14-8.

propose ways of reducing the presumed impact of the risk by technical solutions, organisational measures or, where this is not possible, the provision of personal protective equipment.

The definition of risk is specific to each sector. However, “The Interpretative Dictionary of the Hungarian Language” gives a general definition: “*The possibility of danger, damage, harm, trouble, inconvenience associated with some action or undertaking.*” This wording is broad enough to describe the essence of the concept, but at the same time the need for specification of what the profession considers risky is perfectly understandable. In what follows, we will examine the areas that we consider to be risky according to our own criteria in the fields that deal directly with explosives.

THE RELATIONSHIP BETWEEN OCCUPATIONAL SAFETY AND EXPLOSIVES MANAGEMENT

Occupational safety and health, which is the product of many sciences and applied sciences, is really evident in the fields of engineering and health. Within the technical sciences, the complexity and diversity of explosives technology and the manufacture of explosives as a specialised field meant that we could not undertake a study of the entire field, but only the part of it that we considered important and which has been less well published, relating to the issue of occupational safety and health in the manufacture and use of explosives products.

There are many different aspects of risk in relation to explosives. The most obvious of these is the risk arising from the use of explosives, i.e., the energy released during an explosion and the destructive effects of the explosion. Explosions result in hazards from primary effects such as thermal and pressure loads and the physical effects of the shock wave, and secondarily from the inhalation of explosion gases and the risk of objects and shrapnel set in motion by the shock wave. To eliminate this risk, the solution may be to increase the safety distance, use protective equipment or, where appropriate (e.g., in a simulated explosion experiment), reduce the charge.

„...just because you feel safe doesn't mean you are safe.

You may face evil every day and you may not even know why you are on his side, but if you are, do everything you can to stay alive!”⁵

The literature on the subject always distinguishes between explosives for civil and military use, mainly due to the physical and chemical properties of the materials. In military practice, the safety of the material in handling, its suitability for use under extreme conditions and, of course, its destructive power are the determining factors. For civilian use, however, it is the explosive's performance and safety factors that determine its suitability.

Following the logical steps in the presentation of the subject, it is considered necessary to introduce a less commonly used but technically correct terminology. “*Explosives are defined as compounds (mixtures, melts) of practical use which, in the course of a self-sustaining (exothermic) chemical transformation (reaction), under the effect of an appropriate initial ignition (activation energy), are suddenly (in a few hundred thousandths of a second) transformed into high-temperature and very high pressure, mainly gaseous, products which, when expanded, perform extremely powerful work and have an environmental impact.*” [2]

The hazards associated with explosive handling, as described in the definition above, is a violent chemical reaction, a very rapid combustion process. It is well known that combustion requires oxygen and combustible material. However, this is not a conventional combustion process, as the reaction rate of the transformation (explosion process) does not allow the uptake of oxygen. In order to achieve continuity of the process, explosives need to have all the elements of combustion in themselves and this is what distinguishes them from, for example, propellants. The real reason for the enormous destructive power of a condensed-phase chemical explosion is that the energy is released extremely rapidly, tens of millions of times faster than in combustion. [3]

⁵ Source: Unknown author - The English inscription can be found on the wall of the sample garden on the west side of CAMP LINCOLN US. BASE, Mazar-e Sharif, Afghanistan.

Hungary's Fundamental Law, as the primary source of law in the legal hierarchy, summarises the basic rules governing the organisation of the state and contains the rights and obligations that are binding on all Hungarian citizens. [4]

According to Article XVII (3) of the Fundamental Law, *“Every worker has the right to working conditions which respect his or her health, safety and dignity.”*

The so-called detailed definitions of work are set out in the Labour Protection Act. The OSH Act defines OSH as *“The regulation of the personal, material and organisational conditions of healthy and safe work for the purpose of maintaining the health and ability to work, humanising working conditions, preventing accidents at work and occupational accidents.”* Under the Act, the State defines the rights and obligations of employers and workers in the interests of healthy and safe work, and involves the relevant elements of interest representation in this activity. The State has also set up supervisory bodies to assist and monitor compliance with the law and to create conditions for safe and healthy working conditions, and to sanction non-compliance. [5] According to the Occupational Safety and Health Act, occupational safety and health is the totality of occupational health and safety requirements for organised work, as well as a system of legislative, organisational and institutional provisions for the achievement of the objectives defined in the Act, and the implementation of these.

In relation to these occupational health requirements, it is responsible for identifying pathological factors in the working environment, establishing the fact of fitness for work and periodic monitoring, and determining the exposure of workers to the effects of work and the working environment. These activities fall exclusively within the remit of occupational health. However, the protection of workers cannot be considered complete, as risk factors affecting the other area of occupational health, occupational hygiene, have not yet been identified. In the context of the subject of this publication, occupational hygiene is responsible for developing methods for measuring and detecting pathogenic factors in the working environment of explosives production. In addition, occupational hygiene is responsible for identifying the likely risks to health when designing an explosives plant or facility. It is therefore necessary and indispensable to characterise the working environment itself and the substances and compounds used in the manufacture or production of explosives on a qualitative and/or quantitative basis. On the basis of the information available (standards, risk assessments, process descriptions, etc.), establish hygiene limits which are not harmful to health and which are specific to the workplace, and develop a preventive strategy to ensure the health and safety of workers in each part of the work process and in the production activity as a whole.

In order to fully comply with the provisions of the law on occupational health and safety, it is necessary to define the working conditions and rules of work in the manufacture of explosives, which are a prerequisite for the fulfilment of occupational safety. [6]

The basic condition for the fulfilment of occupational safety is to prevent the possibility of accidents occurring in all work processes in the manufacture of explosives. Of course, there is no perfect accident-free workplace, so once an accident has occurred, a full investigation and appropriate action must be taken to ensure that it does not happen again.

From the point of view of explosives production, occupational safety covers the environment of the production plant (the occupants), the immediate site of production, the production lines, the technical equipment, the technologies used and, of course, the means of collective and individual protection of workers.

The Occupational Safety and Health Act, mainly because of the specialisation of professional knowledge, specifically covers the mining sector, which is closely linked to the manufacture and use of explosives, among the activities classified as occupational safety and health. Article 49(35) of Act XLVIII of 1993 on mining states that *“Civil explosive activity means the manufacture, acquisition, storage, use and destruction of explosives for civil use.”* Under the Act, the administrative functions relating to mining are to be performed by the Mining Inspectorate.⁶ *“The Mining Inspectorate is responsible for protecting the life, limb and health of workers during the performance of the activities*

⁶ Act XLVIII of 1993 on Mining, § 43 (1).

under its supervision”⁷ and for exercising official supervision over, inter alia, technical safety, occupational safety and geological functions.

The Mining Inspectorate's powers as a fire safety authority cover both the underground and the equivalent outdoor parts of mines. The Mining Inspectorate is also responsible for civil explosive activities, including the manufacture and use of explosives for civil use, pursuant to Article 44(1)(k) of the Mining Act. [7]

Following a description of the legal background, the following section will describe the chemical risk factors that influence and possibly complicate everyday activities.

CHEMICAL RISK

The handling of the explosives themselves must take into account the toxicity of the explosives, their biological effects, i.e., their health risks. Basically, all chemicals are hazardous to health, the difference is in the way they are poisoned and the amount of poisoning they cause. That is why we can talk about substances that are practically non-hazardous, such as ascorbic acid (vitamin C), of which you would need to ingest orally about 12 g per kilogram of body weight to have a 50% chance of dying. That's nearly 1 kg for an average 80 kg person. Let's face it, this is not a realistic risk.

However, at the other extreme, there is botulinum toxin, of which 1-3 ng/kg is needed to do the same, which is still an eye-watering amount if we stick to the 80 kg example. An amount that is detectable to the human eye - a pinhead (~1mg) - could cost the lives of up to 12500 people, of course on a strictly mathematical basis. In terms of physiological effects, hazardous substances are not only toxic, but also have irritation, sensitisation and even carcinogenic effects. These effects are determined by the chemical properties of the different elements or compounds. The health risks associated with explosives are also due to their chemical structure, their effects on the body and the chemical reactions that take place in the body. The explosives known by the collective name nitrate ester⁸ (e.g., NG, PETN, EGDN) are all vasodilators and are therefore used in medicine as cardiac drugs.

Some explosives are used in manufacturing technology, but are not used as explosives in any field as such. This substance is nitroglycol, or ethylene glycol dinitrate $C_2H_4N_2O_6$ (CAS: 628-96-6), but is known in the trade as EGDN. Nitroglycol is an oily, sweet-tasting, slightly pungent smelling, colourless nitric acid ester. Its impact and rubbing sensitivity and detonation velocity are almost equal to nitro-glycerine, but it has never been used alone, mainly because of its cost. One important property of the material is that the physical properties of nitro-glycerine-based blended explosives, especially the freezing point, can be improved by using a suitable mixture of nitroglycol and nitro-glycerine. [8]

The effects of nitroglycol on the human body are very similar to those of nitropenta and nitro-glycerine, but this substance has much more toxic properties. Its effects are enhanced by its fat-soluble nature and the fact that it starts to evaporate at 22°C. Due to its properties, it poses a risk to workers in the environment by absorption through the respiratory tract, mucous membranes and skin. In case of exposure, it causes headache, confusion, drowsiness, low pulse rate, and pain in the heart and chest. As with nitroglycol, the human body becomes accustomed to and compensates for the organic response to nitroglycol after low but regular exposure, but may experience increased problems after withdrawal and further exposure. In the case of acute poisoning, even after several days, even a small amount of physical exertion can cause cardiac arrhythmia or, in the worst case, sudden cardiac arrest.

Many hazardous substances are used in the manufacture of explosives or are generated as by-products during the manufacture of explosives. Unfortunately, it is not possible to examine each substance or compound individually to see what toxicological or physiological changes they may cause during industrial production.

These substances - strong acids, alkalis, esters, oxidising agents - should be evaluated in the OHS risk assessment of the given production technology and used as a basis for the recommendations of the OHS specialist in the field.

⁷ Act XLVIII of 1993 on Mining, § 43 (2).

⁸ The nitrate ester is an organic functional group of the formula $RONO_2$, where R denotes any organic group. Nitrate esters are esters of nitric acid and alcohols.

The manufacture of pyrotechnic articles is a completely different specialisation, where the manufacturing process includes, at the various stages of the production process, mixtures containing chlorates, perchlorates, nitrates, permanganates, metal oxides or metal oxides and combustible inorganic or organic substances. With respect to explosives, I do not wish to describe dianoetic acid, lead aside, alum aside, tricine, tetracene, nitrocellulose, tetryl, mononitro-, dinitro-toluene, hex nitro-stilbene, dinitro-naphthalene, trinitro-resorcinol, pentitol, hexotol, amatol, or gelatinised substances and slurries due to space constraints.

The aromatic explosives (TNT, DNT, Tetryl) mainly target the liver and blood organs, and may be carcinogenic due to their aromatic nature, although only DNT is considered to be a proven carcinogen in the literature. [9] Poisoning by nitramines (RDX, HMX) can affect mainly the nervous system, cardiovascular system and respiratory tract. [8] Tetryl is one of the nitramines, but as shown above it also has an aromatic structure, which is perhaps more important in terms of its mechanism of action. The list could go on, but we believe that these explosives have demonstrated the chemical risks involved.

PROTECTION AGAINST CHEMICAL EFFECTS

Just as the risk from an explosion can be reduced by the use of bomb suits, safety distances and charge reduction, so chemical risks can be minimised by the use of appropriate protective equipment.

Examples of such laboratory and industrial protective equipment are the various types of respiratory protective equipment, which are used in accordance with the particle size of the dusts and the properties of the gases and vapours. They range from medical mouth masks, half masks with filter inserts and face masks, to face masks with their own air supply, the latter two also performing the function of a protective mask. Respiratory protection is designed to prevent the inhalation or absorption of hazardous substances through mucous membranes.

Protective goggles or masks can also be used, which prevent eye contact or, if a mask is used, provide physical protection for the face.



Figure 1 Full-face respirator for use in the manufacture of explosives⁹

Noise earplugs or earplugs do not protect against chemical risks, but they are recommended in noisy environments. These protective devices should be used not only to avoid hearing loss, but also because the loss of concentration of a worker exposed to noise for a prolonged period of time will occur sooner, thus reducing the risk of resulting accidents.



Figure 2 Ears in different mounting variants¹⁰

⁹ Source: images from the Dräger X-plore® 5500 Full mask catalogue, edited by the author.

¹⁰ Source: based on images from the Clarity ears catalogue, edited by the author.

The most basic personal protective equipment, which is not even officially classified as protective equipment, as workwear usually has a shelf life. However, we include it in this category because in a laboratory or industrial plant it is not only intended to prevent you from getting your own clothes dirty, but also to provide a degree of protection. 100% cotton workwear is not only required for quality and comfort, but also because it is more resistant to chemicals than synthetic fibres, which can practically “melt” or “dissolve” on your skin. In addition, like the use of gloves, it also prevents absorption through the skin.



Figure 3 Some types of anti-static glove design¹¹

The choice of glove material may depend on the chemicals you may come into contact with, as well as other factors such as puncture protection, heat resistance, etc. Last on the list of protective clothing is the safety shoe/boot, which should have the most anti-static properties in terms of explosion protection. The employer will take measures, at least in the form of guidelines, but preferably in the form of regulations, for the use of the protective equipment listed.

„There is no protection against all threats, but not wearing protective equipment does not protect you and gives you no chance of survival.”

RISK FACTORS IN THE FIELD

In this profession, a direct explosion is - in a good case - only encountered by a chemical expert during controlled experimental explosions. Experience has shown (in a domestic context) that the likelihood of being the victim of a second explosion/explosion during a post-explosion site activity, or of being involved in a search or possibly covert investigation as a result of an ambush or other accident resulting from an explosion on site is minimal. In theory, of course, these scenarios cannot be excluded, but several factors reduce the risk. First of all, there is a protocol that anyone entering a site with such a threat should only do so after a fire investigation. Thus, the greatest risk rests on the shoulders of the fire marshal. [10]

Secondly, even for the scene of an incident that has occurred, a number of investigative or forensic actions are already carried out before the chemical expert can take over the area to collect samples relevant to him. Perhaps the only explosion-related physical injury event during an explosion forensic investigation is the risk of collapse of the damaged building. [11]

Overall, the time difference and the need to stay out of the safety zone for the required time - i.e., distance - minimises the risk of injury from an explosion. However, this 'delay' also carries a risk for the samples to be collected, as weather conditions can greatly affect the ability to capture samples. For example, a significant proportion, if not all, of water-soluble inorganic explosives or pyrotechnic mixtures may be lost from the site in a heavy rainfall. The same phenomenon occurs quite logically in a fire-fighting environment, with the addition that the area affected by the fire itself destroys the collectable samples, but the area affected by extinguishing is always larger than that consumed by the fire alone. In surveys which may last for days, even strong sunlight can be mentioned as a degrading factor, and obviously persons visiting the site can also do some damage to the samples simply by their normal work (compressing and scattering potential sample carriers). To minimise this damage, there is a defined sequencing of the forensic process from the most sensitive samples/crime (e.g., fingerprints, DNA) to the more permanent ones. In addition, to avoid contamination of the scene, it is recommended - or mandatory with regard to further forensic activities - to use Tyvek clothing (white overalls over street clothes) with additional shoe protection and hood, and rubber gloves.

¹¹ Source: <https://hu.outletstore2021.ru/category?name=antisztatikus%20keszty>; edited from images on website by the author. Image download date: 11.04.2021.

Space constraints do not allow such a large topic to be fully and thoroughly covered, so I will not even go into such basic things as mere hand contact. Nor do we wish to take a position on the dangers of ingestion in this context.

EQUIPMENT PROVIDING PROTECTION AGAINST EXPLOSIVES

Given the subject of this publication, explosives have been classified and grouped in a number of ways, but between production and end use, the state of matter can vary in multiple ways, such as in the case of multi-stage explosive bodies. Explosives may be manufactured in several steps before they are used for their intended purpose, including heating, mixing, cooling, reheating, extrusion, melting, moulding, pressing and so on. In these processes, explosives can be plastic, plastic, powder, liquid and solid. The properties of the material in its different states and the technology being used will determine whether, as a hazardous material and process, it requires the provision of protective equipment and measures. *“It is the responsibility of the employer to identify the risks to the worker, prepare a risk assessment and then eliminate or reduce the exposure factors to an acceptable level by applying appropriate measures and protective equipment covering work processes, technology, work organisation, working conditions, social relationships and work environment factors.”*¹² Protective equipment must provide protection against the risks involved in the activity. Workers must be trained in the protective capabilities of the protective equipment, the rules for wearing it and the risks associated with the work and the knowledge acquired must be verified by means of exercises. [12]

According to the regulations, the procedure for the provision of personal protective equipment must be laid down in writing and, in order to implement it, occupational safety and health specialists must be involved in its preparation. In the explosives industry, workers' exposure to hazardous substances is much more frequent than in other sectors and several hazards may occur at the same time. The specification of protective equipment must take into account not only its effectiveness, but also its suitability for use together. *“The criteria for the choice of protective equipment are determined by the severity of the risk, the frequency of exposure, the place of work (working environment), the degree of additional stress generated by the protective equipment and, in particular, the duration of wear.”*¹³

We will now look at the protective equipment that can protect workers during the manufacture of explosives. As I mentioned in the section on protection against shrapnel, the head is one of the most vulnerable parts of the body and must be protected during all work processes. Head protection devices must protect the craniocerebral region, primarily against mechanical hazards and physical forces. In explosives factories, there are no great differences in level, as these installations must be exclusively at ground level.

The impact of sharp or blunt objects, slipping and consequent blows to the forehead, temple or skull base, as well as moving machinery and operating work equipment, are potential hazards. However, it is not only these impacts that threaten the protection of the head. Explosives manufacturing usually takes place at high temperatures and in the presence of chemicals, where head protection against hot melts or vapours is also required. In some processes, however, head protection must be guaranteed against the near-freezing properties of the material used to cool the materials. With regard to head protection, only protective equipment meeting the requirements of standard EN 397 Industrial protective helmets may be used in the manufacture of explosives. When selecting protective helmets, account shall be taken of their protective capabilities, the markings of which shall be placed on the inside of the helmets. In almost all explosives manufacturing, helmets made of thermosetting materials shall be used and may be marked as follows:

- UP-GF glass fibre reinforced polyester helmet shell;
- PF-SF phenol-textile helmet shell;
- PAA-NF natural fibre polyaniline acetate helmet shell.

¹² PETÖ (2014) p. 62.

¹³ PETÖ (2014) p. 64.

In chemical manufacturing processes, there is a risk of splashing and blowing of substances at high temperatures and in different states of matter. In order to avoid this risk, it is recommended to use head protection with the MM - splash protection marking. Due to the presence of high-temperature materials, the indication of the ambient temperature of use should also be taken into account. In areas where there is a risk of explosion due to electrical charge, an antistatic helmet should be used exclusively. When specifying helmets, it is also particularly important to take into account compatibility and interoperability, since in many cases measures must be taken to protect the eyes and face.

When examining the toxicological effects of explosives, many substances are encountered which may irritate the eyes in the form of dust or gas or may be absorbed through the mucous membranes in the eye cavity. It is therefore particularly important to ensure eye protection in industrial installations. Mechanical-physical effects, i.e., explosive fragments ejected during pressing, cutting, grinding, etc., pose few but not negligible risks. More common are the harmful effects of splashes, spraying liquids or vapours during the manufacturing process, which are also mentioned in the chapter on head protection. However, the main risk factors are the risk of eye contact from explosive dusts and corrosive, irritating liquid droplets, aerosols, sprays, gases and vapours from hazardous chemicals generated during grinding, pressing and drying. The list shows that eye protection must be considered in the light of the many risk factors involved. As regards goggles with protective functions, safety goggles with a stem design up to 45 m/s can be used to avoid simple mechanical injuries. Specifically, the safety of the eyes and thus of the body can only be ensured by using closed safety goggles against splashes of dust and hazardous liquids. In some processes, for example in explosives testing and qualification laboratories, full face protection is also required. Naturally, everything we use for protection and health protection purposes restricts our vision to some extent, narrowing our field of vision. The other important aspect is that the protective equipment used must be vapour-proof in all respects, i.e., it must bear the N marking.

Removing the protective equipment used, defogging and wiping the eye area can also be a risk factor in a manufacturing process. A not insignificant aspect is that protective equipment designed for users who require corrective lenses must be compatible with the wearing of glasses or contact lenses.

When filling explosive bodies by casting, the melt of the explosives used can be above 100°C, taking into account the melting point of the material. In this area, protection of the eyes and face is ensured by the use of face shields, which provide protection against high radiant heat. The material of such face shields is usually polycarbonate, but may also be triacetate. The basic requirement for this type of protective equipment is that it should be of the helmet-mounted type.

However, after the protection of the eyes and face, the protection of the respiratory tract against the inhalation of harmful substances is not yet solved, and can only be achieved by the use of respiratory protection devices. Respiratory protective equipment protects workers not only from the toxic effects of hazardous substances but also from possible oxygen deficiency.

The optimal choice of respiratory protection for a workplace in direct contact with explosives can only be made on the basis of a risk assessment.

The actual source of danger must be identified at each work process at the place of manufacture or use, which in manufacturing plants, for example, requires a strong chemical background or specific training. Exposure levels verified by measurement data enable the employer to determine the appropriate respiratory protection and the parameters for its use in the workplace. To protect health and provide safe working conditions, explosives activities may use filter-type respiratory protective devices or isolation respiratory protective devices independent of ambient air. In the case of filter-type respiratory protective equipment, the air may enter the worker's body only through a filter, free of impurities or filtered to a level which does not endanger health. Isolation respiratory protective equipment provides the worker with an adequate quantity and quality of air by supplying it from an external source independent of the ambient air. It would be almost impossible to list all the

judgements that could be made about respiratory protective equipment and devices, both by the manufacturer and by the equipment and devices marketed by them.

I have also mentioned the importance of fire and direct heat effects in the manufacturing processes and in the assessment of adverse effects. These risks must also be taken into account when selecting protective clothing. The purpose of protective clothing against the risks of heat and fire is to protect the worker from the effects of high temperatures and from burns to the body in the event of flames. And in the case of clothing with a limited degree of protection, to delay the effects of heat and flame until the wearer can move away from the source of danger or until the harmful effects have ceased (e.g., explosion). The basic requirement for protective clothing is that the amount of heat transmitted to the worker must be so low that the heat accumulated during the period of wear does not reach the pain threshold or any level which would be harmful to health. If this is not possible, additional protective equipment, known as a liquid circulation system, must be provided. This type of protective clothing will be dealt with in the next section of this thesis. [8]

In the field of protective clothing in explosives manufacturing, the protection against static charging should also be mentioned. Among the many explosives manufacturing technologies, spark sensitivity has to be taken into account, such as drying, grinding, but also phlegmatization.

For the technological steps related to these manufacturing processes, electrostatic considerations may be taken into account by using static charge protective clothing with a maximum permissible power below a spark sensitivity of 0.1 mWs. The classification of static-flash suits by type number shall be based on the spark sensitivity levels (classes).

In explosives installations, the surface resistivity of static-filled protective clothing is so low that the charges are discharged and no sparking occurs on the surface of the clothing. The static charge protection suit provides electrostatic protection in addition to proper grounding.

The final area for consideration when testing personal protective equipment is the implementation of foot protection. Footwear is foot protection equipment, footwear which incorporates components and inserts designed to protect workers from damage caused by accidents - impact, bruising, puncture, cuts, slipping, extreme heat, chemical effects, electric shock and static electricity. Protective footwear, half-shoes or boots may be of different types, may have different levels of protection and may be classified into different categories according to their different levels of protection.



Figure 4 Model of safety footwear, protective footwear and work footwear¹⁴

In all three categories, as shown in the figure, the requirement is "A", i.e., compliance with the anti-static requirements in this industry. The footwear minimises the electrical charge by discharging electrostatic charges, thus avoiding the risk of spark-induced explosion or ignition, for example when working with flammable chemicals, in the presence of flammable vapours and in potentially explosive atmospheres. The static charge hazard is therefore primarily intended to prevent spark ignition caused by the movement of workers in potentially explosive atmospheres, rather than to prevent hazards to the feet. In this environment, the wearing of footwear only makes sense if it is combined with antistatic protective clothing [8].

The personal protective equipment described can and should be used in the manufacture of explosives, chemical production, product quality certification and destruction. The specific protective

¹⁴ Source: <https://www.google.hu/search?q=biztons%C3%A1gi+l%C3%A1bbeli&hl=hu>; <https://www.google.hu/search?q=munkal%C3%A1bbeli&tbm>; <https://www.google.hu/search?q=v%C3%A9d%C5%91l%C3%A1bbeli&tbm>; edited by the author using images from the website. Download date of the images: 11.04.2021.

equipment used primarily by law enforcement personnel in the use, detection, defusing and destruction of explosives and explosive devices is discussed in the following section.

SUMMARY

A person is constantly surrounded by risks in their life, some risks are worth dealing with, others can be dismissed. Risks to personal safety and the safety of others are clearly among those that need to be reduced, ideally to zero. In our work, as in other areas of life, responsible thinking, adherence to recommendations and regulations, genuine knowledge combined with humility are all things that help us achieve our goal of reducing the risks around us. However, on the other side of the coin, progress can be sustained by taking acceptable risks in many areas of life (perhaps all areas), including science. I would therefore like to conclude with the following quote from an unknown author:

„If I knew what I was doing, I wouldn't call it an experiment!”

BIBLIOGRAPHY

- [1] A magyar nyelv értelmező szótára: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/k-359B8/kockazat-1-379DB/>;
- [2] DR. LUKÁCS László: Katonai robbantástechnika és környezetvédelem. Jegyzet a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem műszaki hallgatói számára, Budapest, 1997.
- [3] DR. DARUKA Norbert: Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek megjelenésének problematikája a házilagosan készített robbanószerkezetek kialakításának tekintetében. Szakdolgozat, Pannon Egyetem, Veszprém, 2015.
- [4] Magyarország Alaptörvénye. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100425.atv>; Letöltés: 2021.03.20.
- [5] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300093.tv>; Letöltés: 2021.03.20.
- [6] 1997. évi CLIV. törvény az egészségügyről. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700154.tv>; Letöltés: 2021.03.20.
- [7] 1993. évi XLVIII. törvény a bányásatról. Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300048.tv>; Letöltés: 2021.03.20.
- [8] DR. DARUKA Norbert: A robbanóanyag-ipari termékek gyártásának és felhasználásának munkavédelme. Szakdolgozat, Óbudai Egyetem, Budapest, 2021.
- [9] KOVÁCS Zoltán – Robbanóanyagok a katonai gyakorlatban; Robbantástechnika 30., pp. 43-47. Paper:3, 5 p. (2008).
- [10] EMBER István – The role and the risks of explosive ordnance decontamination in Hungary. Science & Military (Veda a Vojenstvo) 16. (2021), 1. 32-42. Forrás: http://ak.aos.sk/images/repozitar/sam/sam_1_2021/sam_1_2021_5.pdf; Letöltés: 2022.08.10.
- [11] EMBER István – A lőszermentesítés szerepe az építőiparban. Építőanyag 72. (2020), 2. 59-63. Forrás: https://epitoanyag.org.hu/wp-content/uploads/2020/05/10_14382epitoanyag-jsbcm.2020.9.pdf; Letöltés: 2022.08.10.
- [12] PETŐ Richárd: A robbantással végrehajtott feladatok munkavédelmi kérdései. Szakdolgozat, Óbudai Egyetem, Budapest, 2014.

**A ROBBANTÁSTECHNIKA JELENE ÉS JÖVŐJE –
ROBBANTÁSSAL KAPCSOLATOS ISMERETSZERZÉS LEHETŐSÉGEI
MAGYARORSZÁGON¹**

**THE PRESENT AND FUTURE OF EXPLOSIVES TECHNOLOGY - THE POSSIBILITIES
OF EXPLOSIVES EDUCATION IN HUNGARY**

Norbert DARUKA Ph.D²- Péter SZEGEDI Ph.D³

Kivonat:

Az európai és ezen belül a magyarországi robbantástechnika jövőjét és fejlődésének irányait a világháborút követő újjáépítések bontási és építési munkálatai, valamint katonai feladatai alapvetően meghatározták. A robbantástechnika irányai és képzései már ebben az időszakban is két jól elkülöníthető területre fókuszáltak. Egyrészt a katonai robbantástechnika, a másrészt az ipari robbantástechnika igényei formálták a területen dolgozó szakemberek képzésének követelményeit. A cél a mai napig ugyan az, a jogszerű felhasználás keretein belül, a legnagyobb biztonsággal végrehajtani a robbanóanyag felhasználással kapcsolatos feladatokat. Ehhez olyan szakemberekre van szükségünk, akik folyamatosan szinten tartják vagy fejlesztik szakmai ismereteiket, nem zárkoznak el az új technológia alkalmazásának lehetőségeitől és ami a legfontosabb: folyamatosan átadják tudásukat és tapasztalataikat a következő generációnak. A jövő ebben a tekintetben különös jelentőséggel bír, hiszen, ha nem lesz meg a megfelelő tudás és szakértelem, akkor a szeretett szakmánk lassan az enyészeté lesz.

Kulcsszavak: *képzés, robbantástechnika, elhivatott szakember.*

Abstract:

The future and the development of explosive technology in Europe, including Hungary, were fundamentally determined by the demolition and construction work of the post-war reconstruction and the military tasks. Already in this period, the directions and training of demolition engineering were focused on two distinct areas. On the one hand, military demolition and, on the other hand, the demands of industrial demolition shaped the training requirements of the professionals working in this field. The aim is still the same today, to carry out tasks involving the use of explosives in the safest possible way, within the limits of their lawful use. To do this, we need professionals who are constantly updating or improving their professional skills, who are not closed off to the application of new technology and, most importantly, who are constantly passing on their knowledge and experience to the next generation. The future is of particular importance in this respect, because if we do not have the right knowledge and expertise, the profession we love will slowly disappear.

Keywords: *training, explosives engineering, dedicated professional.*

INTRODUCTION

„Science is like a cobweb. To the spider (because he built it himself): a clear, transparent structure, but to the entangled fly, an unmanageable tangle. Partly because he found it ready-made. If we want the learner to have an experience of learning, we must teach not the "finished product" but the process by which the interwoven chain of items and concepts is built up and born.”

Attila KÁLMÁN⁴ transcript.

The above quote may be particularly relevant for professionals in all areas of explosives engineering and especially relevant in areas of education.

¹ SÚČASNOSŤ A BUDÚCNOSŤ TECHNOLOGIE VÝBUŠNÍN - MOŽNOSTI VZDELÁVANIA V OBLASTI VÝBUŠNÍN V MAĎARSKU.

² Ph.D graduate of military engineering, Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering; ORCID: 0000-0002-7102-1787. E-mail address: daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

³ Ph.D graduate of military engineering, Hungarian Defence Forces, Force Modernization and Transformation Command; ORCID: 0000-0002-6968-6456. e-mail address: szegedidr.peter@gmail.com

⁴ Hungarian teacher, high school principal, Member of Parliament, State Secretary.

The vocational training courses are a long-term, complex and formalised relationship between students and training institutions. The trainee (trainee) and the service provider (trainer) are in a kind of membership relationship, in which the result of joint activity ensures the development and marketability of both. Training is rightly expected to provide society and the economy with a sufficient number of well-trained professionals, both in terms of quality and quantity, in line with real professional needs. In the field of explosives training, too, it is important to value those who are willing to develop themselves and are ready to take on the challenges of education, without sparing time, energy or financial resources. In this publication, we would like to show the possibilities for an "average" citizen who wants to carry out demolition activities in Hungary in full compliance with the legal requirements.

As in many cases, the law enforcement field and the industrial demolition field are different. The same is true if we look at the situation of the teaching of explosives as a profession at different levels of education. As far as explosives training is concerned, we cannot talk about training courses that go back decades, continuously evolving cycles of education and further training, because this field has always concerned a narrow but more dedicated group. [1] Consequently, every person who wishes to learn must be given the opportunity to do so, who knows, maybe one day he or she will be the representative of the whole profession! In this article, we bring together and organise the educational initiatives whose main objective has been to respond to the challenges of the times with a well-qualified professional.

On the other hand, however, we would like to draw the attention of legislators to the many different regulations and conditions that hinder those interested in the profession, even in such a small area in terms of the number of people working in the field.

CIVIL EXPLOSIVE ACTIVITY

According to Article 49. § 35. of Act XLVIII of 1993 on Mining, „*Civil explosive activity means the manufacture, acquisition, storage, use and destruction of explosives for civil use.*” Under the Act, the administrative functions relating to mining are to be performed by the Mining Inspectorate. Regulation No 27/2022. (I. 31.) on the General Regulation on Explosives Safety issued by the Inspectorate of Regulated Activities - SZTFH covers civil explosives activities. The scope of Decree 27/2022. (I. 31.) does not cover the production, storage, use, testing and destruction of explosives and ammunition, pyrotechnic products for civil use and ammunition for civil use in the possession of the Hungarian Defence Forces, law enforcement agencies and armed forces stationed in Hungary. [2][3][4]

In order to be trusted to carry out civil explosive activity, to manage and supervise the distribution of explosives, a person must have the following conditions:

- ☛ has reached the age of 21;
- ☛ have the qualifications and professional experience required to perform the activity, as defined in Decree 27/2022. (I. 31.);
- ☛ is medically fit to perform the duties of the post.

The person in charge of explosives manufacturing must be a chemical engineer with at least 3 years of experience in explosives manufacturing. If the explosive is manufactured by mixing only, i.e., the explosive can be produced by mixing, the person responsible for the manufacture (mixing) can also be trusted as the person responsible for the manufacture (mixing) if he has at least 3 years of experience as a blasting supervisor.

A person who is suitably qualified may be entrusted with explosive manufacturing work. A person with a qualification as a demolition foreman can also be trusted with the production of explosives by mixing.

Work involving explosives may be entrusted to a person qualified as a demolition engineer. A person qualified as a blasting supervisor may also perform blasting supervision work within the scope of the validity of his licence as a blasting supervisor.

A qualified and trained person (blasting assistant) may be assigned *to perform certain auxiliary tasks related to explosives*. A blasting assistant may be a person who has been trained to perform the task in question and who has been checked to ensure that he has been properly trained.

The acquisition, storage and control of explosives may be entrusted to a person qualified as a demolitions officer or with at least secondary education and qualified as a demolitions officer.

The planning, direction and control of blasting operations may be entrusted to a person qualified as a blasting supervisor.

A person with a higher technical education and at least 3 years' experience in this field may be entrusted with the *preparation and execution of the blasting plan for a structure*.

As with the processes described above, the different licences and qualifications required to carry out the various work processes are clearly visible. In the following, we will examine the conditions under which a licence as a blasting supervisor or blasting foreman can be obtained to carry out the above-mentioned activities in the field of civil demolition.

The licence is subject to the possession of a certificate of higher or intermediate technical education and to the proof of at least 3 years of experience in blasting operations in order to successfully complete the minimum 40-hour course⁵ for blasting supervisors required by the above-mentioned Regulation. The applicant must be over 21 years of age or medically fit to work with explosives. The Explosive Ordnance Disposal licence will be issued upon successful completion of the course and upon formal application by a person with a higher qualification in Explosives Engineering.

The Explosives Master licence is also obtained after the age of 21 years, when medically fit to work with explosives. The licence may be issued to a person who has completed a course of at least 120 hours in blasting supervision, has a higher technical qualification, an intermediate technical qualification or an industrial (technical) apprenticeship and has at least one year's experience in blasting operations. On official application by a person with a higher technical qualification in blasting supervision, the licence may be issued without completion of the course.

The Mining Inspectorate issues the Blasting Supervisor and the Blasting Supervisor licences for a period of 5 years. The validity of the licences may be extended on application for a further 5 years on completion of a 32-hour training course for blasting supervisors and 16 hours for blasting foremen and on passing an examination before the Mining Inspectorate's examination board.

The licences for blasting supervisor and blasting foreman are valid for the following periods:

- * opencast mining blasting; ●* blasting of structures; ●* deep drilling blasting;
- * seismic blasting; ●* underwater and ice blasting; ●* underground blasting.
- * metallurgical blasting;⁶

The Mining Inspectorate permanently withdraws the licences for the above-mentioned scope of validity from persons who are permanently unfit to perform their duties (on the basis of a medical opinion).

In conclusion, it can be said that, given the right age and medical condition, it is relatively easy to obtain the necessary licences (for practitioners) to carry out civil blasting activities. The easiest position is for those with a qualification as a specialist blasting engineer, who only need to apply for the necessary licences on the basis of their qualifications. In the following, we will look at how this qualification can be obtained and the possibilities for obtaining higher qualifications in the field.

HIGHER VOCATIONAL QUALIFICATIONS

In the 1990s, the globalisation of higher education was also due to the emergence of an international training market and the internationalisation of research. In 1999, the signatories of the Bologna

⁵ Courses may only be run by an organisation with the prior approval of the Mining Inspectorate and with the necessary personnel and equipment for theoretical and practical training. A person with a university degree and a licence as a blaster may be appointed as a course instructor. The practical training may be given by a person holding a licence as a blaster.

⁶ No licence is currently issued in Hungary for metallurgical blasting work, as the 3-year practical activity cannot be certified anywhere in the country in the absence of a licence for metallurgical activities.

Declaration set the goal of creating the European Higher Education Area, and the 29 signatory countries, including Hungary, committed themselves to harmonising and making their higher education systems comparable. They created a system of three consecutive training cycles, which created more transition opportunities between different courses during the course of training, allowing more time for students to identify their own skills and interests. The multi-cycle training structure is adapted to the challenges of mass education, making it easier to adapt to dynamic changes in the labour market and to the lifelong learning process. The first cycle, the Bachelor's degree (BSc), provides professional skills that can be immediately used in the labour market and the theoretical knowledge needed to continue studies in the Master's degree (MSc). Specialisation, specialisation and new qualifications can be acquired in the Master's degree courses, and scientific knowledge in the Doctoral degree (PhD). Higher vocational education and training is not part of the Bologna system, but it is part of higher education. [5] It does not provide a higher education qualification, but the knowledge and achievements acquired in this form of education can be credited towards the initial education and training, and it is possible to transfer from initial education to higher vocational education and training. The achievements of the new training system include a credit system for student mobility, a quality assurance and quality management system and institutional interoperability.

Even within the same discipline, higher education - undergraduate, masters and doctoral - has very different customer needs and different input and output competences.

The importance of a wide range of student-friendly services, such as the availability of teaching materials, teaching and assessment methods, the transfer of up-to-date knowledge, the equipment of classrooms and laboratories, the proportion of laboratory activities complementing theoretical knowledge, the proportion of practical training, the use and dissemination of modern technologies, the planning of timetables, the availability of traditional and electronic libraries, talent management programmes, the institution's website, etc., has increased. [6]

Post-graduation career tracking has become an expectation, and it has become important information to monitor the career paths and placements of graduates, not only because of its high reputation value, but also because graduates who have started work can help training with their experiences, comments and orders, and can highlight points which, if corrected, can raise the quality of education.

By focusing on quality in both education and service, those institutions that can provide their students with real, up-to-date and useful values in their daily lives will survive in the education market.

The growth of higher education has been accompanied by an increase in the need to ensure the control and transparency of administrative tasks in education and research, and the emergence of quality systems, external and internal audits and accreditation processes. Institutional expectations and interests must be aligned with external standards. Institutional quality assurance mechanisms must be put in place to ensure that the system works in the service of strategic objectives. [7] The Hungarian Higher Education Accreditation Committee (MAB) was established to monitor and evaluate the quality of training and research in higher education and to examine the functioning of the institutional quality development system. The national expert body accredits training programmes and institutions. From the 2006/2007 academic year onwards, the evaluation of institutional and faculty activities will be carried out on the basis of the Bergen ENQA standards and guidelines for the internal quality management system of higher education institutions, in line with the requirements of the European Higher Education Area. [8]

What exactly do they mean from the listener's point of view? Due to the flexibility of the credit system, the Hungarian higher education system offers a wide range of entry, branching and progression options. The training and output requirements of a given bachelor's or master's degree programme determine the qualifications that can be obtained, the specific aptitude requirements and the theoretical and practical knowledge and professional competences needed to obtain the degree. The number of language examinations required to obtain the diploma is also dependent on the course.

To get an accurate picture, it is necessary to go through all the levels of training related to blasting in the higher education system.

Basic education (A) - for those who have a school-leaving certificate and want to obtain a diploma, the first step is to complete a basic education course. The BSc (Bachelor of Sciences) degree, which is a 6-8 semester course, provides a higher education qualification and a professional qualification.⁷ The National University of Public Service, Faculty of Military Science and Military Officer Training, provides training in the framework of the Military Leadership Bachelor's Degree (Military Leadership), which offers students an optional specialisation leading to specific competences. At this university, the Technical specialisation includes “blasting” between 5 and 8 semesters. During this training period, students will be introduced to the basics of military demolition techniques and will acquire basic military demolition practice. The training varies according to current requirements, so that the total theoretical and practical hours do not exceed 100 hours. This number is insufficient to be considered as sufficiently qualified professionals in the field of demolition. It is, however, sufficient to give a general idea of the students' suitability for further study in the field. [9]

Unclassified training (O) - There is no training in Hungary today where students can acquire knowledge related to demolition within the framework of an unclassified course.

Master of Science (MSc) - A Master of Science (MSc) is a Master's degree and a professional qualification. To be admitted to a Master's programme, you must have at least a bachelor's degree - or a bachelor's degree from a college/university under the former system of education. The precise admission requirements are determined by the higher education institutions themselves.⁸ The National University of Public Service, Faculty of Military Science and Military Officer Training, Military Leadership Master's Degree programme provides students with a general introduction to explosive devices used in theatre of war and a knowledge of homemade explosive devices. There is no such level of education and training for civil demolition activities.

Higher Vocational Education (F) - 4 semester courses provide higher vocational qualifications but no diploma. Unfortunately, there are no courses in Hungary today where students can acquire knowledge of demolition within the framework of higher education.

Continuing vocational training - a form of training leading to a diploma based on the bachelor's and master's degree obtained, which prepares the trainee for specific tasks without changing the level of qualification and allows for a specific deepening of previously acquired knowledge.⁹ Nowadays, the University of Óbuda, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Centre for Adult Education, offers the possibility of obtaining a specialised higher education qualification in the field of explosives engineering.¹⁰

The specialisation is not new, but a renewed higher education training, as the first specialised engineers in Explosives Engineering were trained in Miskolc and the first specialised engineers in Explosives Engineering in Veszprém.

When the current training course was launched, Óbuda University concluded two cooperation agreements in connection with it. The first agreement was, of course, with the Hungarian Explosive Technology Association, and the second with CerTrust Kft. [10]

⁷ It provides professional skills that can be used in the labour market, gives the right to a legally defined job, and significantly increases employment opportunities. It also provides an adequate theoretical basis for continuing studies in the relevant field at master level.

⁸ The Master's programme usually lasts 2-4 semesters and gives you the opportunity to deepen your professional knowledge. Upon completion, you can enter the labour market or apply for a doctoral programme, which prepares you for a scientific degree.

⁹ Vocational training courses lasting 2-4 semesters can be taken while you work - and the workplace can even provide a continuous practical backdrop to your training. Their curricula consist of theoretical and practical blocks. Practical training may involve a fixed period of study in a training centre, involving supervised study with consultations and the assistance of a trainer.

¹⁰ On the basis of the application submitted by Prof. Dr. László Lukács to the Education Office, the decisions authorising the start of two specialised further education courses (explosives engineer, explosives specialist) were issued on 31 August 2016.

The university and the 1st Honvéd EOD és Warship Regiment of the Hungarian Defence Forces had already signed a cooperation agreement on a completely different basis, which was extended to include the training in Explosive Ordnance Disposal in 2021. This has significantly simplified the bureaucratic multi-step correspondence, applications and requests. The Regiment has been of great help to the practical sessions of the training, as it has not only been able to provide instructors, but also to ensure access to the Firefighters' Cabinet and training sites and to acquire and improve specific knowledge. [11]



Picture 1. Practical training at the MH 1.HTHE EOD Cabinet¹¹

As for the practical training, mention should also be made of Puraset Water & Metal Solutions Ltd. and its staff, who introduced the students to the field of blast metal working. *“The company's András Szalay (electrical engineer, blasting supervisor) and Dr. István Zádor (transport engineer, blasting supervisor) gave theoretical training on the rules of cladding and blast welding of metal sheets; the methods of ductile forming of metal sheets and metal pipes; and the possibilities of blast compaction of metal and ceramic powders. Lóránd Kugyela, explosives engineer and PhD student at the Óbuda University Doctoral School of Security Sciences, presented his research on binary explosives. The theoretical education was followed by practical implementation, where we were able to observe 5 blast formations in the blasting chamber of a catering company.”* [11]

At the beginning of the training course, TÜV Rheinland InterCert, and after the name change CerTrust Ltd. was the company that contributed to the practical knowledge of explosives testing and explosives storage by providing training facilities and explosives free of charge, and by providing its own expertise. The cooperation with this company will continue in the future, thanks to the good relationship and the cooperation agreement with the university.

In the framework of the course on the detection of explosive devices, we visited Z&Z Security Technology Ltd. for the second time, where the Director of Education and Quality Control, as a member of the first year's training course, gave a detailed presentation on the company's operations, its development and the current needs of the private security sector.

The first of the practice-oriented sessions introduced the students to the distribution and installation of special security equipment and systems. *“After learning the theoretical basics, the future engineers were able to practise the detection of explosives and explosive devices and various prohibited objects on tracer x-rays. The metal detectors were also a great success, providing an interactive way to learn the educational material presented. During the visit, we also had the opportunity to test the detection of explosive devices with a CT simulator and were informed about the screening of persons, the possibilities of using Body scanners and the relevant legislation. We were given a glimpse into the world of pulse-generator-based bomb disposal X-ray machines, highlighting the specificities of professional detection. As a final part of the visit, we were able to analyse X-ray images using a tutorial, naturally adapted to explosive devices. We concluded the*

¹¹ Picture: Krisztián SOMOGYI.

software-based image analysis by learning about the inert versions of dangerous devices (weapons, explosives, explosive devices).” [11]



Picture 2. Practising on X-rays of knots ¹²

Detonet Ltd. and Dr. János Földesi, who invited the students to half a dozen of his designed and constructed demolitions in connection with the subjects he teaches, played a very important role in the experiential practical sessions. The practical sessions were enriched by crop storage silos and chimney blasting.

Such demolitions were not exhaustive:

- ☛ On November 9, 2019, the 2nd year correspondence students of the Bánki Blasting Engineering specialisation participated in the blasting of a 35 m high, 3.2 m external diameter, high-strength brick chimney in Gyöngyös. [12]
- ☛ Detonet Kft. is the partner of UNILEVER Kft. Nyírbátor demolishes several disused buildings by demolition. On 4 March 2020, our students were able to watch the demolition of a steel silo on reinforced concrete pillars. The 108 blast holes contained a total of 4.5 kg of explosives. The structure was blown away in the intended direction, without causing any damage to other installations in the factory. [13]



Picture 3. Training Class I at the BÉM chimney explosion in Sajókeresztúr ¹³

- ☛ On October 28, 2021, the 1st year students of the Bánki Explosive Technology Engineer 1st year postgraduate course participated in the blasting of a 60 m high, 4.0 m external diameter, high-strength brick chimney in Hatvan. [14]

There was some debate in professional circles about the subject matter of the Explosives engineer/specialist training, but thanks to discussions, the Education Office approved the subject matter as shown in Table 1.

¹² Picture: Krisztián SOMOGYI.

¹³ Picture: Zsuzsanna BALOGH PhD.

The curriculum is still implemented today in this form, with minor modifications, as a result of renaming due to bureaucratic processes, but in line with the original idea.

Explosives engineer/specialist training	Credit	Hours	Requirement
I. total semester	30	112	
Explosives chemistry	6	24	Mid-year mark
Advanced industrial and military explo. and their applications	10	36	Exam
Health knowledge related to working with explo. and blasting	4	12	Mid-year mark
Storage and transport of hazardous materials	2	8	Mid-year mark
Explosion physics	6	24	Mid-year mark
Gas dynamics	2	8	Mid-year mark
II. total semester	30	112	
Basics of the finite element method	2	8	Mid-year mark
Modelling of blast shock waves, methods and possibilities of studying their propagation in complex space	12	32	Mid-year mark
General characteristics of bomb threats and bomb attacks	2	8	Exam
Methods and tools for detection and defusing explo. devices	2	16	Mid-year mark
Risk analysis of explosive incidents	2	8	Mid-year mark
Building materials, building structures	6	24	Mid-year mark
Architectural aspects and possibilities of protecting buildings against explosive attacks	4	16	Mid-year mark
III. total semester	26	112	
Design, reinforcement and defence of buildings based on blast tests and software modelling	8	24	Exam
Explosive demolition of buildings	8	40	Exam
Direct and indirect effects of explosions in the environment	5	24	Mid-year mark
Reconstruction and detection techniques of explosive attacks	5	24	Mid-year mark
IV. total semester	34	112	
Specialist issues in fire and disaster management	8	24	Exam
Applied professional legal knowledge	2	8	Mid-year mark
Quality assurance	2	8	Mid-year mark
Mining explosions	8	40	Mid-year mark
Flood defence blasts	4	16	Mid-year mark
Closure project	10	16	Mid-year mark

Table 1. Curriculum and description of subject programmes

Doctoral training - Those planning a research or more theoretical career can apply for an accredited doctorate (PhD) after completing a Master's degree. More and more professionals are taking advantage of the opportunities to obtain a scientific degree in explosives engineering. Among the most important and ongoing PhD courses, it is worth highlighting the research related to civil explosives activity conducted by Lóránd Kugyela, explosives engineer and PhD student at the Security Sciences Doctoral School of Óbuda University. His topic is related to the production, testing and marketing of multi-component explosives. In the field of military explosives technology, István Ember, explosives engineer, PhD student at the National University of Public Service, Doctoral School of Military Science, is conducting research on "Bombardment insurance responses to the challenges of asymmetric warfare" and conducting experimental explosions. The doctoral students are also lecturers in the Explosives Engineering course, providing the students with a significant body of knowledge [15][16][17] relevant to the challenges of the modern age, including the applicability of 3D printing in specific explosive fields. We are confident that more professionals will choose this field of research in the future and that their work will contribute to the development of the profession.

Unfortunately, there has been no significant progress in the area of PhD training in mining. We hope that all those who work in mining, whether they are blasters, drillers or anyone else we meet in the mine, will have the opportunity and the strength to embark on this long journey and see it through.

QUALIFICATIONS OBTAINED IN LAW ENFORCEMENT AGENCIES

As described in the first part of this publication, Regulation 27/2022 does not cover the Hungarian Defence Forces and law enforcement agencies. This follows from the terms of reference and other internal regulations. Anyone who has no criminal record and meets the health requirements in addition to the relevant physical and psychological requirements can be a soldier or police officer. To become a soldier, a person must undergo basic training, which includes a basic knowledge of explosives. Consequently, every soldier must have at least a minimum level of knowledge of military explosives, the rules for handling them and the conditions of their use. In special cases, the soldier will serve in the special forces, or in the bomb squad, or in technical units. In this case, part of his job will involve blasting and handling explosives. Every year, such soldiers must attend a training course and practical sessions based on an internal set of rules, where they can obtain the qualification of Explosive Ordnance Disposal Officer. This qualification allows them to carry out demolition duties only if they are performing their military duties. The qualification must be renewed every year. For bombardiers, the training is much more complex, as they can obtain the Class III Bombardier grade after completing a basic bombardier course and passing a complex multi-part examination, which they must also defend annually. A few years later, a soldier may have the opportunity to obtain the class II Bombardier grade, which must be defended annually. To become a Class I Bombardier, one must not only practice the profession continuously, but must have at least 10 years of study and practice. There is also a Master Grade Firefighter recognition title, which can be awarded to a Class I firefighter who has held the title for 10 years, if he or she is involved in teaching and other academic activities in addition to his or her duties. Soldiers who perform other demolition tasks would not acquire the same specialised knowledge as bombardiers, as their duties do not require them to acquire this level of knowledge. They can mostly use their knowledge in the areas of opening hatches, hatch blasting and specialised demolition wall tasks. [18]

The situation is similar in other areas of law enforcement. The Standby Police is preparing its specialised staff to perform its EOD Service tasks. Their tasks included:

- inspection of the fire brigade at the sites of celebrations and events;
- in the event of bomb threats, searching threatened sites for explosive devices;
- dismantling and destruction of found explosive devices after expert examination.

The police and the defence forces often work together to train their professionals as effectively as possible. It is perhaps fair to say, and with no offence intended, that the police use and employ the least explosives. And let us keep it that way, because it means that we live in a relatively safe country. There is, however, another organisation under the direct control of the Minister of the Interior, the Counter-Terrorism Centre (TEK). Among the specialists who serve in the TEK are also explosives specialists who, if we may say so, can be considered masters of intrusion and hatch-blasting. Because of their tasks and their field of activity, they often have to practise the professional and rapid placement of special charges, usually small, in order to be able to penetrate the desired areas within minutes if necessary. This is perhaps where the greatest knowledge of the use of small charges is needed, as there is no time to invent new procedures, no time to test them. When they do have to go in, they have at most -3 minutes to prepare and apply the knowledge they have gained in the blasting field.

SUMMARY

We have presented a tangled web of explosives technology as an educational activity and the qualifications and licences that can be associated with it. It is shown how to obtain a licence to act as a Master Demolitions Engineer or as a Demolitions Supervisor at secondary level. Through the elements of the higher education system, it is shown in which fields some kind of demolitions education is currently provided. We have described in detail how the training of blasting engineers is

based on the themes and concepts of the training and the graduates. We briefly described the areas of law enforcement where soldiers and police officers are prepared for the full performance of their duties according to a special system of criteria. Hopefully, in the future, there will be progress in all areas and opportunities to make this wonderful profession more successful and safer.

Generally speaking, at all levels and in all fields of education, in order to produce high quality knowledge, commitment needs to be accompanied by detachment, and the need for methodological rigour needs to be accompanied by a high degree of flexibility, awareness and critical confrontation, and transparent communication.

BIBLIOGRAPHY

- [1] DR. DARUKA Norbert: *Robbantástechnika II. - A robbantástechnikai képzés jelene jövője és annak helye a hazai szakmai életben*. Fűrés-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium 2022, Velence., pp.: 21-31., ISBN 978-615-01-6009-2.
- [2] 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról;
Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300048.tv>; (Letöltés: 2023.02.19.)
- [3] 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról;
Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200027.stf>; (Letöltés: 2023.02.19.)
- [4] 28/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet a polgári felhasználású robbanóanyagok forgalmazásáról és felügyeletéről, Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2200028.STF>; (Letöltés: 2023.02.19.)
- [5] CSIZMADIA Tibor: Minőségmenedzsment a felsőoktatásban, Felsőoktatásmenedzsment, szerkesztette: Drótos Gy. – Kovács G., Aula, 2009. pp.:179-198.
- [6] OLLÉ János: A képzés minőségét befolyásoló oktatás- és tanulásszervezési kérdések a felsőoktatásban, Felsőoktatásmenedzsment, szerkesztette: Drótos Gy. – Kovács G., Aula, 2009. pp.:149-164.
- [7] MAJÓ Zoltán: Hallgatói életútmenedzsment, Felsőoktatásmenedzsment, Aula, 2009. pp.:165-178.
- [8] HALÁSZ Gábor: A felsőoktatás globális trendjei és szakpolitikai válaszok az OECD országokban és az Európai Unióban, Felsőoktatásmenedzsment, Aula, 2009. pp.:13-30.
- [9] KOVÁCS Zoltán – Robbantás oktatás a katonai BSc. képzésben; Fűrés-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium 2022, Velence., pp.: 61-74., 14 p., ISBN 978-615-01-6009-2.
- [10] DR. LUKÁCS László - A Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzési szak és annak helye a hazai szakmai életben (tájékoztató). A Magyar Robbantástechnikai Egyesület 2020.08.26-i rendezvényen előadott előadás.
- [11] DR. DARUKA Norbert - Robbanószerkezeteket kerestek - robbanótesteket találtak! Óbudai Egyetem Hírmondó; 2022. június pp. 42-43.
- [12] DR. LUKÁCS László - Kéményrobbantáson a robbantástechnikai szakmérnök-hallgatók;
Forrás: <https://bgk.uni-obuda.hu/hu/kar/cikk/2020/01/29/kemenyrobbantason-robbantastechnikai-szakmernok-hallgatok>; (Letöltés: 2022.07.13.)
- [13] DR. LUKÁCS László - Robbantástechnikai szakmérnökök terménytároló siló és kéményrobbantáson; Forrás: <https://bgk.uni-obuda.hu/hu/kar/cikk/2020/03/23/robbantas-technikai-szakmernokok-termenytarolo-silo-es-kemenyrobbantason>; (Letöltés: 2022.07.13.)
- [14] DR. DARUKA Norbert – Ismét robbantottak a szakmérnök hallgatók; Forrás: <https://puraset.hu/hu/tudastar/hirek/engineering-students-exploded-again>; (Letöltés: 2022.07.13.)
- [15] EMBER István – The role and the risks of explosive ordnance decontamination in Hungary. Science & Military (Veda a Vojenstvo) 16. (2021), 1. 32-42.
- [16] EMBER István – A lőszermentesítés szerepe az építőiparban. Építőanyag 72. (2020), 2. 59-63.
- [17] KUGYELA Lóránd – A több komponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. Katonai Logisztika 2020. évi 4. szám; pp. 58-75.
- [18] KOVÁCS Zoltán – Robbanóanyagok a katonai gyakorlatban; Robbantástechnika 30., pp. 43-47. Paper:3, 5 p. (2008).

3D nyomtatással készült tárgyak alkalmazása a robbantástechnikai kutatás-fejlesztésben és oktatásban

Application of 3D-printed objects in blasting research and development and education

Imre Dioszegi blasting technology engineer
CerTRust Kft. Hungary

Abstract

Az elmúlt években az egyre korszerűbb és egyre alacsonyabb árú 3D nyomtatók megjelenése új lehetőséget teremt a robbantástechnikában alkalmazott tárgyak (pl. töltetek, indító szerkezetek) kísérleti jellegű vagy kis sorozatmennyiség létrehozásában. A 3D nyomtatási technológia lehetővé teszi modellezni, összehasonlítani és vizsgálni a speciális töltetek tulajdonságait. A 3D-s nyomtatási technológiával a kutatás-fejlesztéshez és oktatáshoz alacsony költséggel lehet létrehozni a szükséges vizsgálati eszközöket. Az előadás bemutat néhány olyan területet, ahol már alkalmazásra került a 3D nyomtatás technológia.

Előszó

A 3D nyomtatás technológia korunk egyik leggyorsabban fejlődő technológiája az élet szinte minden területén. Különböző tárgyakat, alkatrészeket és használati eszközöket lehet 3D nyomtatással könnyen megtervezni és előállítani. Ma már építőiparban is kezd elterjedni, mint építési technológia.

A 3D technológia lényege az, hogy térbeli tárgyakat párhuzamos síkokkal felszeletelve a síkbeli metszeten található vonalakat, területet követve a nyomtató fej hozza létre az anyaglerakást.

Többféle anyaglerakási módszer van, mindegyiknek vannak előnyei és korlátai.

Az egyik legelterjedtebb anyaglerakási módszer az FDM (*Fused Deposition Modelling*), a hőre lágyuló, elsősorban műanyagokból készült alapanyag szálaknak (filamenteknek) a nyomtató fejben történő felolvasztása és folyékony állapotban történő kinyomása nagyon precíz vezérléssel.

A nyomtató szál dobra csévélte, 1,75 vagy 2,8 mm vastagságú hengeres szál. Általában 1kg-os száltömeg van a dobokon.

A 3D FDM nyomtatókat – főleg alacsony árak miatt – használják a leggyakrabban.

1. Az FDM 3D nyomtatás előnyei és hátrányai

Az FDM nyomtatás előnyei:

- a legkisebb költségű nyomtatási technológia,
- kompozit anyagok is készíthetők (szénszálas, üvegszálas anyagok)
- szigetelő, félig vezető-, vagy vezetőképes tárgyak készíthetők vele,
- kizárólag az FDM nyomtatásnál van lehetőség lebomló, illetve környezetbarát műanyagok, alkalmazására
- csak az FDM nyomtatásnál van lehetőség különböző tulajdonságú és színű műanyagok egyidejű létrehozására
- méretezett, zárt belső légterek létrehozása (fröccsöntésnél ez szinte alig megoldható feladat)
- cellás héjszerkezet alapon könnyen előállítható, ami alacsony tömeget és extra nagy szilárdságot eredményezhet
- egyedi és kis szériás gyártásnál a legkisebb költségű technológia
- a 3D-s tervezés könnyen elsajátítható az ingyenes, vagy alacsony árú szoftverekkel (FreeCAD, CURA)
- termoplasztikus, rugalmas műanyagokat csak a FDM nyomtatási technológiával lehet nyomtatni

Az FDM nyomtatás hátrányai:

- a szeletelési technológia miatt a nyomtatási idő hosszú,
- a nyomtatószál nyomtatófejben történő megolvasztásához idő kell, ezért a nyomtatási sebesség felső határa korlátozott

- egyes műanyagok (ABS, ASA) a nyomtatási hőmérsékleten – ha csekély mértékben is - egészségre ártalmas gázokat fejlesztenek
- a nyomtatószálak gyártói termékspecifikus adatokat adnak meg a nyomtatási paraméterekre, így egy 3D- tárgy kinyomtatása előtt előfordul, hogy állítani kell a nyomtatási paramétereken, ami odafigyelést igényel (pl. nyomtatási hőmérséklet, nyomtatási sebesség stb.)

2. 3D-s nyomtatott tárgyak alkalmazása a robbantástechnikában

Alapvetően a nagy tömegben használt robbanó tárgyak (töltetek, indító töltetek) a gyári kisereléssel kerülnek alkalmazásra.

Hol alkalmazható akkor a 3D-s nyomtatási technológia?

Válasz:

- Elsősorban olyan helyeken, ahol valamilyen paraméterek meghatározásánál vagy azonos méretű burkolatokra, vagy töltetburkolatok eltérő méretű sokaságára van szükség.*
- Másodsorban olyan testek létrehozása, amelyek más technológiával nem, vagy csak bonyolult módon hozhatók létre.*
- Harmadsorban olyan helyeken, ahol el kell kerülni a töltetburkolat okozta repeszhatást.*
- Negyedsorban olyan helyeken, ahol el kell kerülni a töltetburkolat környezetszennyezését.*

A 3D-s nyomtatás lehetséges alkalmazási területei:

a.) Kutatás, fejlesztés, minősítő vizsgálatok

- azonos töltetméretek, de eltérő robbanóanyagok összehasonlító vizsgálata
- azonos robbanóanyagok, de eltérő töltetméretek összehasonlító vizsgálata
- speciális vágótöltetek (lineáris-, gyűrűtöltetek) hatásvizsgálata
- vizsgáló töltetek alkalmazása, a robbanás hatásainak kutatásánál
- vizsgáló repesztöltetek alkalmazása a védőeszközök fejlesztésénél, vizsgálatánál
- egyszer használatos indító szerkezetek (pl ADR vizsgálatok)
- egyszer használatos vizsgáló eszköz alkatrészek (pl. detonáció sebességmérő)

b.) Oktatás

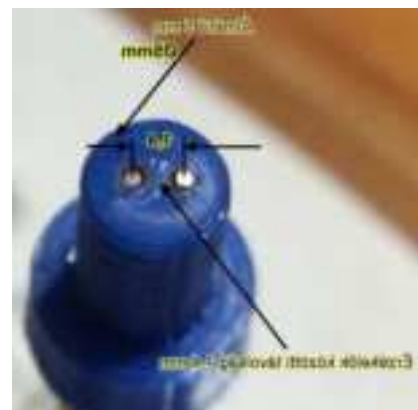
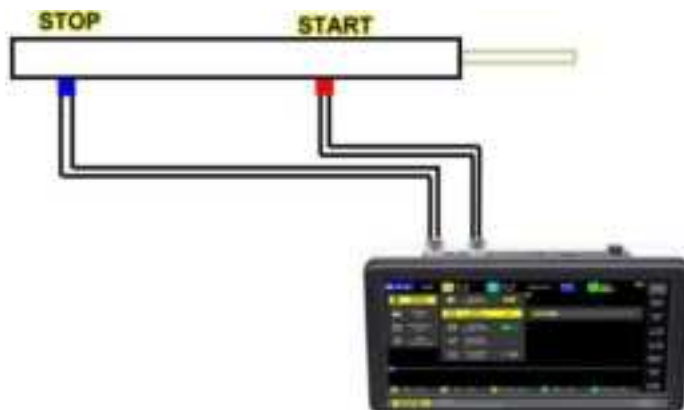
- hatást prezentáló töltetek háza

c.) Szeizmikus robbantás területén

- az adott talajviszonyokhoz igazodó töltetméretek kialakításánál

3. Néhány gyakorlati példa a 3D-s nyomtatóval készített tárgyakra

a.) Detonációs sebesség mérő szonda



1. kép Érzékelő szonda VoD méréshez



2. kép Érzékelő szonda házak VoD méréshez

b.) Kumulatív töltet **réztartalmú** filamentből készült betéttel (kutatás)

A töltetház 2 darabból áll, a betét 30% vörösréz tartalmú PLA filament, sűrűsége $3,65 \text{ kg/dm}^3$.
 Robbanóanyag Semtex 1A, a töltet össztömege 38g, a betét tömege 3,7 g.

Eredmény: A sugár 3 db 10 mm vastag acéllemezen hatolt át ütött át, az alatt levő 50 mm vastag acéllemezbe 18 mm mélyen hatolt be.

Ugyanilyen kialakítású másik töltet 100 mm hosszú, 40 mm vastag ötvözött alumínium hengerbe 82 mm mélységű penetrációs csatornát hozott létre.



3. kép 36mm átmérőjű töltet



4. kép A penetrációs mélység 48 mm

c.) Univerzális töltetház

A töltetház szeizmikus robbantáshoz készült, változtatható töltetmennyiségekhez, többféle indítási módot lehetővé téve. A töltetátmérő 75 mm, 100-500ml töltettérfogattal.

Alsó és felső indítást tesz lehetővé, középen robbanózsínóros indítási lehetőséggel.

A töltetház PLA (polilaktóz), lebomló műanyag, sűrűsége $1,23 \text{ kg/dm}^3$.

Teljes tömege: 90g



5. Többcélú töltetház

4. Következtetés

Az FDM 3D-s nyomtatással készült testeknek van helyük a robbantástechnika területén is, főleg olyan helyeken, ahol egyedi, vagy változó feltételű feladatokat kell elvégezni. Nagyon nagy előny az alacsony költségű nyomtatási hardver és szoftver. A lehetőségek feltárása még nem fejeződött be, a robbantási, de főleg a kutatásban résztvevő szakemberek részére nagy segítséget jelent a technológia.

Application of 3D printed objects in blast technology R&D and education

Application of 3D-printed objects in blasting research and development and education

Imre Dioszegi blasting technology engineer
CerTRust Kft. Hungary

Abstract

In recent years, the appearance of more and more modern and lower-priced 3D printers has created new opportunities for experimental or small batch creation of objects used in blasting technology (e.g. charges, launchers). 3D printing technology allows you to model, compare and test the properties of special fillings. With 3D printing technology, it is possible to create the necessary testing tools for R&D and education at low cost. The presentation presents some areas where 3D printing technology has already been applied.

Foreword

3D printing technology is one of the fastest developing technologies of our time in almost all areas of life. Various objects, parts and utility devices can be easily designed and produced using 3D printing. Today, it is also beginning to spread in construction as a construction technology.

The essence of 3D technology is that by slicing spatial objects with parallel planes, the lines on the planar intersection are created by the print head, following the area, the material dumping.

There are several methods of laying materials, each of them has advantages and limitations.

One of the most common material disposal methods is FDM (*Fused Deposition Modelling*), the melting of thermoplastic filaments (filaments) made primarily of plastics in the printing head and printing them in the liquid state with very precise control.

The printer is a cylindrical filament wound on a drum, 1,75 or 2,8 mm thick. Usually there is a thread weight of 1kg on the drums.

3D FDM printers are the most commonly used, mainly because of their low price.

1. Pros and cons of FDM 3D printing

Advantages of FDM printing:

- lowest cost printing technology,
- composite materials can also be made (carbon fiber, fiberglass)
- insulating semiconductor or conductive objects can be made with it,
- Only FDM printing allows the use of degradable or environmentally friendly plastics
- only FDM printing allows the simultaneous creation of plastics with different properties and colors
- creation of dimensioned, enclosed indoor air spaces (this is hardly a feasible task in case of injection moulding)
- The cellular shell structure is easy to manufacture by default, which can result in low weight and extra high strength
- The lowest cost technology for individual and small series production
- 3D design can be easily mastered with free or low-cost software (FreeCAD, CURA)
- thermoplastic, flexible plastics can only be printed using FDM printing technology

Disadvantages of FDM printing:

- due to slicing technology, printing time is long,
- Melting the filament in the print head takes time, so the maximum print speed is limited
- some plastics (ABS, ASA) produce gases harmful to health, albeit to a small extent, at print temperature
- filament manufacturers provide product-specific data for printing parameters, so before printing a 3D object, it may be necessary to adjust the printing parameters, which requires attention (e.g. print temperature, print speed, etc.).

2. Application of 3D printed objects in blasting technology

Basically, explosive objects used in large quantities (charges, booster charges) are used with the factory packaging.

Where then can 3D printing technology be applied?

Answer:

- A. *Primarily in places where, when determining certain parameters, either covers of the same size or a multitude of filling covers of different sizes are required.*
- B. *Secondly, the creation of bodies that cannot be created by other technologies, or can only be created in complex ways.*
- C. *Thirdly, in places where fragmentation caused by the fluid envelope must be avoided.*
- D. *Fourthly, in places where it is necessary to avoid environmental pollution of the filling cover.*

Possible applications of 3D printing:

a.) Research, development, qualification tests

- Comparative test of identical munition dimensions but different explosives
- comparative test of identical explosives but different munition sizes
- Impact assessment of special cutting fillings (linear, ring fillings)
- use of test fluids in research on the effects of an explosion
- Use of test fragmentation fluids during the development and testing of protective equipment
- disposable starters (e.g. ADR tests)
- disposable test instrument components (e.g. detonation speedometer)

b.) Education

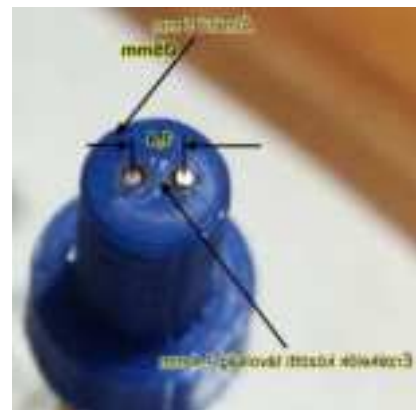
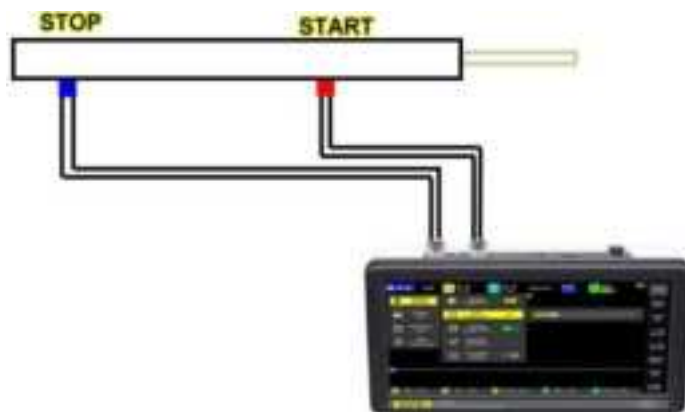
- housing of charges presenting effects

c.) Seismic explosion field

- when designing fill sizes adapted to specific soil conditions

3. Some practical examples of objects made with a 3D printer

a.) Detonation velocity probe



1. image Sensor probe for VoD measurement



2. image Sensor probe housings for VoD measurement

b.) Cumulative filling *with copper fillet insert (research)*

The filling case consists of 2 pieces, the insert contains PLA filament containing 30% copper, its density is 3.65 kg/dm³. Explosive Semtex 1A, total weight of charge 38g, weight of insert 3.7g.

Result: The beam penetrated through 3 steel sheets 10 mm thick, penetrated 18 mm deep into the 50 mm thick steel sheet below.

Another charge of the same design created an 82 mm deep penetration channel into a 100 mm long alloyed aluminium cylinder 40 mm thick.



3. image 36mm diameter charge



4. image The penetration depth is 48 mm

c.) Universal filling housing

The charge housing is designed for seismic detonation with variable amounts of charges, allowing multiple launch modes. The filling diameter is 75 mm with a filling volume of 100-500ml.

It allows lower and upper starts, with the possibility of launching with a debunking cord in the middle.

The filling case is PLA (polylactose), a degradable plastic with a density of 1.23 kg/dm³.

Total weight: 90g



5. Multipurpose case of charge

4. Conclusion

FDM 3D printed bodies also have a place in the field of blasting technology, especially in places where individual or variable tasks have to be performed. A very big advantage is low cost printing hardware and software. The exploration of the possibilities is not yet complete, the technology is of great help to the experts involved in blasting, but especially for those involved in research.

ACÉLMAGVAS LÖVEDÉKŰ LŐSZER VIZSGÁLATA¹

TESTING OF STEEL-CORE PROJECTILE AMMUNITION

Péter ÉLES²

Kivonat:

A Magyar Honvédségben zajló Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében a tényleges állomány egyéni fegyvereinek leváltása is folyik: az AMMSz (AK–63D) Kalasnyikov-rendszerű gépkarabélyokat felváltják a CZ BREN2 típusú fegyverek. A szerző publikációjában vizsgálja a 80 éves konstrukciójú – de a mai napig használt – jól bevált 7,62×39 mm-es 43M PSz acélmagvas lövedékű töltényt, amely a Kalasnyikov gépkarabélyok és golyószórók alaplőszere és bizonyos alkatrészcserek után a CZ BREN2-höz is alkalmazható. Ismerteti a lőszer szerkezetét, a felhasznált anyagokat, a gyártástechnológiát, külballisztikai tulajdonságait.

Kulcsszavak: *Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program, lövészlőszer, ballisztika, fizikai hatások*

Abstract:

In the framework of the Defence and Military Development Programme of the Hungarian Defence Forces, the individual weapons of the actual personnel are also being replaced: the AMMS (AK-63D) Kalashnikov-type assault rifles are being replaced by CZ BREN2 type. In his publication, the author examines the well-proven 7.62×39 mm 43M PS steel-core projectile cartridge of 80-year-old design, still in use today, which is the basic ammunition for Kalashnikov assault rifles and bullet launchers and, after certain component changes, can be used for the CZ BREN2. It describes the structure of the ammunition, the materials used, the manufacturing technology and its external ballistic properties.

Keywords: *Defence and Military Development Programme, munitions, ballistics, physical effects*

INTRODUCTION

One of the major tasks in the process of the Defence and Force Development Programme is the rearmament of soldiers, including the replacement of the AMMS (AK-63D) assault rifle with the CZ BREN2 type for the actual personnel – the individual weapon of the reserve personnel remains the AMMS for the time being. Much has been said and debated about the old and new weapons, pro and con. Ammunition, however, has somehow been left out of these polys.

The new weapon basically uses the 5.56×45mm (.223) NATO ammunition, but can be converted to 7.62mm space-age, using the 7.62×39mm 43M steel-core PSz ammunition - so this older design ammunition is not being phased out. In the context of this changeover, it seems appropriate to give a closer look at our 7.62 mm carbine ammunition, which is being "placed in reserve": there have been many publications about the Kalashnikov-style weapons, but less about the ammunition. The more detailed descriptions and analyses of the 7.62 mm 39M and 43M cartridges are more likely to be found in a restricted professional circle. Even in the regulations and operating instructions for Kalashnikov weapons, and even in the service book Ammunition Material Knowledge (Tüfe/136), there is a rather terse description of these ammunition. I intend to fill this gap by describing the characteristics of 43M ammunition, its manufacturing technology and ballistic properties.

I think it is important to mention that in (Hungarian) civilian life, and sometimes among soldiers, there is – in my experience – a perceived confusion in Hungarian terminology, in terms of the terms “cartridge” and “ammunition”. In order to avoid misunderstanding, it can be stated that in the Hungarian military language, the word “cartridge” refers to classic shooting ammunition, i.e., those up to 20 mm caliber (its synonym). In the case of a size larger than this, the designation is simply ammunition. That is, the set of cartridges is a subset of the set of ammunition, so we can also use the name shooting ammunition. Further confusion can be caused by the definition that can be read in several places on the Internet, according to which the cartridge is not a firearm device suitable for

¹ TESTOVANIE MUNÍCIE S OCEĽOVÝM JADROM.

² National University of Public Service, Doctoral School of Military Sciences, Ph.D. student. ORCID: 0000-0002-9938-9823. E-mail address: eles.peter36@gmail.com

firing a sharp shot, it is missing one or more components. This does not hold up just because of the above, not in a military sense at all! Act XXIV of 2004 on Firearms and Ammunition (HUN) does not interpret it in this way either, for example the definition of ammunition is “a single cartridge containing projectiles, gunpowder and priming material” [1; 2§ 22. or, for example, the definition of a blank cartridge as “a cartridge without projectile, intended to produce sound, light or smoke effects...” [1; 2§ 47] When I refer to the subject of my study in the following, I will refer to it as ammunition, cartridge and firing pin, in accordance with the technical terminology.

HISTORICAL OVERVIEW

The 7.62×39 mm 43M ammunition, including the steel-core PS ammunition as indicated by the type designation, was introduced in the Soviet Union in 1943. Although it gained worldwide fame as ammunition for Kalashnikov-style assault rifles, it was the SKS carbine³ that fired it first. Not commonly known, but the ammunition was also designed by the creator of this weapon, Sergei Gavrilovich Simonov. The SKS carbine was used in combat during the final stages of World War II and was replaced after the war by the reliable Kalashnikov assault rifle with its improved characteristics. After that, the SKS became the weapon of choice for the decorative sub-units and guards in the Soviet Union and Warsaw Pact countries.

However, the 43M PS ammunition had a great “career”. Mikhail Tymofeyevich Kalashnikov⁴ chose this cartridge for his assault rifle (and later for his light machine gun). The AK (the design was introduced in 1947) was first introduced in the Soviet Army in 1949, and then in most countries of the socialist camp (our country in 1959) it and of course the ammunition, including the 43M PS cartridge, became regular.⁵

COMBAT TECHNICAL DATA AND CHARACTERISTICS OF AMMUNITION

The 7.62 mm in the official Hungarian military designation of the ammunition is the diameter of the smallest dimension of the bore of the firing barrel, or the distance between the two opposing muzzles of the AMMS barrel - the weapon's gauge. The 39 mm is the length of the case. The 43 is the year of introduction (1943), the M is an abbreviation of the word model (Russian: модель). PS stands for “steel-core” (pulya stalnaya - пуля стальная).

The 7.62 mm 43M PS steel-core ammunition (or projectile) is “designed to counter the enemy's live fire in open terrain or behind a camouflage material that can be penetrated by projectiles” [2; p. 38]. The construction, dimensions and data of the ammunition and its projectile are shown in Figure 1, with a description following the figures.

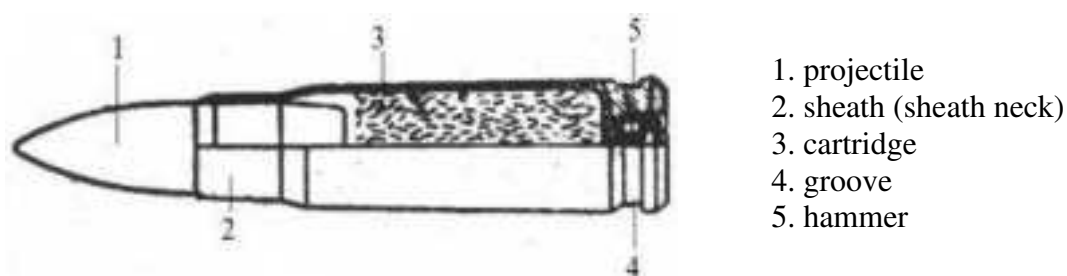
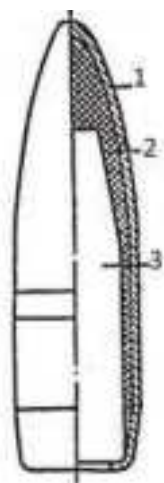


Figure 1 Structure of the 7.62 mm 43M PS steel-core projectile
(Edited by the author from [2; p. 39])

³ Samozaryadnyy Karabin (sistemy) Simonova – SKS (Самозарядный Карабин (системы) Симонова – СКС): Simonov-type self-loading carbine. Designed by Sergei Gavrilovich Simonov (Сергей Гаврилович Симонов) (1894-1986), Soviet weapons designer.

⁴ Mikhail Tymofeyevich Kalashnikov (Михаил Тимофеевич Калашников) (1919-2013), Soviet-Russian weapons designer, Lieutenant General of the Armed Forces of the Russian Federation at the time of his death.

⁵ Non-socialist countries have also used the Kalashnikov system, such as Finland (Valmet M78 light machine gun).



- 1. cape
- 2. lead ring
- 3. steel core

Figure 2 Projectile construction of the 7.62 mm 43M PS steel-core ammunition
(Edited by the author from [2; p. 40])



Figure 3 7,62×39 mm 43M PS steel-core projectile
(Photo by the author)



Figure 4 Section of 7,62×39 mm 43M PS steel-core projectile
(Photo by the author)



Figure 5 Section of a 43M PS projectile showing the jacket, lead ring and steel core
(Image by the author)



Figure 6 7,62×39 mm 43M PS steel-core VUFL cartridge
(Photo by the author)

Name of ammunition	7,62×39 mm 43M PS steel-core projectile
Space size	7,62 mm
Weight of ammunition	16,2 g
Length of projectile	26,5 mm
Weight of projectile	7,9 g
Weight of cartridge	1,6 g
Maximum gas pressure in the barrel (AMM machine gun)	320 MPa (average value, measured with a piezometer)
Projectile velocity when fired from 420 mm barrel	715 m/s
Projectile extraction force	800 N
Penetrating power	50 %
- 7 mm thick armour plate at 900 impact (300 m)	80–90 %
- steel helmet (900 m)	80–90 %
- armour plate (600 m)	0,7–0,8 m
- rammed snow breastplate (500 m)	0,12–0,15 m
- brick shelter (100 m)	

Table 1 Dimensions and data of 7,62×39 mm 43M PS steel-core ammunition.
(Edited by the author from [2; p. 40])

STRUCTURE AND TECHNOLOGY

The bullet jacket is made of steel coated with a copper-zinc alloy (CuZn10 or CuZn20). “The jacket is made of cold-rolled carbon mild steel, clad on both sides with a thin layer of casing.” [3; p. 291] A lead ring or lead liner “is made of lead or lead-antimony alloys and ensures tight fitting of the core in the jacket and correct positioning of the centre of gravity of the projectile, and helps to reduce wear on the barrel bore of the weapon.” [3; p. 291] The core material is C15 mild steel. The steel core was originally used as a partial substitute for the more expensive lead, but it also had another advantage: it had a higher penetrating power. The leading part of the projectile has a rolled groove at the rear end of the stub cone, into which the case mouth is flanged for higher average and lower spread extraction force. In addition, a layer of bituminous varnish is applied between the contact surface of the case and the projectile for hermetic sealing. Hermeticity is also ensured by the lacquering of the case mouth and the breech cup. These three technological steps are carried out only on military versions. When loaded, the 43M PS cartridge strikes the chamber of the weapon at the scabbard, like all other grooved ammunition, unlike its highly unsystematic “big brother”, the 39M. The projectile has no colour marking.

The cartridge case is available in three versions:

- Steel clad with 0.2 mm casing foil (this is the original construction, the cladding was mainly for corrosion protection reasons);
- Phosphated mild steel, coated with an organic varnish after finishing ('70s to '90s) Phosphating was used for cold forming and varnishing for corrosion protection.
- The tombak sleeve is “due” to technological degradation and environmental restrictions, clearly a step backwards.

Figure 3 shows a type b) cartridge.

The casing contains the nitrocellulose-based powder charge [4] and the damper (percussion cap)⁶, as well as the projectile. The case is made by a series of wall reduction processes where the bottom thickness is not changed at all and the bottom diameter is essentially unchanged.

⁶ The terms „damper” and „percussion cap” are used as synonyms in this study.

The case holds all the ammunition components together and, when fired, closes the path of the powder gases to the rear of the chamber towards the breech (the resulting gas pressure “blows up” the case, which seals against the chamber). The Berdan percussion cap chamber is located on the bottom of the case, into which the percussion cup containing the percussion cap mixture is mounted (collectively the percussion cap). The front surface of the percussion cap chamber is fitted with a so-called anvil and two weights. When the firing pin strikes the damper, the anvil provides the counterweight. The stabbing flame produced by the impact ignites the powder charge of the case through the two firing holes. An annular groove is formed above the case bottom. The rim of the rifle's rifling arm engages in this to ensure unloading.

The case contains the powder charge, which propels and accelerates the projectile into the barrel by the pressure of the gases generated and expanded by the combustion. VUFL type powder is a solvent process nitrocellulose powder. In shape, it is a tubular gunpowder with an external diameter of 0,52 mm and an internal diameter of 0,11 mm and is therefore neutral in nature. The grains are graphitised to prevent them from agglomerating and charging with static electricity. Each 43M PS ammunition contains 1,6 grams of powder. [5]

The role of the damper is to ignite the powder. The percussion cap is activated by the weapon's striker mechanism (striker pin), i.e., the percussion cap must be made of a material that explodes and forms a stabbing flame when mechanically impacted (struck). The composition of the damper of the 43M PS ammunition is⁷:

- mercury-fulminate – $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, $\text{C}_2\text{N}_2\text{O}_2\text{Hg}$, mercury (II) fulminate: 25%;
- potassium chlorate – KClO_3 : 37,5%;
- sulphur antimony – Sb_2S_5 , antimony pentasulphide: 37,5%.

Mercury-fulminate has a flash point of 443 K (170 °C), is colourless, crystalline, an excellent initiating explosive (impact sensitivity 1 J), with a detonation velocity of 5400 m/s. Potassium chlorate has a flash point of 643 K (370 °C), white, crystalline, flammable. Antimony pentasulphide, an orange-red crystalline substance, enhances the combustion of potassium chlorate. [6] The latter two ingredients are also used in match making, where they are used to make the match heads.

The damper is contained in the copper cup, which is pressed into a nest in the bottom of the sleeve. The positioning of the cup is centred.

On the case-butt of the cartridges in the Hungarian Defence Forces stock there are two types of markings, known as stamps, one of which is the code of the manufacturing plant and the other the last two digits of the year of manufacture. A significant surplus of these ammunitions was accumulated in the Hungarian Defence Forces. Their neutralization is done by disassembly, for which knowledge of the structure is essential. [7] If appropriate, if their technical condition does not allow for disassembly, they will be destroyed. Destruction shall also be carried out in accordance with the procedure of the Hungarian Defence Forces. [8]

SHORT INTERNAL BALLISTICS

The change in gas pressure and velocity in the gun barrel during the firing process is discussed and studied in internal ballistics. The system of internal ballistics equations (gas pressure and velocity curves) is nowadays solved by numerical methods using computers, e.g., the Runge-Kutta method. Pressure and velocity are measured by piezoelectric methods.

The projectile of the 43M PS ammunition starts with a relatively high initial velocity in the tube and accelerates steeply. The maximum gas pressure (average 320 MPa) is reached very early, at about 40 mm of the barrel length, and the pressure generated is relatively high, with the barrel being subjected to the greatest pressure force. This is one of the basic data for sizing the gun barrel. From here on, the projectile continues to accelerate in the barrel under the effect of the pressure and expansion of the evolved gases, and finally leaves the barrel at the initial velocity (715 m/s).

⁷ This type of damper has not been produced since the 2000s, for health reasons (it is also highly corrosive).

EXTERNAL BALLISTIC CHARACTER

After leaving the gun barrel, the projectile continues along the trajectory. During its flight, it rotates around its axis, which it gets from the twisting (dragging) of the barrel. With the right wire tension, and therefore the right amount of rotation, the direction of the projectile's velocity vector is always tangential to the trajectory. This means that the projectile is stable on the trajectory and does not tumble or “duck”. Ideally, the trajectory is parabolic, i.e., in a vacuum, and when placed in a gravity field, the centre of mass of the projectile is only subject to the force of gravity. In such an ideal case, the equation of the parabola that forms the trajectory (ignoring the derivative):

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{x^2 \cdot g}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}$$

wherever

- x: horizontal component of the trajectory (m);
- y: vertical component of the trajectory (m);
- φ : angle of departure (degrees, radians, lines);
- g: acceleration due to gravity;
- v_0 : initial velocity of projectile.

However, in an air-entrained space, the drag of the air, the Magnus effect⁸ due to the rotation of the projectile, the Coriolis force⁹, the various tilting torques must be taken into account. The drag of the air depends on the density, pressure, humidity and temperature of the air. Drag of medium acts in the opposite direction to the projectile's movement, trying to brake the projectile. The Magnus effect, due to the rotation of the projectile about its longitudinal axis, causes lateral deflection (sideways movement). A Magnus force is also generated for projectiles flying in a strong crosswind, but the effect is vertical in this case.

Tilting torques tend to deflect the projectile away from its initial spin. The Coriolis force has a complex effect, dependent on the direction of fire and geographic location, and independent of the presence of the atmosphere and the rotation of the projectile. It follows from this list that the motion of the projectile on the real (air-filled) space trajectory is described by complex differential equations, although empirical formulae for approximate calculations (e.g., Siacci's equation) exist. By combining theoretical calculations with the results of experimental firing, practical tables of fire are constructed for projectiles, giving the shooter rapid information on the weapon-projectile system required for firing. Examples of such practical tables of fire are:

- base table: gives the angle of aim, trajectory height, angle of impact, horizontal distance of the trajectory apex from the muzzle, projectile flight time, time of flight and impact energy as a function of range;
- table of trajectory heights above the line of sight in relation to the sighting position and the firing distance;
- scatter table.

The projectile of the 43M PS ammunition [9], fired from the AMMS assault rifle has a target range of 300 m, a kill range of 1500 m and a maximum flight distance (maximum range) of 3000 m. The scanned range for a 0,5 m high breast form is 350 m.

An important external ballistic parameter of projectiles is the specific cross-sectional load. The specific cross-sectional load [10] (f) is equal to the ratio of the projectile mass (m) to its cross-sectional area (A):

⁸ Magnus phenomenon (from the physicist Heinrich Magnus): a force acting on a rotating cylindrical body (or equivalent: a rotating cylindrical body in a still medium) in a flowing medium, including a projectile travelling on a trajectory, with a vector perpendicular to the direction of flow and the axis of rotation.

⁹ Coriolis force (from the mathematician-engineer Gaspard-Gustave Coriolis): force acting perpendicular to the direction of motion on a body moving in a rotating inertial frame (such as the Earth).

$$(1) f = \frac{m}{A}$$

Newton's second law of motion suggests, that the larger the specific cross-sectional load of a projectile, the slower its flight speed decreases (the loss of velocity due to air drag is slower), so it reacts less to in-flight disturbances. This is just a good approximation, because it is only fully true if the projectile's form factor is independent of its mass. This is not entirely true because the longer the projectile, the heavier it is, i.e., it has a higher specific cross-sectional load:

- has a larger casing surface area and therefore a greater casing drag;
- for the same angle of precession (due to the longer projectile), the surface area perpendicular to the airflow is greater.

Taking all this into account, the value of c_w also increases with increasing mass, but the effect on air forces is smaller than the deceleration-reducing effect of mass.

Now let m denote the mass of the projectile, ρ the density of the air, A the cross-sectional area of the projectile, the drag coefficient c_w , the velocity of the projectile v , the acceleration a . Then the drag of the air is E :

$$(2) E = \frac{v^2 \rho A c_w}{2}.$$

The force F due to projectile motion, where the acceleration of the projectile is:

$$(3) F = ma$$

Newton's second law of motion gives that $F = -E$, i.e.

$$(4) ma = -\frac{v^2 \rho A c_w}{2}.$$

From this

$$(5) a = -\frac{v^2 \rho A c_w}{2m}$$

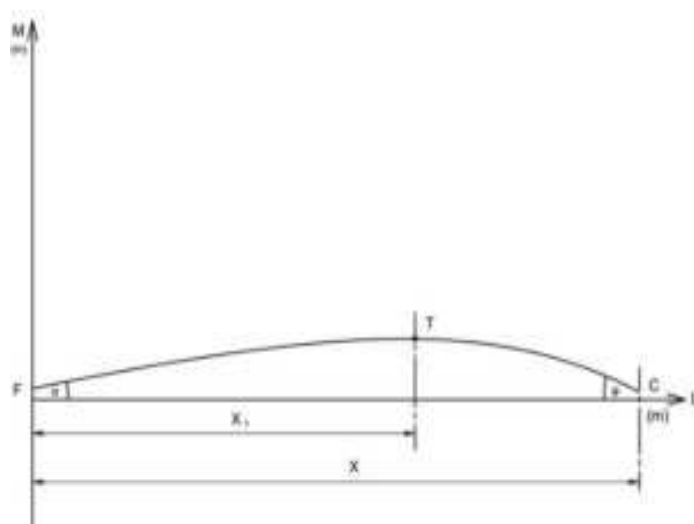
From equations (1) and (5), it can be seen that the specific cross-sectional (m/A) load is inversely proportional to the projectile deceleration (due to the A/m term on the right-hand side of the equation).

The specific cross-sectional load on the projectile of the 43M PS ammunition is approximately 17.3 g/cm² based on (5). By comparison, the 5.56×45 mm SS109 ammunition currently used in NATO (also fired by a regular version of the CZ BREN2 assault rifle), which is equivalent in function to the 43M PS, has a specific cross-sectional load of approximately 14 g/cm², so its deceleration in trajectory is greater and it is more sensitive to disturbances than the 43M PS ammunition.

Concluding the brief external ballistics description, Figure 7 shows the trajectory of a 43M PS projectile fired from an AMMS assault rifle into a target at 300 metres.

At 300 metres from the target, the projectile has an impact energy of 860 J and a terminal velocity of 459 m/s. To engage a breaststroke at 300 metres from a prone firing position with elevation, 3 rounds of ammunition are required, and 1 round of ammunition from a trench with elevation from a standing position. [12]

Unfortunately, there are numerous examples of these munitions or the ammunition powder they produce being used with criminal intent in various attacks. [13] Due to space constraints, I cannot deal with this at the moment and it is not directly relevant to the topic at hand.



M: height (ordinate)
 L: horizontal distance (abscissa)
 F: pipe mouth
 C: target
 T: height of trajectory apex (0,34 m)
 X: distance to target (300 m)
 XT: horizontal distance to the top of the trajectory (162 m)
 α : steering angle (4.4 lines - at 6000)
 φ : angle of incidence (5,0 degrees)

Figure 7 Trajectory of 7,62×39 mm 43M PS steel-core ammunition projectile when fired at a target 300 m away from an AMM machine gun
 (Author's editing based on [11])

SUMMARY

A brief description of the 7.62×39 mm 43M PS steel-core projectile ammunition, which entered service in 1943, shows why it has enjoyed such a “career” worldwide. As a carbine ammunition (also known in the literature as an intermediate ammunition), it is well suited to its purpose. Its mass is such that the shooter can carry his SDOS without difficulty. Its ballistic characteristics show good average properties, its impact energy on target is relatively high within the targeted range. In the case of copper casings, no special technology is required for their production and mass production is relatively inexpensive.

BIBLIOGRAPHY

- [1] 2004. évi XXIV. törvény a lőfegyverekről és lőszerokről
- [2] 7,62 mm-es korszerűsített Kalasnyikov (AKM-63) géppisztoly leírása és kezelési utasítása. A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1964.
- [3] Lőszer anyagismeret (Tüfe/136). A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1972.
- [4] DARUKA, Norbert: Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei Műszaki Katonai Közlöny 26/1. pp: 26-44., p.19. 2016.
- [5] DARUKA, Norbert: Critical Infrastructure Protection in the Production and Use of Explosives Industry Products. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, pp 297–313.; Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_26; Online ISBN 978-94-024-2174-3.
- [6] A vegyületek adatainak forrása: Dr. BOHUS, Géza – HORVÁTH László – PAPP József: Ipari robbantástechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983. pp. 73–74.
- [7] ÉLES, Péter: Lőszer szétzereléssel történő hatástalanítása a Magyar Honvédségben – múlt, jelen, jövő. In: Dr. Daruka Norbert (szerk.): Fűrés-robbantástechnikai nemzetközi szimpózium; különkiadás 2022 (szimpózium-kiadvány). ISBN 978-615-01-6009-2
- [8] DARUKA, Norbert: A robbanóeszközök megsemmisítésének lehetőségei a tüzserész feladatok tekintetében. VIth International Symposium on Defence Technology 6-7 May 2010 Budapest, CD-ROM ISSN 1416-1443.
- [9] 7,62 mm-es korszerűsített Kalasnyikov (AKM-63) géppisztoly leírása és kezelési utasítása. A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1964., 70. oldal (1. melléklet)
- [10] KOVÁTS, Zoltán – NAGY, István: Kézi lőfegyverek. Zrínyi Katonai Kiadó, 1986., pp. 53-54.
- [11] 7,62 mm-es korszerűsített Kalasnyikov (AKM-63) géppisztoly leírása és kezelési utasítása. A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1964., p. 72. (3. melléklet)

- [12] 7,62 mm-es korszerűsített Kalasnyikov (AKM-63) géppisztoly leírása és kezelési utasítása. A Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1964., p. 75. (4. melléklet)
- [13] DARUKA, Norbert: Advanced Tools for the Explosive Materials Identification. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, pp 455–469.; Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_39; Online ISBN 978-94-024-2174-3.

The strange case of the binary explosives

Lorand Kugyela*

Lorand Kugyela, PhD student

Óbuda University, Doctoral School for Safety and Security Sciences

Kugyela.lorand@certrust.eu

Abstract

While reading the title of the article some may remember the Die Hard movie when a huge cargo vessel was perished due to the super power of the binary explosive. This scene was excessive and based on misconception like the plasma temperature of the shaped charge jet. But why it is in the background? Why we do not hear about these explosives?

This article deals with such questions, and shows the capabilities of such explosive which was partly developed by the author.

Keywords: binary, explosive, composite explosive, shaped charge, multi component emulsion

1 Foreword

The binary explosives or also called multi component explosives is still an unknown explosive species. Firstly, it was invented and used by Gerald L. Hurst, and its use territory was strictly in the USA, and it is remained there. The areas where it is used: roadblock removal, or for rocky outcrops, industrial stem boiler pipe cleaning, beaver dam blasting, log blasting and other special operations which are almost unimaginable in this continent. The reason for its use was the vast distances, small amount to be used and safe transportation without ADR constraints.

This article deals with a binary mixture which was further developed by the author, and it was also tested for various purposes.

2 Background

Any development amongst explosives is always up to improve some of its characteristics. [1] Like bigger brisance, suitability for extreme conditions, tailored for melt casting or pressing. For these actions various mixtures came to alive. For at least 100 years the TNT played the main role in these mixtures. On the one hand because its insensitivity, and secondly the indifferent but good applicability for mass production. It can be used for pressed explosives or for various melt cast explosives (Comp-B; Cyclotol).

However, as all explosives has its drawbacks, like health concerns, environmental impact. But the mostly mentioned is the sensitivity, new developments such as Fox-7, NTO [2] have better safety factor in case of friendly fire or other havaria in the battlefield.

For civilian field the developments focus is the cheap mass production with safe use. Only nowadays appeared the environmental aspects, as the nitrates appeared in communal waters and their decontamination become inevitable.

The binary explosives represent a minority amongst explosives which is used task orientated where at least TNT equivalent explosive strength factor is needed, and the used quantity is not in a quarry blasting league.

3 Development and testing background

As this binary explosive is unknown in the general practice of the using of explosives therefor no literature was available.

Even the original mixture which was developed by Gerald L Hurst is re-drawn and a completely new formation and texture along with new performance indicators aroused.

The author built up the current version of the composition based on 10 years of experiments. The complete set of testing is a basis of my thesis, and it its size is beyond this article.

4 Tests on the binary explosives

The following table summarizes the test and the results which were carried out.

Standard	Scope	Dimension	Requirements	Measure value
EN 13631-2	Thermal stability*	[°C] [bar]	Max deviation with 3° C , max. 0,6bar overpressure	+0,2°C; +0,42bar
EN 13631-4	Impact sensitivity*	[J]	must be over 2J	15-20J
EN 13631-3	Friction sensitivity	[N]	must be over 80N	360N+
EN 13631-7	Extreme temperatures	[°C]	Must be initiable according toEN 13631-10	Pass

EN 13631-10	Means of initiation*	-	Must be on Manufacturer specification	Pass (with no8 det)
EN 13631-13	Density*	[g/cm ³]	Must be on Manufacturer specification	1,29 g/cm ³
EN 13631-14	Detonation velocity*	[m/s]	Must be initiabile according to EN 13631-10	5500m/s (1,29 g/cm ³ ; 18mm Ø)
MSZ 14-05065-89	Brisance according to Hess-	-	compared to another material	19,0mm (ANE:11mm)

4.1. Additional test

4.1.1. Shaped charges

Linear and point-focal charges were made with copper liner in order to verify the ability to detonate in small diameter and also to build up a stable detonation wavefront for shaped charges. The pictures below shows a linear shaped charge.



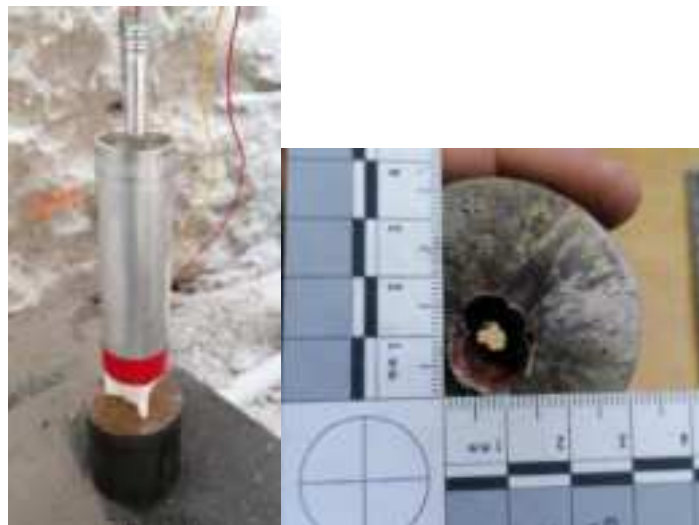
1.picture: Linear shaped charge

It can be seen that the general rule that the first 10% of the charge not function properly simply not true in this case. Although we are talking about non-ideal explosive the detonation characteristics shows properties which only can be obtained by homogeneous explosive systems. The penetration was 18mm in solid steel target with 30mm standoff distance.

In the 2. picture a 3D printed housing can be seen. They are identical and the charge weight was 312 and 316g- None-of it contained metallic liner. From the penetration it is visible that without metallic liner the explosive left considerable indentation on the 35mm thick steel plate.



2.picture: Explosive charges and their penetration in 35mm steel without liner.



3.picture: 50g point-focal charge with copper liner

In the 3. picture a small 50g charge is visible with its penetration in mild steel. The target is 30mm thick.

4.1.2. Metal cladding

Due to the small critical diameter of the explosive the metal cladding aspect also came into focus. In the trials 30mm wide, 3mm thick KO33 steel sheets were welded together.

Also, copper (30mm wide 5mm thick) with KO33 was successfully cladded together.



Due to the small critical diameter and the consistency, this explosive offers unique performance for explosive cladding.

5 Illegal use of multi-component explosives

Nowadays the safety on the base of the infrastructure protection in Europe is a cardinal task of the government because in this way can guarantee a safe and healthy life of the citizens. This task needs to take into account by inside attack danger and outside threat. Tests that allow us to deduce the behaviour of an explosive are essential. Multi-component materials pose an even greater challenge for researchers in this case. [3] However, it is not only multicomponent explosives, but almost all products of the explosives industry that are used for criminal purposes. It is therefore of paramount importance to handle and trace these materials in accordance with the law. [4]

I think it is important to mention that when making mixed or multi-component explosives, there are only a few simple rules to follow. Herein lies the simplicity of their design. The possibilities for the production of mixed or multi-component explosives offer endless possibilities for variation and only a few rules need to be considered when preparing mixtures. Without wishing to be exhaustive, such rules include:

- the mixture is an explosive with another substance, an explosive or an inert substance chemical compatibility with (substances);
- the physical and chemical stability of the explosive produced must not be reduced;
- the explosive properties of the mixed explosive must be improved as far as possible, but at least they must not deteriorate significantly;

- the explosive temperature of any explosive component of a mixed explosive intended for further processing by casting must not be lower than the melting point of the other component;
- it is not advisable to produce a mixed explosive in which one component of the mixture catalytically accelerates the chemical decomposition of the other component. [5]

Nowadays, the terrorist threat and the fight against it can be a concern all of us, anytime. The obligations arising from international treaties constantly carry the possibility of an aggressive attack. The most significant form of terrorist activity is bombing attempts. These carried out by home-made explosive devices which contain such materials that can be obtained from an ordinary shop and their form and structure is only limited personal ingenuity. [6]

Most of the multi-component explosives used in attacks were transported to the place of use by some form of transport. The question may arise: why? One of the biggest advantages of an IED is that it is mobile and does not stand out from the environment. Depending on the type of means of transport, they can contain a huge number of explosive devices, both in motor vehicles and in two-wheeled vehicles. They are also very difficult to identify in heavy traffic. The mobility of transport means makes it easy for them to get in close proximity to the intended victim or target. According to their method of initiation, a distinction is made between timed and guided or suicide bomber vehicle-borne explosive devices. [7]

If we look at the devices used, it is the Improvised Claymore Mine¹ and Explosively Formed Projectiles² devices that have used the multicomponent explosives. [8]

The illicit use of multi-component explosives is a very popular research topic these days, but I personally prefer its peaceful and beneficial use.

¹ The use of cluster munitions is becoming increasingly popular among terrorists because they can be used with very high effectiveness. They are often used in combination with grenade launchers, thus increasing the armour-piercing capability. The deployment of such devices requires more expertise and is therefore deployed in small groups. The deployment of directional cluster munitions is not very challenging from an assassin's point of view. However, it is important that these prefabricated devices have a given kill and fragmentation distance. This effect is enhanced by placing a large quantity of explosive material, usually plastic explosives, in front of the fragmentation device and then stacking it with fragmentation materials (scrap metal, glass fragments, etc.). They are placed in fabric bags or plastic containers to provide camouflage.

² The homemade structure is designed to counter armour techniques. It is triggered by a victim or an assassin. A cylindrical tube is filled with explosive material, in front of which a copper disc is placed, convex towards the explosive material. Once the explosion has occurred, the disc produces a projectile, a kind of percussion cap, formed by a high-speed explosion. The high velocity percussion bursts and simultaneously penetrates the armour, causing severe injuries to the operating personnel due to shrapnel, heat and pressure. This hammer-plate device can be attached to almost any launch.

6 Other possible way of application

The above-mentioned tests may show that this type of explosive is proper for a lot of blasting task. As we can see, it is fit for shaped charges which are also used by the military. This is the other way of use, because it may be some case, when a liquid, binary explosive is better than something else.

As Istvan Ember mentioned in his articles, the binary explosives might be more suitable than a plastic type, mostly a liquid type. [9] [10] [11] Such an explosive can fill a shaped charge body or a cutting charge body totally, which is a major problem, when we examine the surface of liner. It is important, that the material we fill in, covers the 100% of the liner surface.

The possible military use in that case not just the classical demolition process, but the explosive ordnance disposal work also. The experts who made the render safe procedures have an enormous and lethal tasks. They face during their daily duty multiple type of unexploded ordnance and this work demands high quality equipment. [12] [13] [14]

In that case a shaped charge, made with low density materials, can improve the work of bomb disposal operators. Experts may use 3D printers to make their own charges for operations, [15] [16] [17] but this construction type and the way of use demand a special type of explosive. It is necessary that the materials used will not react or degrade each other chemically. The binary explosives might be good solutions for these requirements, but it is hardly recommended to check this in every single case.

6 Summary, conclusions

As it is seen the above-mentioned test and results and connections in military field are just excerpts, and the whole evaluation is still ongoing. But the use of this compositions still have their place in the field of civil and military blasting

References

- [1] Kugyela L. Past, present and the future of the binary explosives
<https://doi.org/10.30583/2020.4.058> Katonai Logisztika 2020, year 4. Reference 2.
- [2] Thomas M. Klapötke, Chemistry of high-energy materials 5th ed., De Gruyter, 2019.
<https://doi.org/10.1515/9783110624571>,
- [3] DR. DARUKA Norbert – DR. KOVÁCS Tünde Anna – NYIKES Zoltán: Investigation of the Blast Effect in the Building Security. MECHEDU 2019 – International Conference and Workshop 2019. pp. 55-58. ISBN 978-86-91881-55-9.

- [4] Norbert DARUKA: Critical Infrastructure Protection in the Production and Use of Explosives Industry Products. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, pp 297–313. Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_26. Online ISBN 978-94-024-2174-3.
- [5] Norbert DARUKA: Advanced Tools for the Explosive Materials Identification. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, pp 455–469. Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_39. Online ISBN 978-94-024-2174-3.
- [6] Daruka Norbert – Dr. Kovács Zoltán: IEDD - Improvised Explosive Device Disposal. International Conference on Military Technologies – ICMT 2013, Brno May 22-24, 2013., pp. 383-390. ISBN 978-80-7231-917-6.
- [7] Daruka Norbert: Bombers, wires and explosives part I. - Death within a reach -; Műszaki Katonai Közlöny XXIII./2., 2013. november, pp. 73–80. ISSN 2063-4986.
- [8] Daruka Norbert: Bombers, wires and explosives part II. - Death arrives with us -; Műszaki Katonai Közlöny XXIII./2., 2013. november, pp. 64–72. ISSN 2063-4986.
- [9] EMBER István (2022): Kumulatív töltetek alkalmazási lehetősége tűzszerész szakfeladatok során. In SZELEI Ildikó (szerk.): *A hadtudomány és a 21. század*. Budapest: Colorcom Media, 8-16.
- [10] EMBER István (2022): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(4), 13–23. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- [11] EMBER István (2022): Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata. *Haditechnika*, 56(6), 15–20. DOI: 10.23713/HT.56.6.03
- [12] EMBER István (2021): The role and the risks of explosive ordnance decontamination in Hungary. *Science & Military (Veda a Vojenstvo)*, 16(1), 32–42. Online: http://ak.aos.sk/images/repozitar/sam/sam_1_2021/sam_1_2021_5.pdf
- [13] EMBER István (2020): A robbanótestek, mint a talajban fekvő potenciális veszélyforrások. In: Varga et al.: *Geotechnika 2020 Konferencia*. Budapest: Konferencia Iroda, 25–32. Online: <http://geotechnikakonferencia.hu/achivum/>
- [14] EMBER István (2020): A lőszermentesítés szerepe az építőiparban. *Építőanyag* 72(2), 59–63. Online: <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.9>
- [15] EMBER István (2022): 3D nyomtató alkalmazási lehetősége egyes speciális robbantási feladatoknál. In DARUKA Norbert (szerk.): *Fúrás-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás 2022*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 75–83.

- [16] ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(4), 101–111. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>
- [17] ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>

NYÍLÁSZÁRÓK ROBBANTÁSSAL TÖRTÉNŐ NYITÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A RENDVÉDELEMBEN¹

POSSIBILITIES OF OPENING DOORS WITH EXPLOSIVES IN LAW ENFORCEMENT

László SZALKAI²

Kivonat:

A környezetünkben zajló folyamatos háborús és illegális migrációs tevékenységek jelentős kihívások elé állítják az európai országok nemzetbiztonsági és rendvédelmi szervezeteit egyaránt. A határokon átnyúló bűnszervezetek egyre nagyobb számban és radikálisabb módszerekkel kívánják bűnös szándékukat érvényesíteni. Az erre rendelt rendvédelmi szervezeteket egyre több és kockázatosabb feladatok elé állítja. A különleges rendvédelmi egységekre nehezedő nagyobb számú és kockázatosabb feladatok új eszközök alkalmazását indokolják, mert hagyományos nyílászárók nyitásához alkalmazott kézi eszközeik már-már elégtelennek tűnnek. Meghatározott esetekben a nyílászárók megnyitására, - a műveleti egységek biztonsága érdekében- robbanóanyagot kell alkalmazni a kívánt cél elérése érdekében. Ennek lehetséges eseteit megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy melyek azok a termékek, amelyek a legmegfelelőbbek a feladatra.

Kulcsszavak: *nyílászáró robbantás, vágótöltetek, rendvédelmi robbantások*

Abstract:

The ongoing war and illegal migration activities in our environment pose significant challenges to both national security and law enforcement organisations in European countries. Cross-border criminal organisations are increasingly seeking to impose their criminal intentions in greater numbers and using more radical methods. Law enforcement organisations are faced with an increasing number of increasingly risky tasks. The increased number and risk of tasks for special intervention units justifies the use of new equipment, as the traditional manual means of opening doors and windows are no longer sufficient. In specific cases, the opening of doors requires the use of explosives to achieve the desired objective, in the interests of the safety of the operational units. By examining the possible cases, we can identify the products best suited to the task.

Keywords: *arrow explosion, cutting charges, law enforcement explosions*

INTRODUCTION

There have also been significant innovations in the technical and material composition of the windows and doors. Instead of the wooden-framed, single or double-glazed windows of the past, modern plastic, metal-framed, aluminium-framed, tempered-glass windows and doors are now being installed, which is a major challenge for those who want to open them. Naturally, these products are designed to make it as difficult as possible for intruders to overcome them, so that people's lives and property are safer. These developments are also used, albeit not always consciously, by criminal circles and individuals. Today, aluminium alloy roller shutters are being installed on a fairly large number of properties, providing a protective function in addition to its basic function of durability. Unfortunately, these innovations also pose new challenges for law enforcement agencies, which have to open the shutters forcibly, if necessary, in order to get the forces of law enforcement into the area as quickly as possible.

All over the world, special intervention units use roughly similar technical equipment to open hatches. Forcible openings are carried out using light breaking tools, hydraulic or pneumatic hand-held equipment, explosive cutting tools and some units even use explosives.

Forced openings with explosives have several advantages:

¹ MOŽNOSTI OTVORENIA DVERÍ POMOCOU VÝBUCHU V OBLASTI PRESADZOVANIA PRÁVA.

² National University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, Ph.D. student. ORCID: 0000-0002-4843-4591. E-mail address: szalkai.laszlo81@gmail.com

- ☛ the opening of the hatch is instantaneous, so that in a fraction of a second the desired area is freely passable;
- ☛ the harmful effects of the explosion on the human body [1] (thunder, smoke, shockwave, etc.) cause a momentary shock to the “adversary”, which contributes to the safety of the operational unit during the critical time following the opening;
- ☛ at the moment of opening, the units do not need to be in the immediate vicinity of the hatch, but can be in a safer position behind cover.

According to their field of use, we can talk about explosives for industrial [2] and military purposes. [3] The use of explosives for law enforcement and military purposes may differ depending on the legal environment of the country concerned. Without wishing to be exhaustive, some explosive materials and products used in specific situations by specialised law enforcement and military units are mentioned. [4] Very important criteria must be met by these products, since they are most often used in urbanised environments. Most of them are made of materials that decompose almost completely during the explosion, have a negligible fragmentation effect and release only the permitted amount of toxic substances into the environment.

For the execution of blasting tasks, charges³ may be used which have been prepared by the manufacturer or, at the discretion of the person carrying out the task, acquired on site. Charges may be grouped according to their shape and their position in relation to the cross-sections to be blasted.

The materials used for blasting openings may vary from one law enforcement or military unit to another. Explosive fuses and plastic explosives are the most common.

PURPOSE OF AN EXPLODING FUSE

The detonating fuse can be used to detonate several separate charges at the same time, or to start charges without a fuse.

Applications of the detonating cord:

The detonating fuse can be used for detonation tasks where the simultaneous detonation of several physically separate charges is required, and where the transfer of detonation between charges is necessary. In addition, it can be used for small-scale demolition tasks. [5] Its main component is nitro-penta⁴, which is loaded into a channel made of a paper strip woven around a textile yarn. Explosive detonating fuses used in law enforcement and defence applications are PVC coated, which ensures their resistance to moisture and makes them suitable for underwater demolition. Its typical unit of measurement is the explosive content per metre. Thus, an explosive detonating cord marked 12 grams per metre contains the indicated weight of explosive per metre.

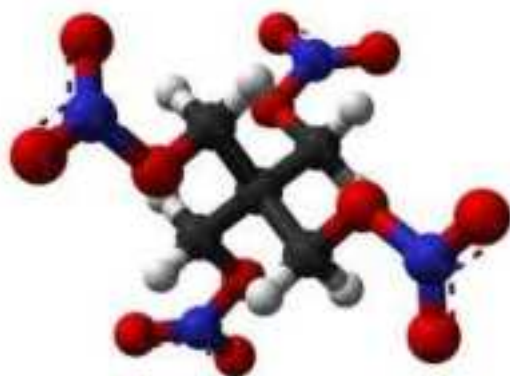
Technical specifications:

- ☛ Nominal length of one reel: 100 m
- ☛ Nominal diameter: 5 mm
- ☛ Specific explosive weight: 12 g/m
- ☛ Explosive type: nitropenta (PETN)
- ☛ Detonation velocity: 7000 m/s
- ☛ Sheath material: PVC
- ☛ Casing colour: may vary according to manufacturer and customer: red, green, orange, black, lemon, etc.

³ A charge is defined as: a quantity of explosive material of a mass determined by calculations for the execution of demolition tasks, prepared in accordance with the circumstances of the task.

⁴ PETN - It is an explosive nitric acid ester, widely used in industry and warfare. In its pure state it is white, crystalline, relatively easy to store and one of the most explosive explosives in use. It can be produced in two ways from pentaerythritol. Either it is esterified with sulphuric acid and, in a second step, trans esterified with nitric acid, or it is formed directly by a mixture of concentrated nitric acid and concentrated sulphuric acid (nitrating mixture). A stable when completely deacidified, but unstable if traces of acid remain becomes unstable. In this case, its decomposition can reach the explosive stage.

- ☼ Allowable hydrostatic pressure: 0,3 MPa
- ☼ Tensile strength: 600 N



1. Figure The structure of the PETN molecule and the exploding fuse [6]

INSTALLING AND STARTING THE DETONATING FUSE

The desired size and quantity of detonating cord must be fitted with a fuse according to the blasting plan and task. During the netting process, detonating cords shall not come into contact with each other or with other charges (except for joints and splices) and shall not cross each other.

Mounted fuses, mounted charges, electric fuses and NONEL system fuses may be used to initiate the detonating cord, as determined by the nature of the detonation task and the detonation design. The explosive material of the detonating fuse is brilliant. For this reason, its handling can be carried out in accordance with the regulations for brilliant explosives. It must be protected from strong mechanical impact, contact with grease, fire and moisture.

The detonating cord does not require any special maintenance, but the integrity of the coils and the detonating cord should be checked during inspection. [5]

THE PLASTIC EXPLOSIVE

Semtex® 1A plastic explosive is a universally applicable military explosive that can be easily formed by hand between - 20 and + 60 °C. It has a distinctive brick red colour.



2. Figure Semtex 1A⁵ and Semtex H⁶ plastic explosives [7][8]

Main data on plastic explosives:

- ☼ Oxygen balance: -66% O₂
- ☼ Trauzl test: 280 cm³
- ☼ Detonation velocity: 7000 m/s

⁵ Source: https://www.google.com/search?q=explosia.cz/semtex+1+A&sxsrf=AJOqlzWYbkTkCbFrBRgkDNDm7m6DulE_xg:1679261129965&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwit0ouZ9-j9AhVN_CoKHc_CAvsQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1280&bih=520&dpr=1.5; Download: 10. March 2023.

⁶ DARUKA (2010. p.7.)

- ☛ Initiation sensitivity: power 8 fuse
- ☛ Geometric data: Array dimensions may vary depending on the quantity packed.

Purpose and application of plastic explosives

The characteristics of plastic explosives make them widely suitable for law enforcement and military demolition tasks.

It can be shaped and formed by hand within the temperature range of usability (-20 °C to + 60 °C). It is a medium-yield, brilliant explosive. Non-reactive with metals, waterproof. Used for special building demolition applications Blocks can be cut at will with non-sparking tools. If necessary, several blocks can be combined by kneading. Launching is done with a fuse of at least strength 8.

Deployment of plastic explosives

The prepared plastic explosive is placed on the target object in the shape and quantity required by the blasting plan and, if necessary, secured by other means. The plastic explosive shall be cut with a non-sparking cutting tool on a wooden support.

Launching of the plastic explosive

Plastic explosives may be initiated by fire, electric fuse or non-electric initiation system. The location of the initiation must be selected with due regard to the effects of shrapnel from the initiation of the charge.

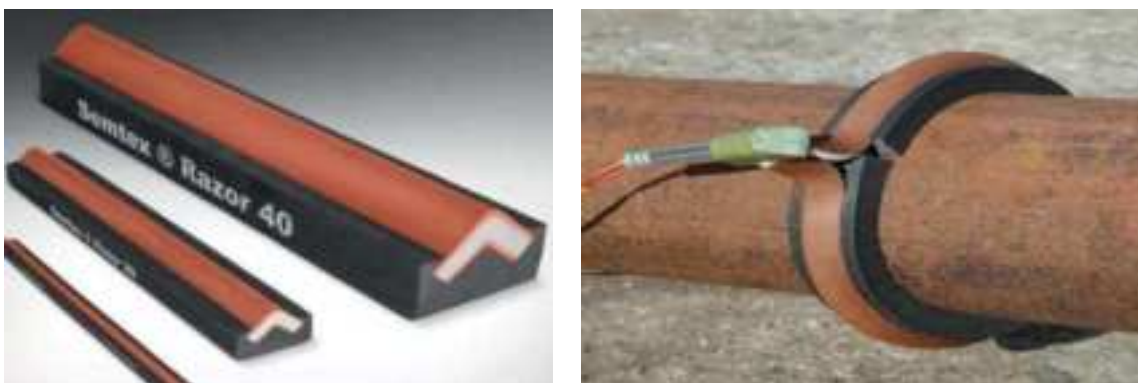
TOOLS FOR OPENING SHUTTERS: THE CUTTING CHARGE

Purpose and application of the cutting charge

The cutting charge is normally used for cutting thicker steel or concrete (reinforced concrete) structures by blasting. The cutting charge does not contain ferromagnetic material and can therefore be installed in the immediate vicinity of explosive devices with electronic detonators. The cutting charge has a different penetrability depending on the size of the homogeneous steel plate. [9][10] It can also be used for demolition tasks. The cutting charge is also suitable for underwater demolition work.

SEMTEX® RAZOR linear shaped charge

The detonation of the main charge causes a cumulative cutting jet to be formed from the insert cone, which will cut the target to a specific depth, depending on the type of Semtex Razor cutting charge chosen. The spacer underneath is responsible for a more perfect formation of the linear cumulative beam.



3. Figure SEMTEX® RAZOR linear shaped charge [11]

Its other function is to provide the required amount of support from the target surface and to allow for target surface clamping. The booster is responsible for the correct initiation of the main charge and can be mounted in several ways to achieve a correct shape.

Parameter	RAZOR 6	RAZOR 10	RAZOR 15	RAZOR 20	RAZOR 25	RAZOR 30	RAZOR 40
Weight of explosive (g/m)	50	140	310	550	860	1250	2200
Total weight(g/m)	140	390	860	1500	2400	3500	6000
Performance on steel plate (mm)	min. 6	min. 10	min. 15	min. 20	min. 25	min. 30	min. 40
Width (mm)	18	28	42	56	68	80	100
Height (mm)	12	19,5	28,5	38,5	48,5	58,5	77
Tube radius (mm)	20	35	50	60	75	90	120
Plate radius (mm)	90	150	220	300	375	450	600

4. Figure SEMTEX® RAZOR data table [11]

Parts of the charge:

- polyethylene film packaging,
- self-adhesive tape,
- spacer,
- cumulative insert,
- explosive charge,
- protective cover,
- trigger booster.



5. Figure SEMTEX booster [12]

Installing the cutting charge

After removing the adhesive film on the bottom of the cutting charge, it can be placed on the cleaned target surface. Its positioning is determined according to the pre-defined blasting plan, taking into account the characteristics of the particular high security rated hatch. Where several charges are used in series, the ends of the charges shall be secured together. The cutting charges may be cut to the appropriate length by knives placed in the packing cases. Cutting shall be carried out, if possible, by one cut on a non-sparking backing plate. After shaping to the desired shape, the prepared cutting charges are placed with the adhesive side on the surface to be cut. The booster is then placed on the specified part of the cutting charge and the primer is inserted. On wet, heavily contaminated surfaces, the use of other fixing methods and materials may be justified, the need for which should always be assessed according to the specific situation. [13]

Starting the cutting charge

The cutter charge can be started by fire, electric fuse or non-electric initiation system. The explosive material of the cutting charge is Semtex, therefore the handling is governed by the specifications for Semtex explosives.

THE TAPE FILLING

Purpose and field of application of tape filling

The purpose of a strip blasting charge is to carry out thin metal sheets, shaped blasting operations. This includes the cutting of locking mechanisms and hinges for doors. The strip wound charge can be applied directly to the blasting surface. It is secured by a self-adhesive attached to the bottom.

As the charge has a certain penetration capacity, it is also suitable for various demolition and punching tasks. In military practice, it is also used to defuse or detonate explosive charges, ammunition, mines. [5]

The main parts of a tape filling

Parts of the charge:

- polyethylene cover;
- self-adhesive tape;
- explosive charge.

M186 American tape charge

The main combat-technical data of the ribbon charge:

Length: 15.24 m (one roll)

Width: 76.2 mm

Thickness: 6.53 mm

Charge weight 25 pounds (11.340 kg)

Explosive used Flex-X, plastic
(nitropenta, TNT equivalent 1.14).

Detonation velocity 7400 m/s.

Launching: primer with a power of 8.

Application temperature range: -40°C to +75°C.

Attachment of the charge to the target: self-adhesive tape.

Can be used under water up to 7000 m.

For thicker targets, several rows of tapes can be stacked. [12]



6. Figure M186 American tape charge

Installing and starting the tape loader

After removing the self-adhesive film from the prepared tape load, it is placed on the prepared area. The tape loads shall be overlapped by 2 cm to ensure that they overlap. Cutting may be done with a knife or other non-sparking cutting tool. The ribbon filler may be started by both fire ignition and electric ignition or NONEL system.

The explosive of the ribbon charge is Semtex. Therefore, the specifications for Semtex type explosives are applicable for handling. [5]

SPECIAL LINEAR CHARGES

Alford Strip System

Alford Strip is a modern and efficient linear explosive system that uses a small amount of explosives. Depending on size, it is used for blast opening of solid wood, plastic and multi-point locked metal security doors that open inwards, amongst many other applications.



6. Figure Alford Strip moulds and their installation [15]

Its effectiveness is due to a special plastic nozzle filled with a water-based gel which surrounds the explosive material placed on the target, thus increasing the detonation's pressure pulse. The Hydro Tape used, as well as the composition of the device, contributes greatly to reducing the harmful effects of the detonation. In use, the safety distance can be significantly reduced, making it suitable for use by operational units.

Alford Strip™ 25 mm, 42 mm

Alford Strip 1-metre-long shapes can be cut to size with a hacksaw. A locking hole is used to secure the filler material of the mandrel, which should be secured with adhesive tape for added security. An explosive cord is inserted into a recess in the base of the tool to provide a destructive effect. If several nails are connected, a space of 10 cm is left between the ends of the devices to assist in positioning them on the target (e.g., a door). The manufacturer recommends the use of Breacher's Tape™ or Hydro Tape™ to secure the device to the target surface. An additional advantage is that it can be used in a variety of shapes due to the flexibility of the section of detonating cord between the two parts. Explosive material dimensions used: 12 gr/m or 20 gr/m of explosive detonating cord.

The choice and application of the product (25 mm or 42 mm) is determined by the type of target, the material and the dimensions. The manufacturer recommends the 25mm Stripet for softwood, hardwood doors or PVC doors and windows. The 42mm moulding system can be used for multi-ply security doors and armoured windows.

Alford Strip™ is extremely easy to use and quick to install, justifying its use in military and law enforcement applications.

The ongoing illegal migration activities in our country and the war in our vicinity pose significant challenges to both our national security and law enforcement organisations. Cross-border criminal organisations are on the rise and pose a serious threat to public safety. [16] Their ever-increasing numbers and radical methods to enforce their criminal intentions, not deterred by armed confrontations across borders, are placing more and riskier tasks on our law enforcement agencies.

I am convinced that the use of explosives to open doors should be part of the toolbox of all special police forces, as future prospects indicate. Conflict zones in our environment are potential challenges to the security of the nation. The arsenal of weapons stockpiled in war zones is likely to become redundant in the near or distant future, once the war is over. The question is, in which direction will the stockpiles leave the area? Who intends to acquire them and for what purpose? A new chapter is certainly opening in the life of the national security services. It is necessary to prepare for these future events now, to prepare and train the services.

I consider blast door openings to be increasingly necessary, and the increasing use of high-powered weapons by potential “adversaries” justifies this method of entry into property. The safety of the operational units is guaranteed by the rapid opening of the hatches at a moment's notice. [17]

The possibility of opening doors by blasting is a solution that entails considerable responsibility and risk for the bomber, but is a distinctly preferable option from a security point of view for the rest of the operation. For the target or targets, the shock caused by the explosion is such that they are incapacitated for seconds, giving a major situational advantage to those seeking to apprehend them. [18] This is the case even if the opponent is prepared for the moment of ambush.

In my personal experience, this kind of intrusion limits even experienced, long-time practitioners in the profession in their ability to act in the moment.

I believe that recent technological developments have a significant role to play in both law enforcement and the military. Technological innovations are necessary because they make it possible to protect the country and its citizens more effectively.

Let's not forget that it is faster and safer to blow things up!

BIBLIOGRAPHY

- [1] Norbert DARUKA: Critical Infrastructure Protection in the Production and Use of Explosives Industry Products. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series

- C: Environmental Security. Springer, pp 297–313.; Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_26; Online ISBN 978-94-024-2174-3.
- [2] DARUKA Norbert: Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei; Műszaki Katonai Közlöny XXVI. évfolyam, 2016. 1. szám pp.: 26-44. ISSN 2063-4986. Internet: http://www.hhk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/PDF_2016_1sz/MKK2016_1sz_ossz.pdf; Letöltés: 2022. október 17.
- [3] DARUKA Norbert – Kugyela Lóránd: Ipari robbanóanyagok megjelenésének lehetőségei az improvizált robbanószerkezetek kialakításának tekintetében; Fúrás- robbantástechnika 2018. XIV. Nemzetközi Konferencia Velence, 2018. szeptember 19-21.; pp. 155-174. HU ISSN 1788-5671.
- [4] EMBER István: Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel; Műszaki Katonai Közlöny 32.évf. 3.sz., pp. 13-23., 11 p. (2022). DOI: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- [5] Mű 224/18 Nyílászáró robbantási szakutastás, Magyar Honvédség, 2012 p. 256.
- [6] Dr. HERNÁD Mária: A robbanás és a robbanóanyagok emberi szervezetre gyakorolt hatásai és megelőzésének lehetőségei; Doktori PhD értekezés, NKE KMDI 2013 Budapest. DOI: <https://doi.org/10.17625/NKE.2014.035>
- [7] Internet: https://www.google.com/search?q=explosia.cz/semtex+1+A&sxsrf=AJOqlzWYbkTkCbFrBRgkDNDm7m6DulE_xg:1679261129965&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwit0ouZ9-j9AhVN_CoKHc_CAvsQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1280&bih=520&dpr=1.5; Download: 10. March 2023.
- [8] DARUKA Norbert (2010): A robbanóeszközök megsemmisítésének lehetőségei a tüzserész feladatok tekintetében, VIth International Symposium on Defence Technology 6-7 May 2010 Budapest, CD-ROM ISSN 1416-1443.
- [9] EMBER István: Modern kumulatív töltet méretezésének lehetőségei. Műszaki Katonai Közlöny 1219-4166 2063-4986 32 (1) pp. 5-15 2022.
- [10] LUKÁCS László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk, Műszaki Katonai Közlöny 2010/1-4. összevont szám, pp. 175-196.
- [11] Internet: https://www.google.com/search?q=semtex+razor&rlz=1C1GCEA_enHU984HU984&sxsrf=AJOqlzVOEVr6F4zA6VTKZ96Lor2SNzZTdw:1679258031231&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj59bT6j9AhUE2KQKHYzrDhIQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1280&bih=520&dpr=1.5; Download: 10. March 2023.
- [12] Internet: https://www.finexplo.fi/?page_id=783; Download: 10. March 2023.
- [13] LUKÁCS László: Lineáris vágótöltetek a katonai és az ipari gyakorlatban, előadás a “New Challenges in the Field of Military Sciences 2010” 7th International Scientific Conference, Military Engineering and Constructions szekciójában, Budapest, 2010. September 18-19.
- [14] Internet: <https://operatormanuals.tpub.com/TM-9-1375-213-12/TM-9-1375-213-120049.htm>; Download: 12. March 2023.
- [15] Internet: <https://www.eod-technology.com/catalog/alford/alford-strip/>; 12. March 2023.
- [16] Norbert DARUKA: Advanced Tools for the Explosive Materials Identification. In: Kovács, T.A., Nyikes, Z., Fürstner, I. (eds) Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, pp 455–469.; Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_39; Online ISBN 978-94-024-2174-3.
- [17] DARUKA Norbert – Dr. Kovács Zoltán: IEDD - Improvised Explosive Device Disposal. International Conference on Military Technologies – ICMT 2013, Brno May 22-24, 2013., pp. 383-390. ISBN 978-80-7231-917-6.
- [18] DARUKA Norbert: A házilag készített robbanószerkezetek, avagy szinesdrótok és robbanóanyag, mint a terrorizmus leghatékonyabb fegyverze, New Challenges in the Field of Military Sciences Budapest, 2010. szeptember 28-30., ISBN 978-963-87706-6-0.

Próba odkształcenia cylindra ołowianego do określania kruszności materiałów wybuchowych emulsyjnych

Lead cylinder compression test for determination of brisance of emulsion explosives

Bartłomiej Kramarczyk¹, Piotr Mertuszka^{2*}, Mateusz Pytlik³

¹NITROERG S.A., Bieruń – Polska

²KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław – Polska

³Główny Instytut Górnictwa, Katowice – Polska

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań kruszności wybranych górniczych materiałów wybuchowych emulsyjnych przy użyciu próby odkształcenia Hessa. Analizie poddano różne materiały wybuchowe emulsyjne produkowane przez Nitroerg S.A., zarówno luzem, jak i nabożowane. Ponadto, przy użyciu dedykowanego oprogramowania wyznaczono teoretyczne parametry materiałów wybuchowych, a następnie skorelowano je z wynikami eksperymentalnymi. Teoretyczne wartości kruszności zostały natomiast obliczone przy użyciu wybranych metod, które opisane są w literaturze naukowej.

Słowa kluczowe: materiały wybuchowe, kruszność, próba Hessa

Abstract: In this paper, results of the brisance of selected emulsion explosives used in mining determined using the Hess compression test are presented. Different emulsion explosives manufactured by Nitroerg S.A. were tested, including both bulk and cartridged emulsions. Moreover, the properties of explosives were also predicted theoretically using the dedicated software and then correlated with experimental results. Theoretical values of brisance were in turn calculated using selected methods which are described in the scientific literature.

Key words: explosives, brisance, Hess test

1. Wprowadzenie

Do określania energii materiałów wybuchowych (MW) stosuje się szereg metod pomiarowych, w oparciu o które wyznacza się parametry detonacyjne, takie jak prędkość detonacji, ciśnienie detonacji, ciepło wybuchu, energię właściwą, zdolność do wykonania pracy itp. W niniejszej pracy autorzy skupili się na określeniu kruszności materiałów wybuchowych przy użyciu próby Hessa [1–2], jako jednego z typów badań do określania zdolności do wykonania pracy. W metodzie tej wyznacza się wielkość odkształcenia cylindra ołowianego po detonacji próbki materiału wybuchowego, przy czym wartość ta może być wyznaczona jako wartość liczbowa lub jako wartość względna w odniesieniu do wzorcowych materiałów wybuchowych, jak np. heksogen czy trotyl.

Kruszność określa efektywność, z jaką materiał wybuchowy wpływa na niszczenie ośrodka skalnego lub innych przedmiotów. Jest ona związana z gwałtownością przemiany wybuchowej na froncie fali detonacyjnej i zależy przede wszystkim od prędkości detonacji – kruszność wzrasta wraz ze wzrostem prędkości detonacji.

* e-mail: piotr.mertuszka@kghmcuprum.com

Jak zaznaczają Doleżał i Janda [3], kruszność zależy przede wszystkim od gęstości MW, prędkości detonacji, gazowych produktów wybuchu, a także temperatury wybuchu i może być obliczona przy użyciu równania Kasta, zgodnie z poniższym:

$$B = F \cdot \rho \cdot D \left[\frac{N}{m \cdot s} \right] \quad (1)$$

gdzie: F – siła wybuchu [J/kg], ρ – gęstość materiału wybuchowego [kg/m³] i D – prędkość detonacji [m/s].

Kruszność i zdolność do wykonania pracy mogą być określone przy wykorzystaniu wielu metod pomiarowych, takich jak ołowiany blok Trauzla, test podwodny, wahadło balistyczne, test cylindryczny, próba odkształcenia Hessa, próba Kasta czy test wgniecenia płytki. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku nieidealnych MW, powyższe metody nie zawsze odzwierciedlają rzeczywistą energię MW, ponieważ ich właściwości detonacyjne są trudne do określenia z uwagi na wpływ różnych czynników, jak np. rodzaj czy geometria otoczki na przebieg detonacji. Problem ten jest szczególnie ważny w przypadku uczulanych chemicznie materiałów wybuchowych emulsyjnych (MWE). Struktura tego rodzaju materiałów wybuchowych może być niszczona podczas formowania próbek do badań, co ma bardzo istotny wpływ na wynik badania. Oznacza to, że próbki powinny być wykonywane z najwyższą starannością. W przeciwnym wypadku, wyniki badań nie będą wiarygodne.

Innym problemem, który zauważa się głównie przy badaniach materiałów wybuchowych emulsyjnych jest to, że próbki w najczęściej stosowanych metodach badawczych, jak bloki ołowiane czy wahadło balistyczne, są stosunkowo małe. W wielu przypadkach metody te nie powinny być stosowane do badań materiałów wybuchowych emulsyjnych. Wynika to z tego, że średnice badanych próbek MW są zwykle mniejsze od średnicy krytycznej analizowanych materiałów wybuchowych. Dlatego też do tego typu MW powinno stosować się takie metody, w których średnice próbek są bliskie lub większe od średnicy krytycznej.

W związku z tym, w oparciu o wcześniejsze doświadczenia autorów należy stwierdzić, że próba odkształcenia cylindra ołowianego (tzw. próba Hessa) wydaje się bardziej odpowiednia do badań materiałów wybuchowych, zwłaszcza materiałów wybuchowych emulsyjnych, ponieważ średnica badanych próbek wynosi 40 mm. Największą zaletą próby Hessa jest jednak to, że może ona być stosowana w badaniach in situ, tj. bezpośrednio w miejscu prowadzenia robot strzałowych (kopalnie podziemne i odkrywkowe) oraz nie wymaga stosowania specjalistycznego sprzętu pomiarowego. Badania w takich warunkach są bardzo przydatne, szczególnie w przypadku materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem, ponieważ próbki mogą być pobierane bezpośrednio z modułów mieszalniczo-ładujących. W ten sposób można przebadать taki sam materiał wybuchowy, jak załadowany do otworów strzałowych. Odpalanie ładunków MW poza otworem strzałowym w polskim górnictwie jest możliwe na podstawie Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 22 lutego 2017 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego [4]. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, odpalanie ładunków materiału wybuchowego poza otworem strzałowym jest dozwolone w przypadku prowadzenia badań środków strzałowych i po uzyskaniu wcześniejszej zgody kierownika ruchu zakładu górniczego.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów kruszności wybranych górniczych materiałów wybuchowych oznaczonej metodą odkształcenia Hessa. Analizie poddano różne typy materiałów wybuchowych emulsyjnych produkowanych przez Nitroerg S.A., zarówno luzem, jak i nabojuowanych. Ponadto, przy wykorzystaniu dedykowanego oprogramowania oraz wzorów opisanych w literaturze naukowej, wyznaczono teoretyczne właściwości analizowanych materiałów wybuchowych i skorelowano je z wynikami eksperymentalnymi.

2. Materiały i metody pomiarowe

Przedmiotem badań były następujące górnicze materiały wybuchowe emulsyjne: Emulinit 2, Emulinit PM, Emulinit Strong, Emulinit GM1, Emulinit 8L i Emulinit 9L. Wszystkie analizowane materiały wybuchowe emulsyjne nabożowane uczulane były szklanymi mikrosferami na etapie produkcji, za wyjątkiem MWE typu Emulinit GM1, który był uczulany chemicznie. Z kolei MWE luzem uczulane były chemicznie bezpośrednio w miejscu prowadzenia robót strzałowych za pomocą jednostek mieszalniczo-ładujących. Wybrane parametry analizowanych materiałów wybuchowych zostały przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1. Wybrane parametry badanych materiałów wybuchowych

Parametr \ MW	Emulinit					
	2	PM	Strong	GM1	8L	9L
Prędkość detonacji [m/s]	4 700	4 500	5 500	4 000	3 800	3 600
Wrażliwość na tarcie [N]	>360	>360	>360	>360	>360	>360
Wrażliwość na uderzenie [J]	>25	>30	>30	>30	>30	>30
Energia właściwa [kJ/kg]	712	522	760	897	788	758
Objętość gazów [dm ³ /kg]	854	767	870	904	870	918
Średnica minimalna [mm]	≥32	≥32	≥40	≥32	≥34	≥45

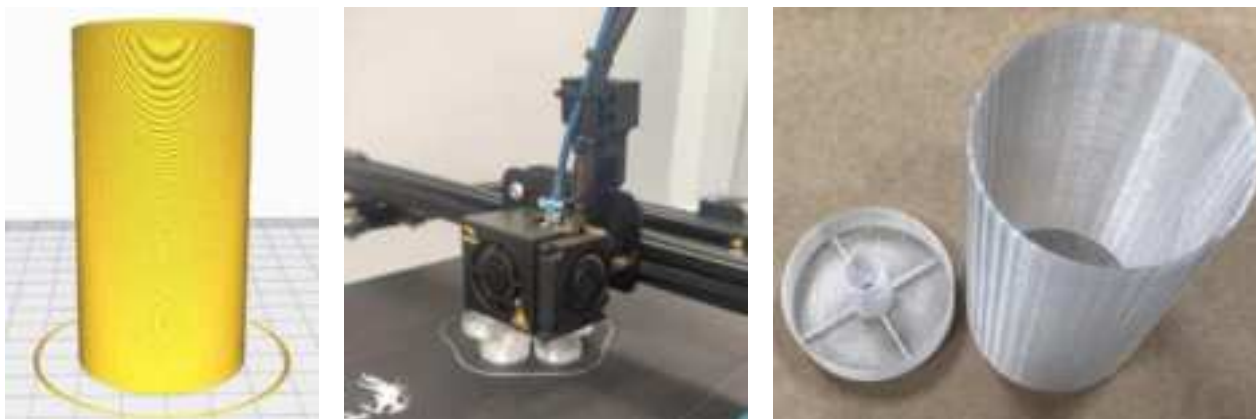
Emulinit 2 i Emulinit Strong są przeznaczone do prac w podziemnych i odkrywkowych zakładach górniczych do urabiania skał zwięzłych, a także do innych prac inżynierskich, jak np. wykonywanie tuneli. Mogą one być ładowane zarówno do otworów suchych, jak i zawodnionych. Emulinit PM znajduje zastosowanie w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu i zgodnie z polskimi przepisami prawnymi jest on klasyfikowany jako materiał wybuchowy metanowy specjalny. Może być on także stosowany do mechanicznego ładowania. Emulinit GM1 z kolei jest przeznaczony do stosowania w zakładach górniczych podziemnych oraz odkrywkowych jako materiał wybuchowy skalny. Natomiast MWE typu Emulinit 8L i Emulinit 9L są materiałami wybuchowymi luzem wytwarzanymi za pomocą modułów mieszalniczo-załadowniczych, przy czym Emulinit 8L jest przeznaczony do podziemnych, a Emulinit 9L do odkrywkowych zakładów górniczych.

Próbki do badań przygotowywano w pojemnikach plastikowych o znanej masie i objętości, w których umieszczano odpowiednią masę MW określoną precyzyjnie za pomocą wagi laboratoryjnej. W przypadku materiałów wybuchowych luzem, składniki mieszano mechanicznie w pojemnikach o pojemności 500 ml, po czym żadaną masę umieszczano w pojemnikach badawczych. Do określenia teoretycznych parametrów detonacyjnych analizowanych MW zastosowano oprogramowanie EXPLO5 firmy OZM Research s.r.o. [5].

Kruszność określano za pomocą próby odkształcenia cylindra ołowianego, znanej również jako próba Hessa. Procedura badania opisana jest w uchylonej krajowej normie branżowej [6]. Zasada oznaczania kruszności w tej metodzie polega na określeniu zmiany wysokości (zgniecenia) cylindra ołowianego przed i po badaniu. Zgodnie z powyższą normą, cylindry powinny być odlane z ołowiu o gatunku Pb1. Cylinder po obróbce powinien mieć wysokość $60 \pm 0,15$ mm i średnicę $40 \pm 0,2$ mm. Powierzchnie czołowe cylindrów powinny być obrobione mechanicznie do klasy 10. Krążki stalowe o średnicy $41 \pm 0,2$ mm i wysokości $10 \pm 0,2$ mm, które pełnią rolę zgniataczy, umieszcza się pomiędzy próbką materiału wybuchowego i cylindrem ołowianym. Powierzchnie czołowe tych krążków powinny być obrobione do klasy 2,5 i utwardzone do twardości 150–200 w skali Brinella. Najbardziej problematycznym elementem tej metody jest przygotowanie osłonek ładunków, które powinny być wykonane z papieru asfaltowego, przy czym dopuszcza się także stosowanie otoczek plastikowych.

W niniejszej pracy zastosowano pręty ołowiane o zawartości 99,97% ołowiu i krążki stalowe wykonane ze stali gatunkowej 1.7035. Pojemniki plastikowe do badań wraz z elementami centrującymi na zapalnik zostały wydrukowane na drukarce 3D. Wewnętrzna średnica pojemników wynosiła 40 mm, a wysokość 65 mm. W kubkach umieszczano po 50 g materiału wybuchowego.

Projekty wydruków zostały wykonane za pomocą programów komputerowych FreeCAD i Ultimater Cura, natomiast wydruki na drukarce Creality Ender-5 Pro 3D printer (rys. 1). Jako filament zastosowano poli(tereftalan etylenu) z dodatkiem glikolu (PET-G). Szerokość linii nadruku wynosiła 0,4 mm, a wysokość 0,12 mm. Czas wydruku jednego zestawu pomiarowego wynosił ok. 90 min.



Rys. 1. Projektowanie pojemników (z lewej), drukowanie 3D (środek) i gotowy pojemnik z elementem centrującym (z prawej)

W każdym badaniu cylinder ołowiany umieszczano na wypoziomowanej stalowej podstawie znajdującej się na ziemi. Następnie na cylindrze umieszczano krążek stalowy oraz próbkę materiału wybuchowego. Całość zabezpieczano taśmą izolacyjną. Przed odpaleniem ładunków, element centrujący z zapalnikiem umieszczano w badanej próbce MW w taki sposób, aby łuska zapalnika była zagłębiona w materiale wybuchowym na głębokości 10 mm. Próbkę inicjowano za pomocą zapalnika elektrycznego o masie ładunku wtórnego wynoszącej 0,65 g pentrytu. Układ pomiarowy przedstawiono na rys. 2.

Zmiana wysokości cylindra ołowianego spowodowana ściskaniem osiowym jest stosowana jako miara kruszności. Sposób pomiaru jest szczegółowo opisany we wspomnianej wcześniej normie branżowej. Do pomiaru wysokości cylindra należy zastosować suwmiarkę o dokładności co najmniej 0,1 mm. Wysokość cylindra należy zmierzyć w czterech punktach, zgodnie z rys. 3. Średnią arytmetyczną wysokość cylindra po badaniu (h_z) należy obliczyć ze wzoru:

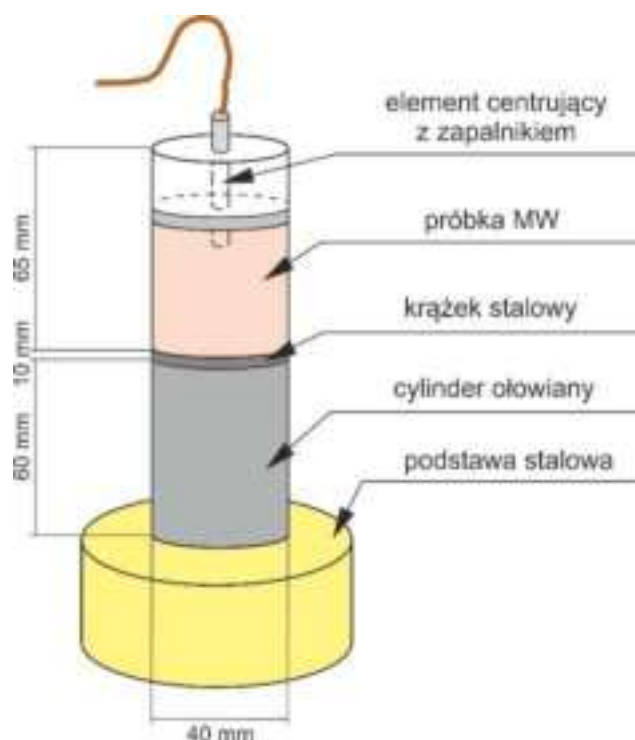
$$h_z = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

gdzie h_1, h_2, h_3, h_4 to wysokości cylindra po badaniu zmierzone w poszczególnych punktach.

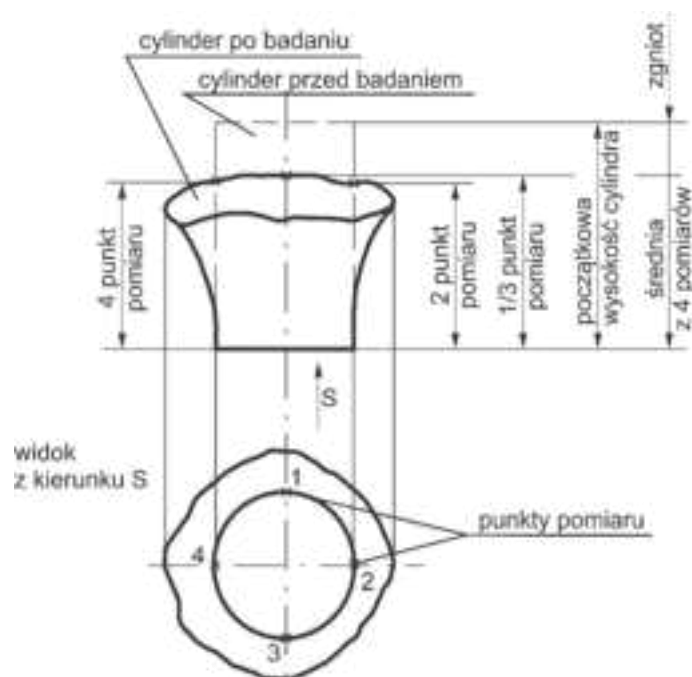
Wielkość zgniecenia cylindra (Δh), tj. kruszność materiału wybuchowego, oblicza się ze wzoru:

$$\Delta h = h_0 - h_z \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

gdzie: h_0 – wysokość cylindra przed badaniem ($60 \pm 0,15$ mm), h_z – średnia arytmetyczna wysokość cylindra po badaniu obliczona ze wzoru (2).



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego



Rys. 3. Metoda pomiaru wysokości cylindra

Zgodnie z powyższą normą, końcowy wynik kruszności materiału wybuchowego jest średnią arytmetyczną wyników z badania trzech próbek. Wyniki mogą być przedstawione jako kruszność w milimetrach lub jako współczynnik kompresji, który można określić z poniższego równania [7]:

$$\alpha = \frac{\Delta h}{h_0 - \Delta h} \quad (4)$$

gdzie Δh jest różnicą pomiędzy wysokością cylindra przed i po badaniu.

Teoretyczne parametry użytkowe materiałów wybuchowych określono przy użyciu programu termodynamicznego EXPLO5, który umożliwia, na drodze analizy teoretycznej, dokonanie predykcji efektów działania materiałów wybuchowych kruszących, paliw raketowych i mieszanin pirotechnicznych. Niestety nie pozwala on na określenie kruszności. Dlatego też teoretyczne wartości kruszności obliczono przy użyciu dwóch metod opisanych w literaturze naukowej. Obie metody opierają się na zmodyfikowanym równaniu Kasta. Pierwsze zaproponowali Elsharkawy i Fouda [8]. Siła wybuchu w tej metodzie jest iloczynem liczby moli produktów gazowych, uniwersalnej stałej gazowej i temperatury wybuchu. W związku z tym, równanie Kasta przyjmuje poniższą postać:

$$B_{E-F} = n \cdot R \cdot T \cdot \rho \cdot D \left[\frac{N}{m \cdot s} \right] \quad (5)$$

gdzie: n – liczba moli produktów gazowych na 1 kg materiału wybuchowego, R – uniwersalna stała gazowa = 8,3145 [J/(mol · K)], T – temperatura wybuchu [K].

Z kolei Edwards i Palmer zaprezentowali inną metodę [9], która uwzględnia dodatkowo ciśnienie atmosferyczne i objętość gazu powstałą w wyniku wybuchu. Kruszność może być więc obliczona przy użyciu poniższego równania:

$$B_{E-P} = P_0 \cdot V \cdot \left(\frac{T}{273} \right) \cdot D \left[\frac{N}{m \cdot s} \right] \quad (6)$$

gdzie: P_0 – ciśnienie atmosferyczne [N/m²], V – objętość gazu powstała w wyniku wybuchu zredukowana do 273 K i ciśnienia 1 atm.

Ogólnie przyjmuje się, że kruszność jest proporcjonalna do impulsu ciśnienia, tj. siły impulsu działającej na jednostkę powierzchni (p_i). Dlatego też kruszność można również oszacować z poniższej zależności [10]:

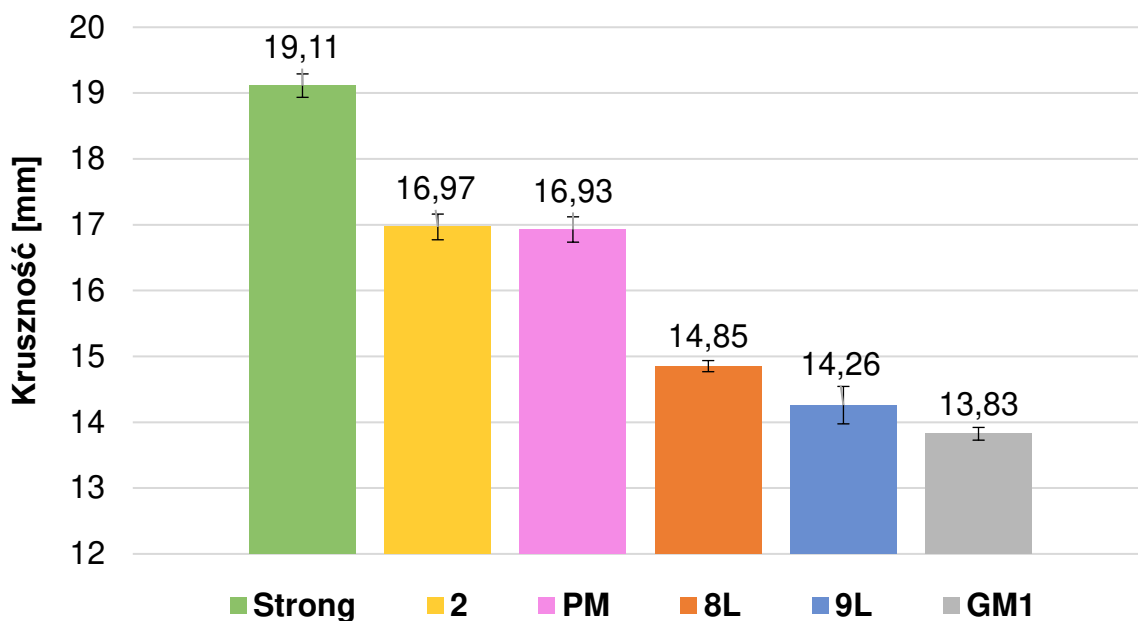
$$p_i = \frac{1}{\gamma} \cdot \rho \cdot D^2 \quad [\text{GPa}] \quad (7)$$

gdzie: γ – wykładnik izentropy na płaszczyźnie Chapmana-Jougueta.

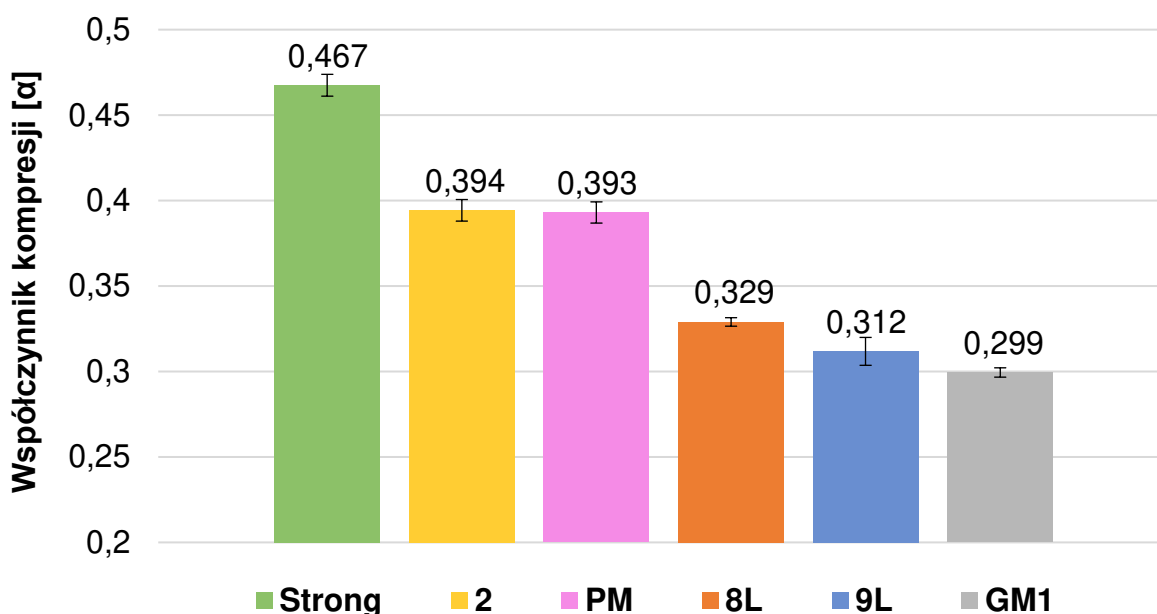
3. Wyniki badań i obliczeń

Wyniki badań eksperymentalnych kruszności zostały wyznaczone jako wartość średnia z odpalenia trzech próbek i przedstawione graficznie jako wartości odkształcenia cylindra ołowianego zmierzone zgodnie z normą oraz jako obliczone współczynniki kompresji (rys. 4–5). Na wykresach zamieszczono także wartości niepewności określające rozrzut danych pomiarowych wokół wartości średniej dla każdego wyniku.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że kruszność jest większa dla materiałów wybuchowych nabojoyanych niż dla materiałów luzem, za wyjątkiem Emulinitu GM1. Dzieje się tak prawdopodobnie dlatego, że struktura tego materiału wybuchowego mogła zostać uszkodzona podczas formowania próbek do badań. Problem ten nie występuje w przypadku innych MWE nabojoyanych, które są uczulane szklanymi mikrosferami. Fizyczne uczulanie materiałów wybuchowych emulsyjnych pozwala więc na uzyskanie jednorodnego materiału wybuchowego.



Rys. 4. Kruszości analizowanych MWE wyznaczone przy użyciu próby Hessa



Rys. 5. Współczynniki kompresji dla analizowanych materiałów wybuchowych

Po pominięciu MWE typu Emulinit GM1 z dalszych analiz, kruszność badanych MW waha się od 14,26 mm dla Emulinitu 9L do 19,11 mm dla Emulinitu Strong, przy czym różnica dla obu MWE luzem jest stosunkowo niewielka i wynosi zaledwie 0,59 mm w oparciu o wartości średnie. Mając jednak na uwadze, że rozrzut wartości dla Emulinitu 9L jest stosunkowo duży, można przyjąć, że wartości kruszności dla obu MWE luzem są takie same. Teoretyczne parametry użytkowe MW wyznaczono przy użyciu programu EXPLO5, a wybrane z nich przedstawiono w tabeli 2, w tym średnią masę cząsteczkową produktów gazowych, temperaturę detonacji, objętość gazów w normalnej temperaturze i ciśnieniu, ciepło detonacji, ciśnienie detonacji i energię odkształcenia. W obliczeniach wykorzystano równanie stanu dla gazowych produktów reakcji skondensowanych materiałów wysokoenergetycznych, tzw. równanie Beckera-Kistiakowskiego-Wilsona.

Tab. 2. Wybrane parametry detonacyjne MW obliczone przy użyciu programu EXPLO5

Parametr \ MW	Emulinit					
	2	PM	Strong	GM1	8L	9L
Średnia masa cząsteczkowa produktów gazowych [g/mol]	22,37	22,03	21,84	21,50	22,89	21,99
Prędkość detonacji [m/s]	5 571	5 016	5 888	5 735	4 996	5 091
Temperatura detonacji [K]	2 586	1 974	2 353	2 649	2 284	2 185
Gęstość*) [g/cm ³]	1,17	1,20	1,17	1,17	1,00	1,00
Objętość gazów [dm ³ /kg]	919	777	998	939	992	1020
Wykładnik gamma	3,10	3,32	3,14	3,08	2,97	3,18
Ciepło detonacji [kJ/kg]	3 564	2 393	3 216	3 776	2 869	2 863
Ciśnienie detonacji [GPa]	8,85	6,99	9,80	9,44	6,29	6,21
Energia właściwa [kJ/kg]	961	745	896	1024	830	826
Energia odkształcenia [kJ/kg]	921	674	1012	989	792	743

*) wartość założona do obliczeń

Teoretyczne wartości kruszności obliczono przy użyciu dwóch metod opisanych w literaturze naukowej, które wykorzystują zmodyfikowane równanie Kasta, zgodnie ze wzorami (5) i (6) oraz oszacowano przy użyciu impulsu ciśnienia, zgodnie ze wzorem (7). W tym celu wykorzystano parametry uzyskane za pomocą programu EXPLO5, za wyjątkiem prędkości detonacji, której wartość wyznaczono na podstawie badań eksperymentalnych. Jest to związane z tym, że program EXPLO5 zakłada idealną detonację MW, dlatego też wartości teoretyczne i eksperymentalne różnią się znacznie. Ponieważ obliczony wykładnik γ waha się od 2,97 do 3,32, do dalszych obliczeń przyjęto wartość 3. Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

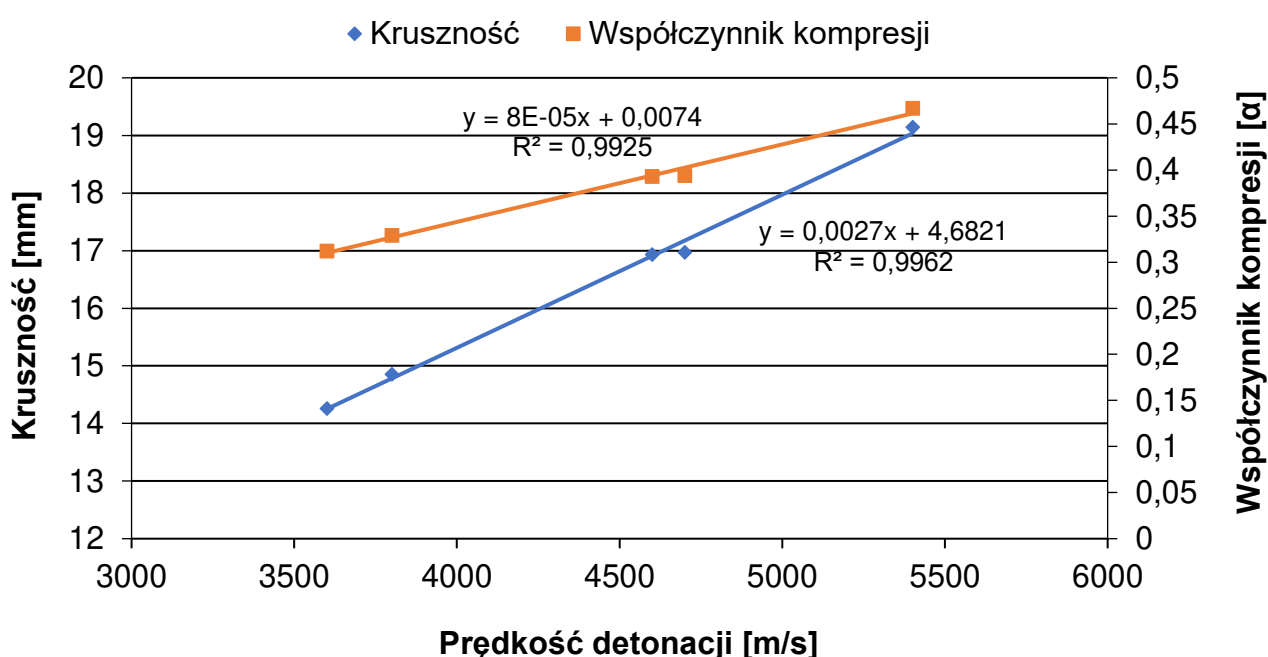
Tab. 3. Zmierzone i obliczone wartości kruszności

Parametr \ MW	Emulinit					
	2	PM	Strong	GM1	8L	9L
Kruszność metodą Hessa [mm]	16,97	16,93	19,14	13,83	14,85	14,26
Współczynnik kompresji	0,394	0,393	0,467	0,299	0,329	0,312
Kruszność Elsharkawy i Fouda [$(\frac{N}{m \cdot s}) \cdot 10^{12}$]	5,29	4,11	5,66	4,79	3,15	2,97
Kruszność Edwards i Palmer [$(\frac{N}{m \cdot s}) \cdot 10^{12}$]	4,74	3,07	5,38	4,22	3,12	2,91
Kruszność metodą impulsu ciśnienia [GPa]	8,62	8,46	11,73	6,24	4,81	4,32

Wyniki obliczeń teoretycznych wskazują, że większą krusznością charakteryzują się materiały wybuchowe emulsyjne nabożowane, z których największe wartości osiągnął Emulinit Strong i Emulinit 2. Z kolei najmniejsze wartości osiągnęły MWE luzem (najmniejszą Emulinit 9L). Wyniki kruszności obliczone w oparciu o zmodyfikowane równanie Kasta wykazały ten sam porządek dla Emulinitu Strong, Emulinitu 2, Emulinitu GM1 i Emulinitu 9L. Niewielkie różnice zaobserwowano dla wartości oszacowanych przy użyciu impulsu ciśnienia, choć Emulinit Strong, Emulinit 2 i Emulinit 9L znajdują się na tych samych pozycjach.

4. Dyskusja

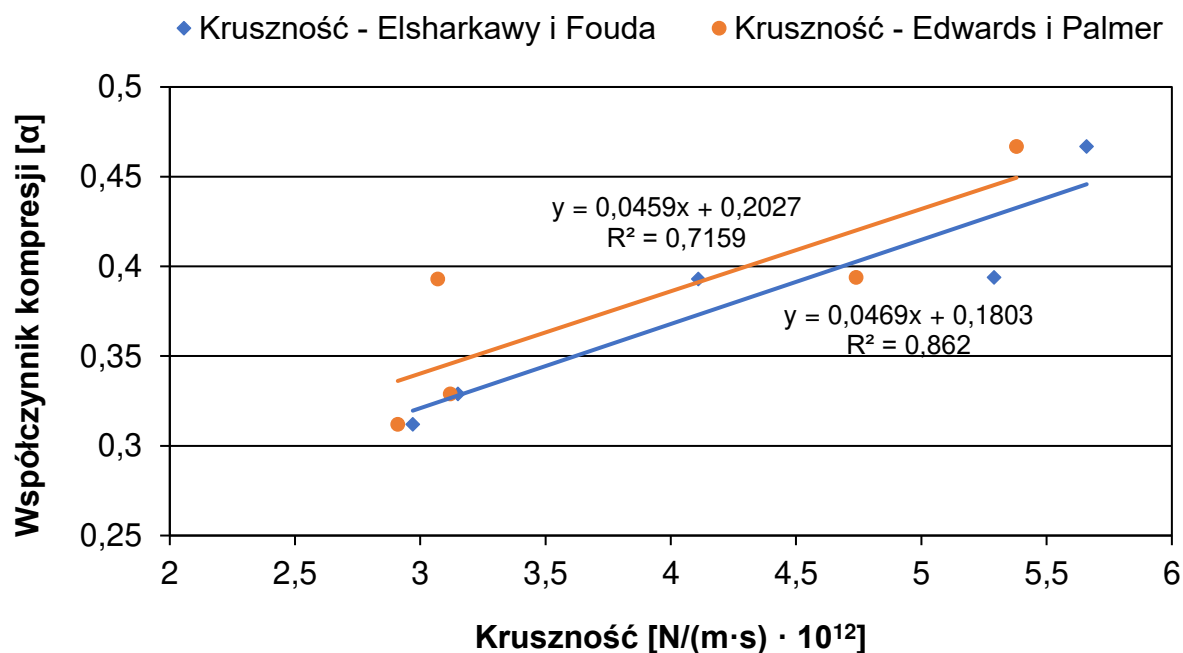
Z uwagi na niską wartość kruszności uzyskaną dla Emulinitu GM1, co prawdopodobnie było spowodowane uszkodzeniem jego struktury podczas przygotowywania próbek, został on pominięty w dalszych analizach. Wyniki badań kruszności metodą Hessa dla pięciu pozostałych materiałów wybuchowych wskazują, że zarówno kruszność, jak i współczynnik kompresji wzrastają wraz ze wzrostem nominalnej prędkości detonacji. Oznacza to, że im większa prędkość detonacji, tym większa kruszność i współczynnik kompresji cylindra ołowianego. Wyznaczone charakterystyki można opisać za pomocą regresji liniowej. Obliczone współczynniki determinacji R^2 , zarówno dla kruszności, jak i współczynnika kompresji, wynoszą ponad 0,99, co należy interpretować jako bardzo silną i niemalże idealną korelację pomiędzy krusznością i prędkością detonacji. Zależność pomiędzy eksperymentalnymi wartościami kruszności oraz współczynnikiem kompresji, a prędkością detonacji jest przedstawiona na rys. 6.



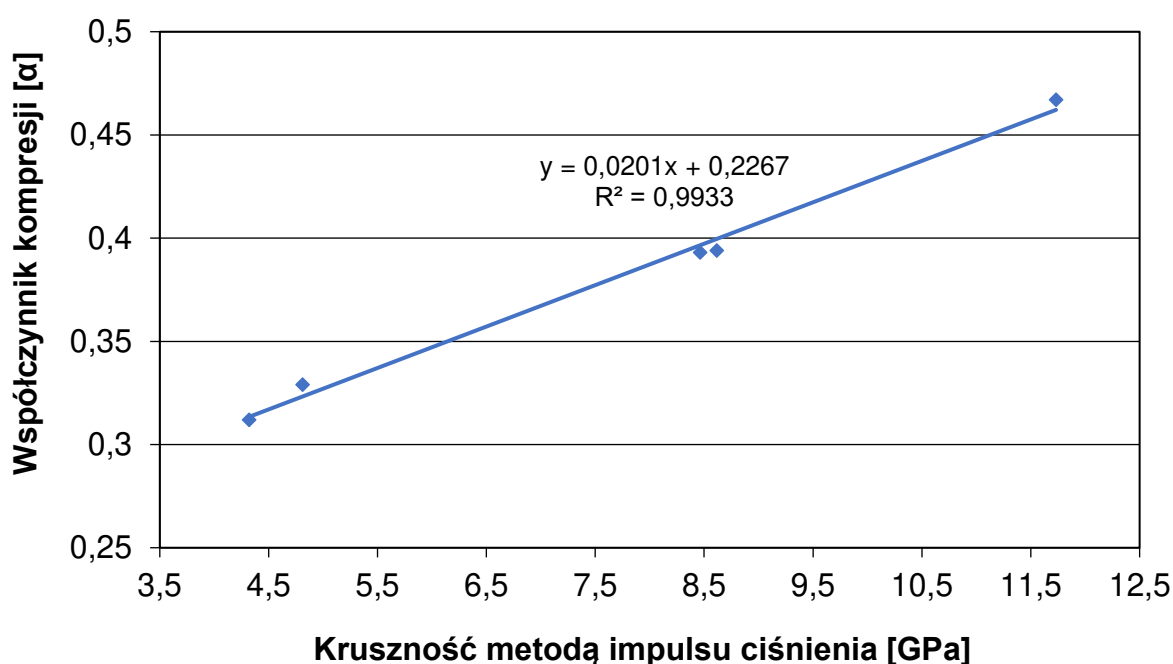
Rys. 6. Zależność pomiędzy krusznością, współczynnikiem kompresji i prędkością detonacji

Wyniki obliczeń teoretycznych przedstawiono w postaci zależności pomiędzy krusznością określoną na podstawie zmodyfikowanego równania Kasta (obie rozpatrywane metody), a współczynnikiem kompresji z badań eksperymentalnych (rys. 7), a także zależności pomiędzy oszacowanym impulsem ciśnienia i współczynnikiem kompresji (rys. 8). Podobnie jak w przypadku analizy danych eksperymentalnych, Emulinit GM1 został pominięty w dalszych analizach.

Teoretyczne wartości kruszności według Edwardsa i Palmera w odniesieniu do eksperymentalnych współczynników kompresji wskazują, że korelacja między nimi jest średnia i niewiele ponad 70% danych jest dopasowanych do modelu regresji. Znacznie lepszy współczynnik determinacji zaobserwowano dla korelacji teoretycznej kruszności i kompresji, zgodnie z równaniem, które zaproponowali Elsharkawy i Fouda, którą można interpretować jako silną ($R^2=0,862$). Ostatecznie, teoretyczną kruszność oszacowaną za pomocą impulsu ciśnienia skorelowano z eksperymentalnymi współczynnikami kompresji, co przedstawiono na rys. 8.



Rys. 7. Zależność pomiędzy krusznością teoretyczną i eksperymentalnym współczynnikiem kompresji



Rys. 8. Zależność pomiędzy krusznością teoretyczną na podstawie impulsu ciśnienia i eksperymentalnym współczynnikiem kompresji

Wyznaczony współczynnik determinacji pomiędzy krusznością teoretyczną na podstawie impulsu ciśnienia i współczynnikiem kompresji wskazuje na bardzo silną i niemalże idealną korelację pomiędzy tymi parametrami ($R^2=0,99$). Oznacza to, że równanie do obliczania kruszności metodą impulsu ciśnienia jest bardzo wiarygodne (odnosząc się do wartości współczynnika kompresji uzyskanego dla poszczególnych prób) i ponad 99% danych pasuje do modelu. Tak wysoki poziom współczynnika determinacji pozwala na oszacowanie prędkości detonacji na podstawie wyników badań eksperymentalnych kruszności.

Oznacza to, że do określenia prędkości detonacji nie jest konieczne odpalanie dużych próbek materiału wybuchowego, ponieważ można do tego celu wykorzystać zmodyfikowane równanie (7) w poniższej formie:

$$D = \sqrt{\frac{p_i \cdot \gamma}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (8)$$

W celu oszacowania prędkości detonacji danych materiałów wybuchowych przy użyciu równania (8) i zależności liniowej pomiędzy współczynnikiem kompresji i kruszności wyznaczonej metodą impulsu ciśnienia (jak pokazano na rys. 9), można zastosować następujące równanie:

$$D = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{\Delta h}{1.21 - 0.0201 \cdot \Delta h} - 11.3\right) \cdot \gamma}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (9)$$

Różnica w wysokości cylindrów w równaniu (9) jest wyrażona w mm, a gęstość materiału wybuchowego w g/cm³. Założono, że wykładnik izentropy $\gamma=3$. Należy jednak zaznaczyć, że powyższe równanie może być zastosowane jedynie do materiałów wybuchowych emulsyjnych.

Zaprezentowana metoda eksperymentalna nie jest odpowiednia do badań mniej energetycznych materiałów wybuchowych, jak np. ANFO, których średnica krytyczna jest zbliżona do średnicy próbki. Niemniej metoda Hessa wydaje się być właściwą metodą do określania kruszności różnych typów materiałów wybuchowych emulsyjnych, zarówno luzem, jak i nabojuowanych. Przedstawione wyniki badań wskazują, że metoda ta jest powtarzalna, o czym świadczy niska niepewność wartości średnich dla każdego materiału wybuchowego. Należy podkreślić, że wyników badań eksperymentalnych nie odniesiono do wyników badań z użyciem wzorcowego materiału wybuchowego, ponieważ założono, że opisana metoda powinna mieć zastosowanie bezpośrednio w miejscu prowadzenia robot strzałowych, tj. w zakładach górniczych, w których nie stosuje się takich materiałów wybuchowych, jak heksogen czy trotyl.

Z punktu widzenia kosztów prowadzenia pomiarów należy przede wszystkim zwrócić uwagę na koszty materiałów eksploatacyjnych, tj. filament, cylindry ołowiane i krążki stalowe. Inne koszty, poza kosztami pracy, związane są z drukowaniem 3D oraz obróbką mechaniczną cylindrów i krążków. Tym samym całkowity koszt materiałów eksploatacyjnych i ich przygotowania do pojedynczego badania waha się w granicach 40–45 €.

5. Podsumowanie

Wyniki badań eksperymentalnych wykazały, że próba odkształcenia Hessa może być z powodzeniem wykorzystywana do określania kruszności materiałów wybuchowych emulsyjnych stosowanych w górnictwie, co potwierdzają niskie niepewności pomiarowe wartości średnich dla analizowanych materiałów wybuchowych. Pozwala to na wyznaczenie kruszności materiałów wybuchowych ze stosunkowo niskim współczynnikiem błędu. Zarówno eksperymentalna, jak i teoretyczna analiza potwierdziła, że kruszność jest większa dla materiałów nabojuowanych niż materiałów luzem. Wykazano również, że kruszność uczulanych chemicznie materiałów wybuchowych nabojuowanych nie może być określana metodą Hessa, gdy struktura takich materiałów uległa uszkodzeniu na etapie formowania próbek do badań.

Wyniki badań wykazały także, że kruszność wzrasta wraz ze wzrostem prędkości detonacji, na co wskazuje bardzo silna i niemalże idealna korelacja pomiędzy tymi parametrami. Opierając się na wynikach obliczeń teoretycznych należy stwierdzić, że równanie do określania kruszności metodą impulsu ciśnienia jest bardzo wiarygodne, co potwierdza wysoki współczynnik determinacji pomiędzy wartościami eksperymentalnymi i teoretycznymi. Umożliwia to obliczenie prędkości detonacji, kiedy znana jest wartość kruszności. Można także stwierdzić, że wszystkie przeanalizowane metody teoretyczne do określania kruszności materiałów wybuchowych wykazują względnie dobrą zgodność z wynikami eksperymentalnymi.

Metoda Hessa jest dobrą alternatywą do określania zdolności do wykonania pracy materiałów wybuchowych w porównaniu do innych skomplikowanych, kosztownych i czasochłonnych metod. Jest to bardzo dobra metoda porównawcza dla poszczególnych partii materiału wybuchowego. Nie jest ona skomplikowana i charakteryzuje się powtarzalnymi wynikami. Należy jednak zauważyć, że temperatura otoczenia ma wpływ na wyniki badań. Dlatego też w przypadku prowadzenia pomiarów w różnych temperaturach, badania należy rozszerzyć o standardowe materiały wybuchowe referencyjne, jak heksogen czy trotyl, aby określić rzeczywistą wartość kruszności.

Bibliografia

- [1] Zou D. Properties of Explosives. [w]: Theory and Technology of Rock Excavation for Civil Engineering. Red. Zou D., Singapore: Metallurgical Industry Press and Springer Science+Business Media, 2017, s. 137–138.
- [2] Xuguang W. Emulsion Explosives, Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994.
- [3] Doležal V., Janda V. Theory of explosives, Egypt: MTC, 1974.
- [4] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 9 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego, 2017, poz. 321.
- [5] Sućeska M. EXPLO5 – Computer Program for Calculation of Detonation Parameters. Materiały konferencyjne: 32nd International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 2001, vol. 110, s. 1–13.
- [6] BN-90-6091-45/51: Norma branżowa: Górnicze materiały wybuchowe – Oznaczanie kruszności, 1990.
- [7] Yang M., Ma H., Shen Z. Effect of RDX Powders on Detonation Characteristics of Emulsion Explosives. Journal of Energetic Materials 2019, vol. 37, issue 4, s. 459–474.
- [8] Elsharkawy K., Fouda H. Synthesis and Characterization of Advanced PBXs Materials Based on GAP and HTPB. International Journal of Advanced Materials and Production 2016, vol. 1, issue 1, s. 41–48.
- [9] Edwards M.R., Palmer M.E. Mitigation of comminution effects of explosives by particulate materials. Journal of Applied Physics 2003, vol. 95, issue 5, s. 2540–2543.
- [10] Włodarczyk E. Brisance of the High Explosives. Bulletin of the Military University of Technology 2000, vol. 49, issue 9, s. 5–20.

Modyfikowanie prędkości detonacji górniczych materiałów wybuchowych dodatkiem pyłu aluminiowego

Modifying the detonation velocity of mining explosives with the addition of aluminum dust

A. Maranda,

**ŁUKASIEWICZ Research Network - Institute of Industrial Organic Chemistry,
Warsaw, Poland**

K. Nikolczuk, M. Polis, P. Koślik

**ŁUKASIEWICZ Research Network - Institute of Industrial Organic Chemistry,
Krupski Młyn Branch, Poland**

Streszczenie. W pracy przedstawiono krótki przegląd literatury dotyczącej zastosowania pyłu aluminiowego w amonowo-saletranych materiałach wybuchowych. W uzupełnieniu podano wyniki oryginalnych badań autorów, wpływu dwóch rodzajów pyłu aluminiowego na prędkość detonacji mieszanin wybuchowych zawierających jako utleniacz nadtlenek wodoru o stężeniu 52% mas.

Słowa kluczowe: saletrole, materiały wybuchowe zawiesinowe, materiały wybuchowe emulsyjne, nadtlenek wodoru, parametry detonacyjne.

Abstract. The paper presents a brief review of the literature on the use of aluminum dust in mining explosives. The supplementary results of the original research of the authors of the impact of two types of aluminum dust on the detonation velocity explosive mixtures containing as oxidizer hydrogen peroxide with a concentration of 52% weight.

Keywords. ANFO, slurry explosives, emulsion explosives, hydrogen peroxide, detonation velocity.

1. Wstęp

Po erze prochu czarnego a następnie materiałów wybuchowych (MW) chloranowych w przemyśle wydobywczym najbardziej popularnymi stały się MW amonowo-saletrane. Podstawowym ich składnikiem jest azotan(V) amonu (AA), który uznawany jest za substancję o słabo zaznaczonych właściwościach wybuchowych. Charakteryzuje się małą zdolnością do detonacji, rosnącą wraz ze zwiększeniem jego stopnia rozdrobnienia oraz niskimi parametrami detonacyjnymi [1, 2]. Obydwie charakterystyki detonacyjne są zwiększane poprzez dodatek organicznych składników palnych oraz pyłów aluminiowych o różnej strukturze i stopniu rozdrobnienia.

Pierwszym typem amonowo-saletranych materiałów wybuchowych zawierających pył aluminiowy były opatentowane przez R. Escalasa i H. Kasta amonale, które znalazły zastosowanie w niewęglowych zakładach wydobywczych. Następnie pyły aluminiowe w różnej postaci były wykorzystywane w kolejno opracowanych typach górniczych materiałów wybuchowych: saletrolach, materiałach wybuchowych zawiesinowych (MWZ) i emulsyjnych (MWE) oraz ostatnio w MW zawierających jako podstawowy utleniacz stężony wodny roztwór nadtlenu wodoru (MW-HP).

Jednym z podstawowych parametrów MW jest prędkość detonacji, której wartość decyduje o zakresie zastosowania danego materiału wybuchowego. W przypadku aluminizowanych mieszanin wybuchowych zawartość metalicznego dodatku ma decydujący wpływ na prędkość rozchodzenia się procesu detonacji w zainicjowanym ładunku MW. W pracy przedstawiono przegląd danych literaturowych pokazujących zależność prędkości detonacji poszczególnych grup górniczych MW od zawartości pyłu aluminiowego oraz wyniki badań własnych autorów dotyczących wpływu dwóch odmian pyłu aluminiowego na prędkość detonacji MW-HP.

2. Przegląd danych literaturowych

2.1. ANFO (saletrole)

Opracowanie w roku 1943 przez firmę Consolidated Mining and Smelting Corporation metody porowacenie saletry amonowej, było pierwszym krokiem do wprowadzenia w górnictwie nowego typu materiału wybuchowego – ANFO. Następnie firma Cleveland-Cliff Company przeprowadziła odstarzały w skali przemysłowej w kopalniach rud żelaza w Michigan i Masabi z użyciem ANFO. ANFO charakteryzują się praktycznie brakiem wrażliwości na bodźce mechaniczne co było podstawą do wykonania w roku 1958 pierwszych prób mechanicznego załadunku do otworów strzałowych przez Ore Company of Canada i Canadian Industrial Limited. Pozytywne rezultaty badań spowodowały, że ta metoda od początku lat 60. ubiegłego stulecia stała się szeroko stosowana w Stanach Zjednoczonych.

Saletrole mają jednak dwie podstawowe wady: brak wodoodporności oraz niskie parametry detonacyjne, co zawęża ich zakres stosowania do suchych otworów strzałowych i urabiania skał małoźwizłych. Jedną z metod zwiększenia parametrów detonacyjnych jest dodatek do ANFO pyłu aluminiowego [3-6].

W pracy [3] badano wpływ dodatku dwóch typów pyłu aluminiowego: płatkowanego (powierzchnia krycia 4000 cm²/g) i rozpylanego (rozmiar ziaren poniżej 0,15 mm). Stosowano saletrę amonową o chłonności oleju 4%. Saletrole miały gęstości około 0,9 g/cm³. Ładunki detonowano w rurach stalowych 39/57 mm. Wyniki badań zestawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Wpływ zawartości składników na prędkość detonacji saletroli zawierających pył aluminiowy płatkowany [3]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Skład [%]									
- Saletra amonowa	95,5	94,0	92,5	92,5	91,0	89,5	89,5	88,0	86,5
- Olej maszynowy	1,5	3,0	4,5	1,5	3,0	4,5	1,5	3,0	4,5
- Pył aluminiowy płatkowany	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	9,0	9,0	9,0
Prędkość detonacji [m/s]	2170	2480	2320	2430	2630	2700	2650	2730	2570

Tabela 2. Wpływ zawartości składników na prędkość detonacji saletroli zawierających pył aluminiowy rozpylany [3]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Skład [%]									
- Saletra amonowa	95,5	94,0	92,5	92,5	91,0	89,5	89,5	88,0	86,5
- Olej maszynowy	1,5	3,0	4,5	1,5	3,0	4,5	1,5	3,0	4,5
- Pył aluminiowy rozpylany	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	9,0	9,0	9,0
Prędkość detonacji [m/s]	2180	2300	2140	2440	2570	2350	2450	2540	2430

Z danych przedstawionych w tabelach 1 i 2 jednoznacznie wynika, że wyższe prędkości detonacji uzyskano dla saletroli zawierających pył aluminiowy o wyższym rozdrobnieniu – większej powierzchni właściwej. Osiągnięto maksymalną wartość prędkości detonacji 2730 m/s.

Badania kontynuowano w ramach pracy [4]. Stosowano w niej takie same pyły aluminiowe jak w pracy [3] i dwie saletry amonowe, których dystrybutorem była firma Yara Poland Sp. z o.o., o porowatości 18,5% (SA-1) i 9,5% (SA-2). Ładunki detonowano w rurach stalowych 34,2/42/2 mm. Wyniki eksperymentów ilustruje tabela 3

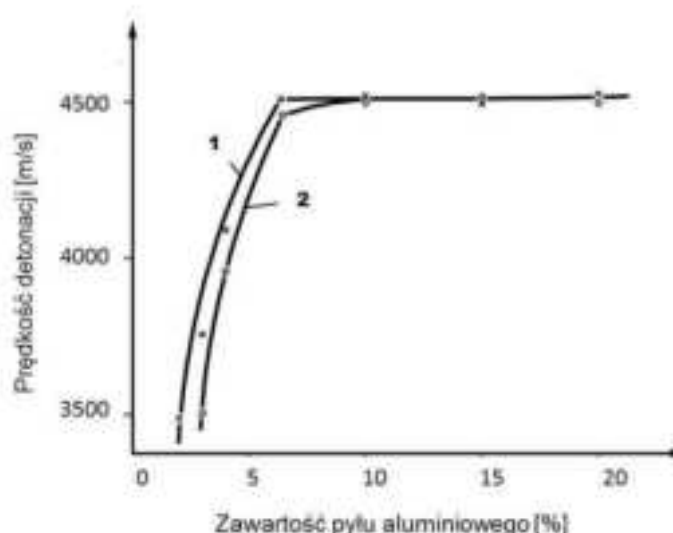
Tabela 3. Składy i prędkości detonacji aluminizowanych saletroli zawierających saletry amonowe o podwyższonej chłonności oleju [4]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Skład [%]										
- Saletra amonowa SA-1	95	-	92	90	-	-	92	90	-	-
- Saletra amonowa SA-2	-	95	-	-	92	90	-	-	92	90
- Pył alumiowy płatkowany	-	-	3	5	3	5	-	-	-	-
- Pył alumiowy rozpylany	-	-	-	-	-	-	3	5	3	5
- Olej	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Prędkość detonacji [m/s]	2970	3500	3200	3200	3580	3600	3060	3190	3520	3500
Gęstość [g/cm ³]	0,90	0,85	0,85	0,85	0,80	0,81	0,85	0,85	0,80	0,83

Przeprowadzone badania wykazały, że przy wysokiej porowatości saletry amonowej ilość ani rodzaj pyłu alumiowego nie mają znaczącego wpływu na mierzone parametry wybuchowe. Osiągnięto znacznie wyższe niż w pracy [3] wartości prędkości detonacji – 3600 m/s.

2.2. Materiały wybuchowe zawieszinowe

Saletrole oprócz takich zalet jak prosta metoda produkcji oraz mała wrażliwość na bodźce mechaniczne, umożliwiającą mechaniczny załadunek otworów strzałowych, mają dwie podstawowe wady, do których należą niskie parametry detonacyjne a szczególnie brak wodoodporności. Dlatego pod koniec lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku rozpoczęto badania w celu uzyskania materiału wybuchowego charakteryzującego się brakiem wymienionych powyżej wad. Efektem eksperymentów było opracowanie przez M.A. Cooka i H.E. Farnama materiałów wybuchowych zawieszinowych (MWZ). MWZ były pierwszym amonowo-saletrzanym materiałem wybuchowym zawierającym technologiczną wodę. Jednym z ich rodzajów były mieszaniny wybuchowe nazwane przez twórców *slurry blasting agent* (SBA), w których jedynym ze stosowanych sensybilizatorów był pył alumiowy płatkowany (MWZ-Al). Na rys. 1 przedstawiono wyniki badań prędkości detonacji MWZ-Al zawierających różne ilości pyłu alumiowego płatkowanego. Pomiary prowadzono w rurach stalowych 36,2/42,4 mm.

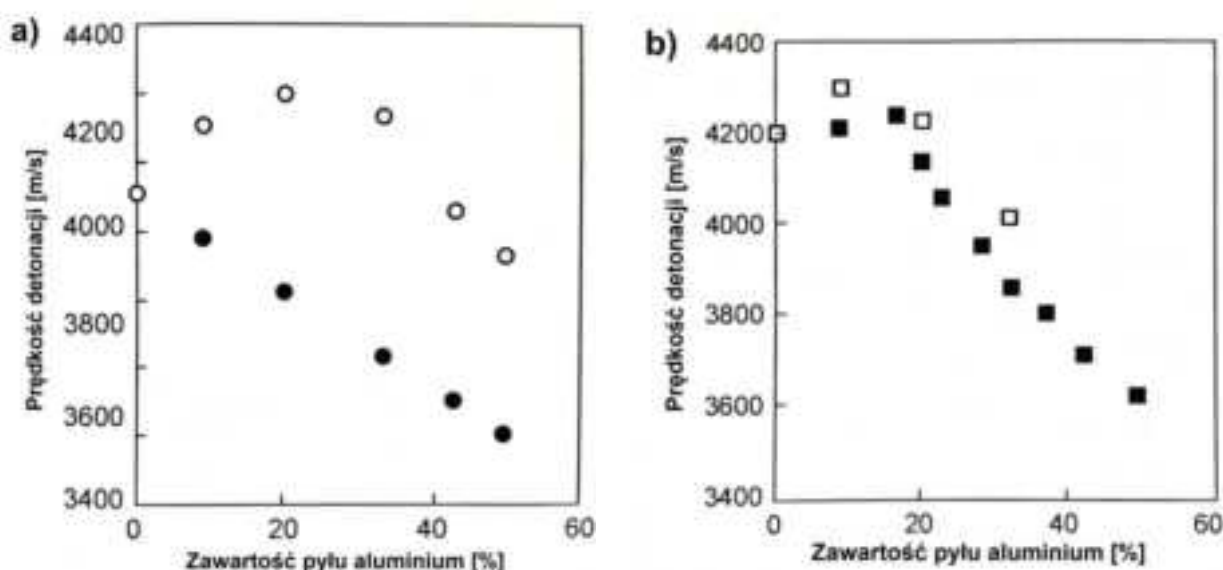


Rys. 1. Zależność prędkości detonacji MWZ-Al od zawartości pyłu alumiowego, stężenie wody: 1 – 20%, 2 – 30%

Jak wynika z danych przedstawionych na rys. 1 prędkości detonacji MWZAl od zawartości pyłu alumiowego są wyższe niż aluminizowanych saletroli. Wynika to między innymi z wyższych gęstości MWZ-Al. Przez pewien okres materiały wybuchowe zawieszinowe były dominującym środkiem strzałowym, aż do opracowania materiałów wybuchowych emulsyjnych.

2.3. Materiały wybuchowe emulsyjne

W okresie apogeum stosowania MWZ F.H. Bluhm uzyskuje patent na materiały wybuchowe emulsyjne (MWE), w których matrycą jest emulsja typu woda w oleju. MWE są kolejnym materiałem wybuchowym zawierającym technologiczną wodę. O ile w MWZ tylko część utleniaczy jest rozpuszczona w wodzie tworząc nasycony roztwór, to w klasycznych MWE całość utleniaczy znajduje się w fazie ciekłej, formując roztwór przesycony. Dzięki czemu uzyskuje się maksymalnie rozwiniętą potencjalną strefę reakcji chemicznej pomiędzy fazą utleniaczy i fazą składników palnych. Podobnie jak w przypadku wcześniej przedstawionych górniczych MW, również w MWE jako składnik modyfikujący parametry detonacyjne i termodynamiczne stosowany jest pył aluminiowy (rys, 2).



Rys. 2. Wpływ reaktywności glinu (a) oraz jego rozdrobnienia (b) na prędkość detonacji MWE: ● – glin inercyjny, ○ – glin reaktywny, □ – rozdrobnienie 5 µm, ■ – rozdrobnienie 30 µm, na podstawie [6]

Jak wynika z danych przedstawionych na rys. 2. Dodatek pyłu aluminiowego powoduje przy jego większych zawartościach (>20%) spadek prędkości detonacji. Szczególnie jest on drastyczny w przypadku założenia do szacowań jego inercyjności chemicznej – rys. 2a. Wyniki pomiarów pokazują, że tylko w przypadku pyłu aluminiowego o mniejszym wymiarze ziaren przy jego zawartości następuje wzrost prędkości detonacji w stosunku do niemetalizowanego MWE (rys. 2b). Może to świadczyć o tym, że metaliczny dodatek o bardzo rozwiniętej powierzchni bierze udział w egzotermicznych reakcjach w strefie detonacji. Należy podkreślić, że bardzo podobny charakter przebiegu mają krzywe dotyczące glinu inercyjnego (rys. 2a) i pyłu aluminiowego o rozdrobnieniu 30 µm (rys. 2b).

Materiały wybuchowe emulsyjne zawierające pył aluminiowy są aktualnie produkowane w Polsce między innymi przez Austin Powder Polska Sp. z o.o. i Nitroerg Sp. z o.o. Parametry MWE-Al znajdujące się kartach informacyjnych wymienionych powyżej producentów zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Właściwości aluminizowanych MWE wytwarzanych przez polskich producentów

Właściwość	Materiał wybuchowy emulsyjny		
	Hydromite 70 AL ¹⁾	Emulex 100AL ¹⁾	Emulinit Strong ²⁾
Forma użytkowa	Luzem		Nabojowany
Gęstość [g/cm ³]	1,05-1,30	0,80-1,20	1,10-1,25
Bilans tlenowy [%]	-3,3	-2,24	-2,40
Objętość produktów gazowych [dm ³ /kg]	910	895	870
Energia właściwa [kJ/kg]	-	760	760
Prędkość detonacji [m/s]	4500	>4800	5500
Zakres stosowania [°C]	5-50	-	-20-+50
Inicjał	Pobudzaczn APB lub nabój MWE	Zapalnik, masa PETN 0,6 g	-
Minimalna średnica otworu strzałowego [mm]	70	36	-

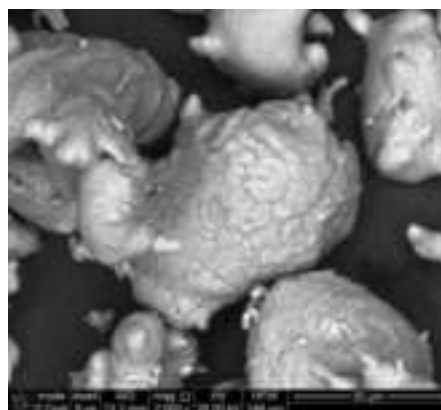
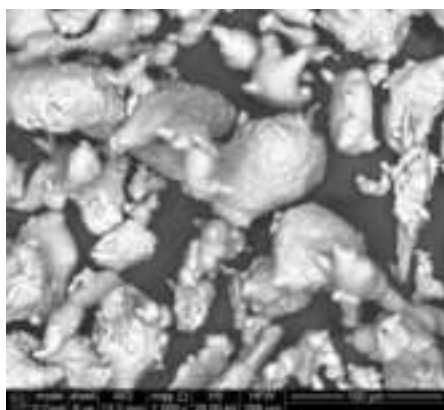
Producent: 1 – Austin Powder Polska Sp. z o.o., 2 – Nitroerg Sp. z o.o.

3. Część doświadczalna

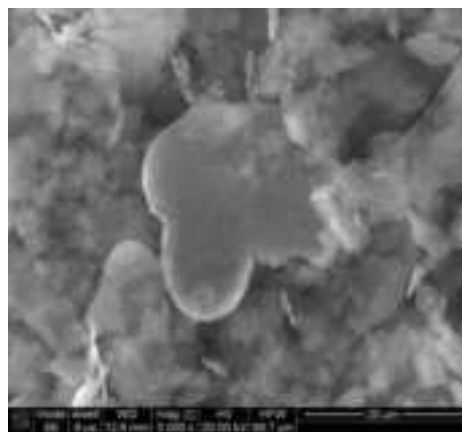
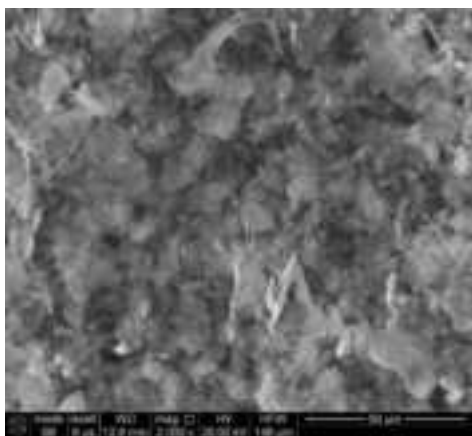
3.1. Charakterystyka użytych surowców i metodyka przygotowania próbek do badań

Badane w pracy mieszaniny wybuchowe są układami kilkoscładnikowymi. Jak inne górnicze zawierają utleniacze (stężony roztwór nadtlenu wodoru i azotan(V) amonu) i składniki palne (gliceryna i guma guar spełniająca również rolę zagęstnika zapobiegającego sedymentacji komponentów stałych). Do przygotowania testowanych mieszanin wybuchowych użyto następujących surowców:

- Nadtlenek wodoru (cz.d.a.) o stężeniu 60% mas produkcji EnvoLab Chemicals, który był rozcieńczany zdemineralizowaną wodą do stężenia 52% mas.
- Azotan(V) amonu (techniczny) produkcji Zakładów Azotowych Puławy.
- Gliceryna 99,5 % o czystości farmaceutycznej produkcji TechlandLab Tarnobrzeg.
- Guma guar SC- 406, produkcji Meypradex.
- Mikrosfery szklane typ K-015, produkcji 3M.
- Pył aluminiowy rozpylany BLS0052:AG45-90/99,7 ALATOMIZED:FU03, wymiar ziaren 45÷90 µm, produkcji Benda-Lutz (rys. 3).
- Aluminium płatkowane BLITZ ALUMINIUM DEPUVAL 3083, średnia wielkość cząstek 12 µm, produkcji Benda-Lutz (rys. 4).



Rys. 3. Zdjęcia SEM pyłu aluminiowego rozpylanego



Rys. 4. Zdjęcia SEM pyłu aluminiowego płatkowanego

W pierwszej fazie przygotowywano matrycę o składzie przedstawionym w tabeli 5. Do tego celu użyto mieszalnika planetarnego typu Drais (rys. 5).

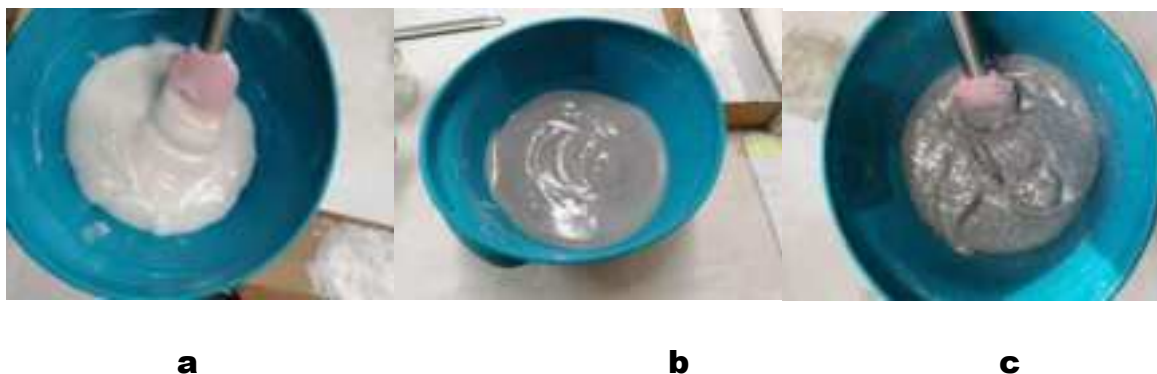
Tabela 5. Skład matrycy

Składnik	Zawartość [%]
Nadtlenek wodoru 52% mas.	73
Azotan(V) amonu	10
Gliceryna	14
Guma guar	3



Rys. 5. Mieszalnik planetarny typu DRAIS

W mieszalniku umieszczano najpierw 52% wodny roztwór nadtlenu wodoru, w którym rozpuszczano w temperaturze otoczenia azotan(V) amonu (przed użyciem surowiec suszono w temp. 60 °C, przez 24 h). Następnie dodawano glicerynę i mączkę guarową. Całość homogenizowano przez ok. 10 min. Do otrzymanej w ten sposób matrycy dozowano odpowiednią ilość pyłu aluminiowego (rozpylanego lub płatkowanego) oraz 1% mas. mikrosfer szklanych. Uzyskaną kompozycję mieszano w mieszalniku planetarnym do równomiernego zdyspersgowania pyłu aluminiowego oraz uczulacza (prowadzono kontrolę za pomocą mikroskopu optycznego). Na zdjęciach przedstawiono kolejno: uczuloną mikrosferami matrycę bazową (rys. 6a), MW-HP z dodatkiem pyłu aluminiowego rozpylanego (rys. 6b) oraz MW-HP z dodatkiem aluminium płatkowanego (rys. 6c).



Rys. 6. Matryca MW-HP z dodatkiem: a – mikrosfer szklanych, b – pyłu aluminiowego rozpylanego, c – pyłu aluminiowego płatkowanego

3.2. Pomiar prędkości detonacji

Do prób przygotowano siedem składów: MW-HP bez dodatku pyłu aluminiowego oraz po trzy zawierające 5% mas., 10% mas. i 15% mas. każdego z testowanych pyłów aluminiowych. Materiały wybuchowo elaborowano do rur propylenowych o długości 250 mm, średnicy wewnętrznej 46,4 mm i grubości ścianki 1,8 mm. W poprzek rur były usytuowane czujniki zwarciove. Centralnie w osi ładunku montowano pobudzac o masie 16 g, wykonany technologią prasowania z flegmatyzowanego oktogenu zawierającego 5% lepiszcza polimerowego. Na kolejnych zdjęciach przedstawiono pustą otoczkę ładunku (rys. 7a), ładunek zaelaborowany ciekłym MW (rys. 7b) oraz gotowy ładunek z pobudzacem (rys. 7c).



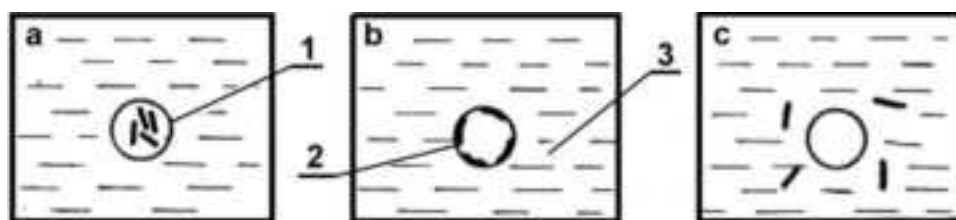
Rys. 7. Kolejne fazy przygotowywania ładunków do pomiaru prędkości detonacji

Ze względu na niską stabilność fizyczną badanych mieszanin wybuchowych, próbki do badań przygotowywano przed samym pomiarem prędkości detonacji. W przypadku każdej mieszaniny pomiary prowadzono dwukrotnie. Składy i gęstości testowanych materiałów wybuchowych oraz uzyskane prędkości detonacji zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wpływ rodzaju i zawartości pyłu aluminiowego na prędkość detonacji MW-HP

Rodzaj pyłu aluminiowego	Zawartość pyłu aluminiowego [%]	Gęstość materiału wybuchowego [g/cm ³]	Prędkość detonacji [m/s]
-	0	1,10	5130
Rozpylany	5	1,13	5170
	10	1,14	5220
	15	1,18	5360
Płatkowany	5	0,99	3870
	10	0,87	3830
	15	0,85	4350

Przeprowadzone badania prędkości detonacji nowej generacji materiałów wybuchowych, jakimi są mieszaniny zawierające jako utleniacz stężony roztwór nadtlenu wodoru wykazały, że mierzony parametr zależy od rodzaju zastosowanego metalicznego dodatku. Badane pyły aluminiowe w różny sposób wpływają na gęstość mieszanin. W przypadku pyłu rozpylanego gęstość rośnie, a pyłu płatkowanego spada. Ma to wpływ na uzyskane wartości prędkości detonacji. MW-HP zawierające pył aluminiowy rozpylany wraz ze wzrostem zawartości metalicznego dodatku mają coraz wyższe prędkości detonacji, oscylujące w wąskim zakresie 5170-5360 m/s. Natomiast dodatek pyłu aluminiowego płatkowanego powoduje gwałtowny spadek wyznaczanego parametru. Zaskakujący jest wynik uzyskany dla zawartości pyłu aluminiowego płatkowanego 15%. Jedynym wytłumaczeniem może być różnica w strukturze ładunku zaobserwowana dla materiałów wybuchowych zawieszinowych uczulanych pyłem aluminiowym płatkowanym (MWZ-Al) – rys .8.



Rys. 8. Skrajne struktury MWZ-Al: 1 – pęcherzyk powietrza, 2 – płatek pyłu aluminiowego, 3 – nasycony roztwór azotanu(V) amonu [8]

W pracy tej wykazano, że na średnicę krytyczną detonacji i prędkość detonacji ma wpływ usytuowanie płatka pyłu aluminiowego w stosunku do pęcherzyka powietrza, który jest razem z nim wprowadzany. Z punktu widzenia parametrów detonacyjnych najbardziej korzystna sytuacja występuje, gdy metaliczne płatki znajdują się wewnątrz pęcherzyka powietrza (rys. 8b). Jednak istnieją pewne różnice pomiędzy MWZ-Al a badanymi w niniejszej pracy MW-HP, ponieważ w przypadku tych drugich obok płatkowanego pyłu aluminiowego występuje dodatkowo inna substancja, której dodatek powoduje uformowanie w wybuchowej mieszaninie pęcherzyków powietrza – szklane mikrosfery. Pęcherzyki gazu zawarte zarówno w szklanych mikrosferach jak i wprowadzane z pyłem aluminiowym płatkowany odgrywają rolę „gorących punktów”. A więc obszarów mających decydujący wpływ na zainicjowanie oraz propagację procesu detonacji. Wyjaśnienie wpływu pyłu aluminiowego płatkowanego na strukturę MW-HP oraz ich parametry detonacyjne wymaga dalszych szczegółowych badań.

Porównując uzyskane wyniki do rezultatów analogicznych rezultatów badań przedstawionych w pracy [9], które dotyczyły MW-HP zawierających bardziej stężony nadtlenek wodoru (60%), można dojść do oczywistego wniosku, że bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na prędkość detonacji MW-HP jest stężenie wodnego roztworu nadtlenu wodoru. Im jest większe, tym wyższa jest prędkość detonacji, ponieważ woda odgrywa rolę składnika teksturotwórczego, będąc jednocześnie balastem energetycznym.

Podsumowanie

Pył aluminiowy jest bardzo istotnym składnikiem zarówno górniczych jak i stosowanych w technice wojskowej materiałów wybuchowych. Zmieniając jego rozdrobnienie i zawartość w wybuchowej mieszaninie można regulować prędkość detonacji. Również następuje zmiana parametrów termodynamicznych: objętość właściwa gazów powybuchowych oraz ciepło i temperatura wybuchu. Są to podstawowe parametry, które należy uwzględniać przy projektowaniu siatki strzałowej.

Literatura

- [1] Zygmunt B., Buczkowski D., Maranda A., *Materiały wybuchowe trzeciej generacji*, Wyd. Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa 2008.
- [2] Maranda A., *Przemysłowe materiały wybuchowe*, Wyd. Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa 2010.
- [3] Maranda A., Wiśniewski W., *Badanie wpływu dodatku pyłu aluminiowego na parametry detonacyjne saletroli zawierających saletrę amonową o niskiej porowatości*, Górnictwo Odkrywkowe, 1999, 41(4-5), 123-13.
- [4] Gałęzowski D., Maranda A., Nowaczewski J., Papliński A., *Badanie parametrów detonacyjnych aluminizowanych saletroli zawierających saletrę amonową o o wysokiej chłonności oleju*, Górnictwo Odkrywkowe, 2000, 42(5-6), 115-126.
- [5] Sitkiewicz Wołodko R., Maranda A., Paszula J.M., *Modification of ANFO detonation parameters by addition of ground ammonium nitrate(V) and aluminium powder*, European Journal of Energetic Materials, 2019, 16, 1, 122-134.
- [6] Kato Y., Takahashi K., Tori A., Kurokawa K., Hattori K., *Underwater explosion of aluminized emulsion explosives*, Proc. 30th International Annual Conference of ICT, Energetic Materials, Modelling and Phenomena. Experimental Characterization. Environmental Engineering. Karlsruhe June 29-July 2, 1999, 7-1-7-10.
- [7] Зыгмунт Б., Влодарчык Э., Маранда А., Новачевски Е., Постек М., *Детонационные свойства взрывчатых веществ типа взвеси с разной текстурой*, Физика Горения Взрыва 1982, 18, 3, 112-117.
- [8] Giercuskiewicz A., Paszula J., Maranda A., Nikolczuk K., *Badanie wpływu pyłu aluminiowego na wybrane parametry detonacyjne górniczych materiałów wybuchowych zawierających nadtlenu wodoru*, Conference Proc. 31th Conference Blasting Techniques 2019, Kongresowe centrum ACADEMIA Stara Lesna, 22-24 may 2019, 97-106.

Technologické inovácie pri vŕtacích a trhacích prácach. Technological innovations in drilling and blasting.

Viliam Bauer

Technická Univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav zemských zdrojov, Letná 9, 04200 Košice

Abstrakt

Digitálna transformácia prebiehajúca v intenciách požiadaviek priemyslu 4.0 zasahuje už aj do ťažobného a spracovateľského priemyslu. Do ťažobnej výroby sú postupne implementované inteligentné riešenia a stále vo väčšej miere sa objavujú progresívne technologické a procesné inovácie. Týka sa to aj technologických procesov vŕtania a rozpojovania hornín trhacími prácami, s využitím výbuchovej energie priemyselných trhavín. V snahe vytvoriť komplexný automatizovaný systém procesného vŕtania a výbuchovej technológie, sa výskum sústreďuje na hľadanie inteligentného prepojenia prvkov automatizácie, informačných technológií, digitalizácie, umelej inteligencie, robotických systémov a integrovaných digitálnych technológií.

Abstract

The digital transformation taking place in accordance with the requirements of Industry 4.0 is already affecting the mining and processing industry. Intelligent solutions are gradually being implemented in mining production, and progressive technological and process innovations are appearing more and more. It also applies to the technological processes of drilling and disconnecting rocks by blasting, using the explosive energy of industrial explosives. In an effort to create a complex automated system of process drilling and blasting technology, research is focused on finding an intelligent connection of elements of automation, information technology, digitization, artificial intelligence, robotic systems and integrated digital technologies.

Úvod

Digitálna transformácia prebieha v súčasnosti vo viacerých priemyselných odvetviach a zasahuje aj ťažobný priemysel. Príklady zo zahraničnej ťažobnej praxe potvrdzujú rastúci trend zavádzania inovácií, predovšetkým pri vývoji a výrobe banskej techniky a pri realizácii technologických procesov ťažby nerastov a surovín. Technické a technologické inovačné zmeny sú implementované do všetkých ťažobných procesov, pričom intenzívne zasahujú aj procesy rozpojovania hornín vŕtacími a trhacími prácami. Výsledkom inovačného procesu je používanie progresívnej, bezpečnej a výkonnej vŕtacej techniky, nových typov bezpečných moderných výbušnín, nových typov rozbušiek a prostriedkov trhacej techniky. Nové inteligentné riešenia a technologické inovácie sú postupne implementované aj do ťažobnej výroby na Slovensku, a to tak pri hlbínnej ako aj pri povrchovej ťažbe nerastov. Zvlášť pri výrobe kameniva sa začali vo väčšej miere uplatňovať inovatívne a inteligentné riešenia a

nastúpila masívna automatizácia vykonávaných technologických procesov. Na Slovensku etablované nadnárodné ťažobné spoločnosti, ale rovnako aj naši ťažiar, prevádzkujúci kapacitne najvýkonnejšie kameňolomy a magnezitovú veľkobaňu v Jelšave, prispievajú podľa svojich možností k digitálnej transformácii ťažobného a spracovateľského priemyslu a to v intenciách požiadaviek priemyslu 4.0, predstavujúceho tzv. štvrtú priemyselnú revolúciu. Neoddeliteľnou súčasťou priemyslu 4.0 je digitálna transformácia technologických procesov a banských systémov, ktorá smeruje k vytvoreniu prototypu „inteligentnej banskej prevádzky“.

2. Aktivity podporujúce procesy digitálnej transformácie

Potreba technologických inovácií a očakávanej digitálnej transformácie ťažobného priemyslu je výsledkom neprestajného celosvetového nárastu dopytu po nerastoch a surovinách. Významný vplyv na inovácie vo výskume a vývoji nových technológií majú hlavne štáty s vyspelým ťažobným a spracovateľským priemyslom – Kanada, Austrália, USA, JAR, Rusko, Čína, Čile, zo štátov Európskej únie je možné menovať Švédsko, Fínsko a Nórsko. Práve tieto štáty určujú inovačné trendy a rozsah praktického zavádzania inovácií, nevyhnutných pre proces digitálnej transformácie celého ťažobného a spracovateľského priemyslu, potrebnej pre realizáciu systému plne digitalizovanej ťažobnej prevádzky. Jej konečným cieľom je komplexná integrácia všetkých dostupných inovačných technológií, už realizovaných aplikácií automatizovaných systémov riadenia, využívanie informačných technológií, implementácia fyzikálnych kybernetických systémov a umelej inteligencie. Dosiahnutie tohto cieľa predpokladá efektívnu kontrolu informačných tokov v systémoch riadenia banskej výroby a zabezpečovania ťažobných a spracovateľských technologických procesov.

Informácie zamerané na oblasť inovácií

V sektore ťažby a úpravy surovín, geológia boli v posledných desiatich rokoch úspešne zavedené viaceré významné technologické zmeny a revolučné inovácie, ktoré zvýšili technickú úroveň prevádzkovaných kapacít, zdokonalili existujúci systém integrovanej automatizácie a vytvorili priestor pre postupnú komplexnú digitálnu transformáciu jednotlivých ťažobných a úpravníckych procesov. Všetky sektorové inovácie sú primárne nasmerované do digitálnej transformácie technologických ťažobných a úpravníckych procesov a dotýkajú sa mnohých oblastí vedy a techniky. Súčasnému svetovému inovatívnemu ťažobnému a úpravníckemu priemyslu, dominuje viac ako stovka technologických inovácií, ktoré sú primárne orientované na:

- vyhľadávanie ložísk nerastov a identifikáciu kvality a množstva zásob nerastov,
- zvýšenie výkonov v geologickom prieskume, ťažbe a pri získavaní surovín,
- optimalizáciu dopravných, energetických a komunikačných systémov,
- racionalizáciu výťažnosti pri spracovaní rúd,
- bezpečnosť práce a bezpečnostné systémy ťažobnej prevádzky,
- *technologické procesy vŕtania, nabíjania výbušnín, vystužovania a zakladania,*
- vývoj autonómnych, diaľkovo riadených nakladačích a dopravných mechanizmov,

- kontrolné procesy súvisiace so zatápaním a likvidáciou priestorov po ukončení ťažobnej činnosti.

Masívna podpora zavádzania progresívnej techniky, využívanie moderných inovačných prvkov a uplatnenie informačných, komunikačných a robotických technológií takmer vo všetkých sektorových technológiách, zásadným spôsobom zmenili technický profil celého ťažobného sektora a posilnili jeho konkurenčnú schopnosť v ekonomickej súťaži, vrátane dispozície implementovať, organizovať a aktívne riadiť ľudské zdroje zapojené do procesov digitálnej transformácie.

Digitalizácia procesov pre technológie priemyslu 4.0

Na digitálnej transformácii (DT) ťažobného a spracovateľského priemyslu sa aktuálne podieľajú viaceré globálne ťažobné spoločnosti, ktoré súčasne s transformačným procesom, kontinuálne prehodnocujú jej výhody a potenciálne prínosy pre celý sektor. Podľa posledných odborných štúdií vypracovaných významnými svetovými organizáciami, môže digitálna transformácia vo svetovom ťažobnom a spracovateľskom priemysle, priniesť v období rokov 2018–2025 odhadom 190 miliárd USD, čo by predstavovalo cca 9% z celkového zisku všetkých priemyslových odvetví. Aj z toho dôvodu je ťažobný priemysel zaradený do skupiny sektorov s veľkým potenciálom zvyšovania výkonov a racionálneho využívania ľudských zdrojov. Napriek faktu, že riadiaci pracovníci vo veľkých ťažobných globálnych spoločnostiach podporujú interné iniciatívy spojené s digitálnou transformáciou ťažobných procesov, zostáva úroveň komplexnej digitalizácie sektora ťažby a úpravy, v porovnaní s inými priemyselnými odvetviami, veľmi nízka a je stále len v počiatočných štádiách. Globálne ťažobné spoločnosti sa však snažia stále vo väčšom rozsahu implementovať do svojich výrobných prevádzok digitálne technológie od renomovaných, na ťažbu nerastov a spracovanie surovín bansky špecializovaných dodávateľov, ktorí vyvíjajú integrované produkty alebo služby v oblasti technológie/priemyslu 4.0, ako je diaľkové ovládanie mechanizmov, automatizácia systémov riadenia, inteligentné snímače, modelovanie, animácia, dátové analýzy a iné.

Napriek tomu sú procesy spojené s digitálnou transformáciou ťažby nerastov vo svete silne preferované a podporované predovšetkým iniciatívami veľkých nadnárodných ťažobných spoločností, ktoré sú priamo zainteresované na digitalizácii procesov ťažby so zámerom vytvoriť komplexne automatizovaný a integrovaný systém ťažobnej prevádzky s viacúrovňovým riadením. K popredným ťažobným spoločnostiam podporujúcimi digitálnu transformáciu patria napr. spoločnosť Rio Tinto, druhý najväčší výrobca železnej rudy na svete, ktorá začala používať Komatsu AHS, prvý komerčný systém autonómnej ťažby na svete, pri ťažbe železnej rudy v Austrálii už v roku 2008.

V súčasnosti vyvíja projekt AutoHaul, prvej úplne autonómnej dopravy rudy na veľké vzdialenosti. Podobne aj druhá najväčšia ťažobná spoločnosť na svete BHP Billiton, vyvíja projekt autonómnych banských automobilov a už v roku 2015 nasadila do ťažobnej prevádzky 45 plne autonómnych prepravných nakladačov spoločnosti Caterpillar. Známa európska spoločnosť Atlas Copco sa orientuje na projekt spojený s vývojom autonómnej prevádzky ťažby vybavenej robotickými vrtnými súpravami. Projekt vývoja a výroby robotických nakladačov vybavených riadiacim systémom Automine® Tele-Remote je riešený vo firme Sandvik, vývojová spoločnosť Volvo Construction Equipment vylepšuje koncept novej generácie elektrického nakladača; Estónska spoločnosť Milrem Robotics je vo svojom projekte zameraná na vývoj bezpilotnej plne robotickej technológie pre hlbinnú ťažbu.

Výskumná spoločnosť ABB pracuje na vývoji inteligentného robota pre nabíjanie výbušnín a podobne spoločnosť DOK-ING Innovative Solutions sa sústreďuje na vývoj robotických technológií, implementovaných na ťažobných strojoch v povrchových a hlbinných prevádzkach.

Na vývoji revolučných inovácií pre ťažobný sektor, majú podiel aj viaceré vedecko-výskumné a vzdelávacie inštitúcie.

Napríklad na Technickej univerzite vo Freibergu (Bergakademie Freiberg) pokračuje vývoj teleoperačného robotického zariadenia vo funkcii asistenta pri hlbinej ťažbe nerastov. Rovnako na Wroclavskej univerzite a technológií (WUT), v spolupráci s ťažobnou a spracovateľskou spoločnosťou KGHM PolskaMiedz, pokračuje vývoj monitorovacieho systému pre vŕtacie stroje a nabíjacie mechanizmy; na Colorado School of Mines (Kanada) sa testujú a vyvíjajú nové metódy vzájomnej komunikácie ľudí a robotov pri riadení ťažobných prevádzok v banskom prostredí. Ďalší príklad vývoja inovatívnej technológie je projekt UNEXMIN (Underwater Explorer for Flooded Mines), t.j. „podvodný prieskumník“ určený pre zatopené bane, ktorý je realizovaný v španielskom výskumnom centre La Palma, pričom technológia bola odskúšaná v zatopených baniach v Kanade, Fínsku a Slovinsku.

3. Inteligentná baňa a lom s využitím 5G systému

Inteligentná baňa a inteligentný lom je zámerom ťažobného sektora budúcnosti, ktorý predstavuje v oblasti digitálnej transformácie, komplexný automatizovaný systém ťažobnej prevádzky, vytvorený prvkami digitálnych technológií, pomocou ktorých je možné automatizovanými metódami, s využitím modelových techník, virtuálnej reality a interpretovaním trojdimenzionálnych modelov navrhovať, projektovať a plánovať hlbinné bane a povrchové lomy. Digitalizácia využíva pri týchto činnostiach a ťažobných operáciách digitálne nástroje a postupy, ktoré sú navzájom inteligentne prepojené, takže sa stávajú katalyzátorom pre tvorbu „inteligentnejších“ technologických procesov pri viacúrovňovom riadení ťažby nerastov a získavaní surovín. Digitálna transformácia umožňuje komplexnú digitalizáciu ťažobných procesov, pričom využíva automatizáciu, informačné technológie, umelú inteligenciu, ako aj integráciu digitálnych technológií so snahou vytvoriť digitalizovaný systém inteligentnej bane alebo lomu (obr.1). Pre vytvorenie inteligentného systému bane alebo lomu sú potrebné nasledovné, v súčasnosti už existujúce technológie a postupy:

- snímanie údajov zo zariadení zavesených na dronoch, ktoré pracujú na princípe vysielania signálov využívajúc súradnice GPS, pomáhajú identifikovať a lokalizovať dobývací priestor zo získaných údajov 3D diaľkového snímania (v kombinácii s terénnym snímaním), ktoré sú v reálnom čase analyzované a integrované s využitím softvéru pre geografický informačný systém (GIS);

- plne integrovaná automatizácia technologických procesov, podporená počítačovým softvérom určeného pre plne programovateľné vŕtacie, ťažobné a nakladacie mechanizmy, ako aj veľkokapacitné nákladné dopravné automobily, ktorých jednotlivé pracovné operácie sú kontrolované, monitorované, riadené a ovládané pomocou diaľkového ovládača, a to z bezpečného operátorského miesta alebo z kabíny operátora, ktorá je napojená na centrálnu riadiacu stanicu mimo ťažobnej prevádzky;

- systémy komplexnej integrovanej automatizácie, ktoré využívajú diaľkovo ovládané plne automatizované, plne robotické a plne autonómne procesne riadené zariadenia a strojné technológie, ku ktorým patria predovšetkým nasledovné :

- robotický nízkoprofilový nakladač s teleradiacim rádiovým diaľkovým systémom, teleoperačným kontrolným systémom a video systémom, umožňujúci diaľkové ovládanie mechanizmu v priestore alebo z bezpečnostnej kabíny na povrchu;
- diaľkovo ovládaný nakladač so zabudovaným inteligentným teleoperačným a automatizačným systémom, ktorý je ovládaný jedným operátorom alebo v prípade potreby aj viacerých nakladačov a viacerými operátormi;
- diaľkovo ovládané autonómne sa pohybujúce robotické ťažobné a nakladacie stroje (po vopred naprogramovaných trasách), pričom samotná manipulácia a ovládanie lyžice nakladača sa vykonáva joystickom zo vzdialeného operátorského miesta, situovaného aj mimo ťažobnej prevádzky;
- automatizované a diaľkovo ovládané vŕtanie pomocou vŕtacej súpravy vybavenej bezdrôtovým sieťovým pripojením a operátorskou stanicou na mobilnej platforme, pri ktorej sa video a dátová komunikácia v reálnom čase, vrátane všetkých ovládacích prvkov vŕtania a stavu zariadenia, nepretržite zobrazuje pomocou diaľkovo ovládanej kamery v grafike na monitore v operátorskom centre;
- robotické a automatizované technológie nabíjania vývrtov výbušnami, pri ktorých sa využíva inteligentný autonómny robot pre diaľkové ovládanie procesu nabíjania výbušnín, ktorý dokáže pomocou snímačov automaticky lokalizovať vývrty a naplniť tieto vývrty výbušnami a rozbuškami bez prítomnosti človeka;



Obr. 1 Riadenie obsluhy a pohyb mechanizmov v inteligentnej bani využívajúcej 5G sieť

4. Digitálna transformácia procesov vŕtania a rozpojovania

Procesy digitalizácie technologických procesov vŕtanie a rozpojovania hornín trhacími prácami, s využitím výbuchovej energie priemyselných trhavín, v posledných desiatich

rokoch veľmi pokročili. Snahou výrobcov je vytvoriť komplexný automatizovaný systém procesného vŕtania vývrtov a procesu rozpojenia horniny výbuchovou technológiou. Výskum sa sústreďuje na hľadanie inteligentného prepojenia prvkov automatizácie, informačných technológií, digitalizácie, umelej inteligencie, robotických systémov a integrovaných digitálnych technológií. Pri tvorbe inteligentných riešení v oblasti vŕtacích a trhacích prác sa už dnes využívajú existujúce a technické prístupné inovačné technológie.

Patria k nim napríklad vysielacie a prijímacie zariadenia signálov cez GPS súradnice, ktoré sú zavesené na dronoch a umožňujú lokalizáciu dobývacieho priestoru a lomovej steny (napr. pre zameranie kubatúry pred a po ťažobnom odstrele), pomocou 3D údajov získaných z diaľkového snímania v kombinácii s terénnym snímkovaním, ktoré sú analyzované a integrované prepojené na softvér geografického informačného systému (GIS). Do identickej progresívnej skupiny zariadení patria tiež vŕtacie mechanizmy, ktoré sú počítačovým softvérom plne programovateľné, pričom sú ich jednotlivé pracovné operácie kontrolované, monitorované, riadené a ovládané pomocou diaľkového ovládania z bezpečného operátorského miesta alebo z kabíny operátora, ktorá je napojená na centrálnu riadiacu stanicu mimo ťažobnej prevádzky. Zaraďujeme sem aj systémy komplexnej integrovanej automatizácie, ktoré využívajú diaľkovo ovládané plne automatizované, plne robotické, plne autonómne a procesne riadené zariadenia a strojné technológie. Pre proces vŕtania sú v súčasnosti k dispozícii plne automatizované a diaľkovo ovládané vŕtacie súpravy, ktoré sú napr. vybavené bezdrôtovým sieťovým pripojením a operátorskou stanicou na mobilnej platforme, pri ktorej video a dátová komunikácia prebieha v reálnom čase pomocou diaľkovo ovládanej kamery v grafickom zázname na monitore v operátorskom centre manažérskeho riadenia celého procesu. Všetky ovládacie prvky vŕtania a parametre technického a výkonového stavu vŕtacej súpravy sú pritom zobrazované simultánne. Pre súčasný technologicky vyspelý ťažobný priemysel sú už testované technické zariadenia s robotickými a automatizovanými procesmi pre technológiu nabíjania vývrtov výbušnami. Pri týchto nabíjaciach zariadeniach sa využíva inteligentný autonómny robot pre diaľkové ovládanie procesu nabíjania výbušnín, ktorý dokáže pomocou snímačov automaticky lokalizovať vývrty a naplniť tieto vývrty výbušnami a rozbuškami bez prítomnosti človeka.

Automatizácia vŕtacích a trhacích prác

V oblasti automatizácie technologického procesu vŕtania sú moderné inovácie budúcnosti orientované na programovateľné vŕtacie súpravy a vrtné vozy, ktoré vykonávajú plánované vŕtanie podľa technicky spracovanej a vopred naprogramovanej vŕtacej schémy. Realizácia výkonu vŕtacích prác je v súčasnosti ešte stále zabezpečovaná odbornými pracovníkmi, pričom nie možné úplné obmedzenie ich prítomnosti na pracoviskách vŕtania. Avšak existuje už veľmi intenzívny vývoj plne robotických vŕtacích súprav určených pre bane a tunely, ktoré sú riadené a ovládané z centra riadenia na povrchu. Ako už bolo spomenuté vyššie renomovaní výrobcovia vŕtacej techniky vyvíjajú a testujú tieto zariadenia so zámerom, implementovať ich do pripravovaného systému inteligentnej ťažobnej prevádzky. Takéto testy vŕtacej súpravy DD211L-V vykonáva napr. firma Sandvik, ktorá využíva vo svojej konštrukcii mechanizmu inteligentný riadiaci systém Automine® Tele-Remote, ktorý umožňuje ovládať proces vŕtania z bezpečnej vzdialenosti bez prítomnosti operátora v kabíne vŕtacej súpravy. Systém na diaľku riadeného vŕtania predstavuje modernú a výkonnú alternatívu vhodnú pre komplikované a nebezpečné pracovné podmienky (obr.2). Automatizovaný a z bezpečnej vzdialenosti ovládaný proces vŕtania môže spoľahlivo zaistiť

bezpečnosť pracovníkov na vŕtaní, zvýšiť efektivitu vŕtacích prác a tiež optimalizovať ťažobný cyklus.



Obr.2 Všestranná nízkoprofilová vŕtacia súprava Sandvik DD211L-V s jedným viacúčelovým výložníkovým ramenom a teleskopickým posunom

Diaľkovo ovládané vŕtanie pozostáva z ľahko inštalovateľnej operátorskej stanice na rade mobilných platforiem pripojených k bezdrôtovej sieti vŕtnej súpravy.

Medzi operátorom a vŕtacím mechanizmom prebieha videová a dátová komunikácia v reálnom čase, ale aj kontrolný proces všetkých ovládacích prvkov a prevádzkového technického stavu vŕtania, ktoré sa nepretržite zobrazujú na monitore nainštalovanom v operátorskom riadiacom centre pomocou diaľkovo ovládanej kamery. Výhody inovatívneho autonómneho vŕtania od spoločnosti Sandvik sú nasledovné:

- vysoká presnosť vŕtania je zabezpečená vysoko presným zavedením vŕtacej tyče do horniny na základe digitálnych plánov vŕtania a navigácie podľa zadaných súradníc načítaných do systému;
- optimalizácia vŕtania umožňuje optimálny koordinovaný pohyb vŕtacích ramien súpravy a skrátenie času cyklu vŕtania;
- autonómna navigácia vŕtacích ramien sa vykonáva pomocou špeciálnej platformy *Mobius Path Planner*, ktorá umožňuje tele-operačnú, poloautonómnú alebo plne autonómnú navigáciu vŕtacích ramien;
- koordinované vŕtanie vývrtov a nabíjania trhavín;
- minimalizovanie rizika prašnosti, vibrácií a hlučnosti pre operátorov vŕtacej súpravy;
- eliminácia rizikových podmienok vŕtania a bezpečná práca operátorov.
- zjednodušenie prípravy odstrelu, zlepšenie fragmentácie rozvalu, šetrenie nákladov na údržbu stroja.

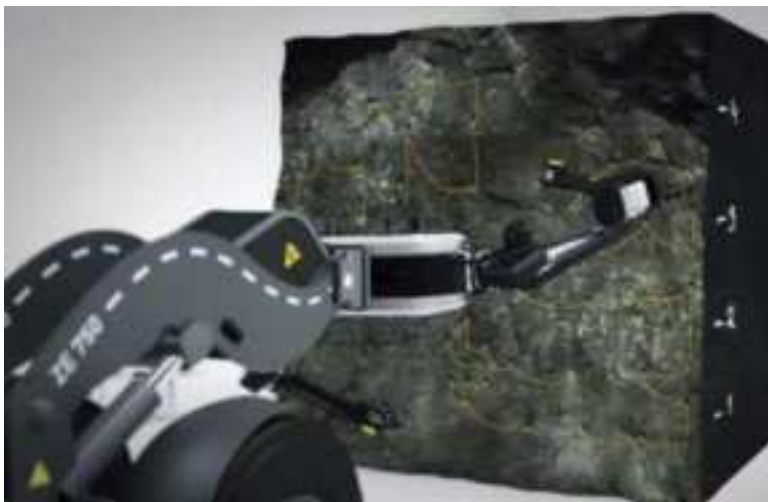
Zavádzanie automatizácie a informačných technológií do procesu vŕtania znamená dosiahnutie určitej úrovne autonómie a integrácie technológie vŕtania smerom k úplnej automatizácii činnosti vŕtacej súpravy, aj s využitím modulárnych monitorovacích systémov

[illegible]

Základným prvkom monitorovacieho systému vŕtania je panel operátora, ktorý je vybavený špeciálnym softvérom (riadi proces vŕtania) a integrovaným portom USB, umožňujúcim prenos snímaných údajov pre správne určenie polohy vŕtacej súpravy. Tento softvér umožňuje operátorom vytvárať 3D návrhy odstrelův a ich nahrávanie pomocou jednotky USB flash.

Súčasne s testovaním autonómneho vŕtania pomocou vŕtacích súprav sú testované aj zariadenia pre nabíjanie výbušnín. Úspešný test robotickej technológie s využitím automatizácie, pre doteraz ešte stále manuálne vykonávaný technologický proces plnenia vývrtov výbušnínami (nabíjanie náloží), bol vykonaný spoločnosťou ABB vo Švédsku. Autonómny robot na diaľkové nabíjanie od ABB automaticky lokalizuje vývrty a plní ich výbušnínami a rozbuškami bez prítomnosti ľudí (obr.4 a obr.5) Tento inteligentný robot predstavuje revolučnú novú technológiu a inovatívne riešenie pre ťažobný priemysel a pre razenie tunelových rúr.





Obr.5 Robotické nabíjanie náloží trhaviny do vývrtov

Robotické nabíjacie zariadenie pre plnenie vývrtov výbušnami na čelbe razeného tunela je semi-autonómnou technológiou, ktorá je nasmerovaná k autonómnej vízii vytvorenia inteligentnej bane, resp. ťažobnej prevádzky budúcnosti. Spoločnosť ABB testuje aj v súčasnosti technológie pre robotické a automatizované nabíjanie vývrtov výbušnami pre hlbinnú a povrchovú ťažobnú prevádzku a vyvíja inteligentné robotické zariadenie pre nabíjanie výbušnín.

Záver

Prienik inovačných technológií do ťažobného sektora vo svete je evidentný, pričom je pravdepodobné, že aj ťažobný priemysel na Slovensku, ktorý má charakter „nadnárodného“, čo dosvedčuje prítomnosť nadnárodných ťažobných spoločností ako sú Eurovia, Carmeus, Strabag a iné, sa budú snažiť aj v podmienkach nášho ťažobného sektora implementovať vyššie uvedené inovácie a zavádzať autonómne vŕtacie a nabíjacie zariadenia aj v našich prevádzkových podmienkach, hlavne v oblasti povrchovej ťažby nerastov.

Literatúra

1. Bauer,V.: Prostriedky vŕtacej a trhacej techniky. Equilibria Košice,2014. 170 s. ISBN: 978-80-8143-147-0.
2. Németh,I., Bauer,V.: Rozvoj ľudských zdrojov pre ťažobný sektor Slovenska. Trexima Bratislava, 2022.
3. Bauer,V.: Ťažba nerastov má smart riešenia. Hospodárske noviny, firmy a financie, Bratislava, november 2021.

Vplyv kvality výbušnín a vŕtacích prác na životné prostredie.

Impact of the quality of explosives and drilling on the environment.

V. Bauer ¹, J. Lokaj ², E. Jakubček ³

¹ Technická Univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav zemných zdrojov, Letná 9, 04200 Košice

² Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická Univerzita, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Materiálovotechnologická fakulta, Slovenská technická Univerzita, Pavlínska 16, 917 24 Trnava

³ Holubia 13, 900 42 Dunajská Lužná

Abstrakt

Porovnanie vybraných funkčných parametrov rôznych typov priemyselných trhavín, používaných pri trhacích prácach na povrchu a v podzemí. Pri jednotlivých druhoch výbušnín sú uvedené spôsoby manipulácie, postupy pri skladovaní a systémy prepravy výbušnín na miesto ich použitia. Súčasne sú posúdené konkrétne typy vŕtacej techniky a to hlavne z pohľadu efektívnosti vŕtania a kvality prevedenia vŕtacích prác. Spolu s tým sú prehodnotené technické možnosti eliminácie negatívnych účinkov vŕtacích a trhacích prác, ktoré predstavujú neželanú environmentálnu záťaž v miestach vykonávania ťažobných odstrelov.

Abstract

Comparison of selected the both technical and functional parameters of different types of industrial explosives, used in surface and underground blasting. For individual types of explosives, methods of handling, storage procedures and systems for transporting explosives to the place of their use are listed. At the same time, specific types of drilling technology are assessed, mainly from the point of view of drilling efficiency and the quality of the execution of drilling works. Along with this, the technical possibilities of eliminating the negative effects of drilling and blasting, which represent an unwanted environmental burden in the places where mining blasting is carried out, are evaluated.

Úvod

Technologické procesy výroby výbušnín a výbušných predmetov, ako aj činnosti spojené so skladovaním, manipuláciou a používaním výbušnín pri výkone trhacích prác, výrazne ovplyvňujú pracovné a životné prostredie. Pre pracovníkov vykonávajúcich vyššie uvedené činnosti je záväzná platná legislatíva a bezpečnostné predpisy, súvisiace s bezpečnosťou práce a ochranou zdravia pri práci s jednotlivými chemickými faktormi, medzi ktoré sú zaradené aj výbušniny a výbušné predmety. Na tieto látky sa vzťahuje legislatívne Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady ES č. 1272/2008 (CLP) a (ES) č. v platnom znení a Zákon č. 67/2010 Z. z. o podmienkach uvedenia chemických látok a chemických zmesí na trh a o zmene a doplnení niektorých predpisov, sú výbušné látky a výbušné predmety určené ako nebezpečné chemické látky /NCHL/ a nebezpečné chemické zmesi, priamo ohrozujúce život, zdravie ľudí a životné prostredie.

Podľa Nariadenia vlády SR (NV SR) č. 355/2006 Z.z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci sú zaradené pracovné činnosti, pri ktorých sú zamestnanci, alebo by mohli byť, exponovaní nebezpečným chemickým faktorom na príslušnom pracovisku. Predmetom a cieľom posúdenia rizík v zmysle NV je identifikovanie a hodnotenie zdravotných rizík vyplývajúcich z chemických faktorov vznikajúcich na pracoviskách, kde s nimi prichádzajú do kontaktu

zamestnanci pri vyššie uvedených činnostiach. Spoločnosť musí následne spracovať plán riadenia tohto rizika s cieľom znížiť ho na najnižšiu možnú mieru pre zdravie ľudí a životné prostredie.

1. Definície pojmov z NV SR č. 355/2006Z.z

Nebezpečné chemické látky a nebezpečné chemické zmesi pre ľudí sú látky a prípravky, ktoré môžu spôsobiť smrť, krátkodobé, dlhotrvajúce alebo opakujúce sa poškodenie zdravia, ak sú vdychované, požitá alebo absorbované pokožkou.

Chemický faktor je akýkoľvek chemický prvok alebo zlúčenina, ktoré môžu byť súčasťou zmesi, vyskytujú sa v prírodnom stave alebo sú vyrobené, použité alebo uvoľnené, pri akejkoľvek činnosti, vrátane vzniknutého odpadu bez ohľadu na to, či sú alebo nie sú vyrobené zámerne alebo či sú alebo nie sú uvedené na trh.

Nebezpečný chemický faktor je

- akýkoľvek chemický faktor, ktorý spĺňa kritériá klasifikácie ako nebezpečná chemická látka alebo nebezpečný chemický prípravok bez ohľadu na to, či je alebo nie je tento faktor klasifikovaný podľa tohto predpisu, okrem faktorov, ktoré spĺňajú iba kritériá klasifikácie ako nebezpečné pre životné prostredie,
- akýkoľvek chemický faktor, ktorý nespĺňa kritériá klasifikácie ako nebezpečná chemická látka alebo nebezpečný chemický prípravok, ale ktorý môže pre svoje fyzikálno-chemické, chemické alebo toxikologické vlastnosti a spôsob použitia alebo výskytu na pracovisku predstavovať riziko pre zdravie a bezpečnosť zamestnancov, vrátane chemického faktora, pre ktorý sa ustanovuje najvyššie prípustný expozičný limit.

Činnosť súvisiaca s nebezpečnými chemickými faktormi je akákoľvek práca, pri ktorej sa používajú alebo sa majú používať nebezpečné chemické faktory pri akomkoľvek postupe, vrátane výroby, manipulácie, skladovania, používania, prepravy, zneškodňovania, úpravy, obchodovania a iného zaobchádzania, alebo ktoré vznikajú pri takejto činnosti.

Karta bezpečnostných údajov (KBÚ) je súhrn identifikačných údajov o podnikateľovi, o nebezpečnej chemickej látke alebo o nebezpečnej chemickej zmesi a údajov potrebných na ochranu života a zdravia ľudí a životného prostredia.

Výbušnina je taká chemická látka alebo zmes, ktorá je schopná mimoriadne rýchlej exotermickej reakcie spojenej s vytvorením plynu veľkého objemu. Výbušniny sú všetky látky schopné výbušnej premeny. Patria sem streliviny, trhaviny, pyrotechnické zložky, traskaviny.

Výbušnými predmetmi sú všetky výrobky obsahujúce výbušniny, z ktorých najdôležitejšie skupiny sú: vojenská civilná munícia, iniciátory, rozbušky, elektrické pilule, zápalnice, bleskovice, elektrické palníky.

Priemyselné plastické trhaviny na báze nitroglycerínu, nitroglykolu a nitrocelulózy sa vo všeobecnosti vyrábajú homogenizáciou (miešaním) sypkých a kvapalných komponentov v malaxéroch (miešačoch) rôznych typov s následným spracovaním trhavinovej masy, do formy malopriemerových alebo veľkopriemerových náložiek. Náložkovanie trhavinovej masy sa realizuje na rôznych typoch náložkovacích strojoch typu automatoch príp. poloautomatoch od priemeru 23 mm do 90 mm do parafínového papiera resp. PE fólie.

Sypké trhaviny typu DAP. Základnými zložkami v trhavine DAP sú oxidovadlo a palivo. Najčastejším používaným oxidovadlom je dusičnan amónny (DA) a palivom minerálny olej (P). Uvedená trhavina sa

homogenizuje v miešači, v ktorom sa dusičnan amónny po nadávkovaní skrúpa kvapalnými zložkami ,napr. nafta ,minerálny olej.

Emulzné trhavy sú oxidačno-redukčným systémom, kde do reakcie v kvapalnej fáze vstupuje ako oxidačná zložka nasýtený roztok oxidovadiel a ako redukčný systém palivo s emulgátorom a doplnený vhodným senzibilizátorom , ktorý je schopný iniciovať a podporovať chemickú reakciu pri detonácií. Emulzie rozdeľujeme na dva typy:- emulzia olej vo vode(O/W) alebo voda v oleji W/O. Technológia výroby emulzných trhavín sa skladá z nasledovných častí: príprava surovín výroba emulzie, scitlivenie emulzie, náložkovanie trhavy, chladenie náložiek a balenie.

Čerpatel'né emulzné trhavy

Základom výroby čerpatel'ných emulzných trhavín je príprava emulznej matrice na stacionárnej jednotke, ktorá sa pripraví zmiešaním roztoku oxidovadiel ako diskontinuálnej anorganickej fázy a paliva ako kontinuálnej olejovej fázy s vhodným emulgátorom v špeciálnom zariadení. Pripravená nevýbušná emulzná matrica je uskladnená v zásobníku a prečerpáva sa do nádrže umiestnenej na nadstavbovej časti miešacieho a nabíjacieho vozidla. Po naplnení jednotlivých zásobníkov s potrebnými surovinami sa vozidlo dopraví na miesto spotreby do lomu. Pomocou antistatickej hadice sa vývrty nabíjajú čerpatel'nou emulznou trhavinou, ktorá je senzibilizovaná bublinkami plynu, ktorý vzniká reakciou chemickej látky a emulznej matrice.

Výroba a spracovanie výbušnín na mieste spotreby

Výroba výbušnín sa zabezpečuje priamo na mieste spotreby u odberateľa zo schváleného miešacieho a nabíjacieho vozidla na ktorom sa vyrába a dodáva čerpatel'ná emulzná trhavina resp. syrká trhavina DAP ,ktorá sa následne nabíja priamo do vývrtov na mieste spotreby u odberateľa .Predmetné vozidlo a uvedená trhavina musia byť schválené v zmysle platných predpisov pre výbušniny Hlavným banským úradom v Banskej Štiavnici a v Konštrukte - Defence, a.s. Trenčín.

2. Nebezpečné chemické látky pri výrobných a obslužných procesoch spojených s manipuláciou a skladovaním výbušnín a výbušných predmetov.

Zo stručného prehľadu technológie výroby uvedených typov výbušnín a z príslušných KBÚ jednotlivých trhavín a surovín vyplýva ,že niektoré používané výrobky sú v zmysle platných predpisov definované ako nebezpečné chemické látky / NCHL/ a zmesi /NCHZ/ ohrozujúce život, zdravie ľudí a životné prostredie. Pracovníci ,ktorí vykonávajú činnosti pri obsluhu určených zariadení sú vystavení vplyvu veľmi jedovatými kvapalnými výbušnými látkami – nitroestermi, ktoré patria k nebezpečným chemickým faktorom (NCHF). Ich výpary môžu vniknúť do ľudského organizmu hlavne vdychovaním v uzatvorenom priestore alebo pokožkou - v prípade nepoužívania predpísaných osobných ochranných pracovných prostriedkov (OOPP). Z veľkého sortimentu výbušných predmetov sú pri trhacích prácach najpoužívanjšie elektrické, neelektrické rozbušky a bleskovica pentritová.

Elektrické rozbušky obsahujú malé množstvo pentritu, azidu olovnatého, o-aminofenolu a trinitrotoluénu -TNT, ktoré sú klasifikované ako nebezpečné látky.

Neelektrické rozbušky obsahujú len malé množstvo pentritu, azidu olovnatého a zmesi oktogénu s hliníkom ,ktoré sú v zmysle platnej legislatívy o chemických látkach v znení neskorších predpisov, klasifikované ako nebezpečné faktory Pôsobenie uvedených nebezpečných látok na zdravie pracovníkov je eliminované ich zapracovaním do vnútornej časti kovového a plastového materiálu,

ktorý je hermetický uzatvorený. Materiál použitý pre vonkajšie časti neelektrického roznetného systému nie je zdraviu škodlivý. Pri používaní neelektrických rozbušiek nedochádza k priamemu kontaktu nebezpečných látok s organizmom.

Bleskovica obsahuje brizantnú trhavina pentrit. Vzhľadom na to, že výbušnina je uzavretá konštrukciou bleskovice, nehrozí nebezpečenstvo ohrozenia zdravia pracovníkom.

2.1. Vplyv výbušnín používaných v baniach a tuneloch na životné a pracovné prostredie.

Výbušniny a výbušné predmety klasifikované ako NCHF, ktoré sa vyrábajú, skladujú, dopravujú a používajú pri výkone trhacích prác malého a veľkého rozsahu, podliehajú pri použití v baniach, lomoch a tuneloch nasledovným podmienkam:

- oprávnenie dodávateľa výbušnín a výbušných predmetov odborne spôsobilou osobou,
- povolenie na odber výbušnín vydaného príslušným OBÚ,
- zabezpečenie skladovania výbušnín v prenajatom sklade výbušnín,
- doprava výbušnín vozidlom ADR,
- manipulácia s výbušninami pri nabíjaní vývrtov vyškolenými pracovníkmi,
- dodržiavanie schválených technologických postupov pri výkone trhacích prác.

Skladované a používané trhaviny a rozbušky sú chemické látky alebo zmesi, ktoré sa podľa Karty bezpečnostných údajov (KBÚ) zaraďujú svojim zložením a chemicko-fyzikálnymi vlastnosťami medzi nebezpečné chemické faktory – t.j. výbušné látky s obsahom škodlivých a nebezpečných veľmi jedovatých resp. jedovatých látok, ktoré sú často oxidujúce, horľavé a majú dráždivé účinky.

Pri razení tunelových rúr pri výstavbe cestných, autostrádnych a železničných tunelov, sa na razených čelbách pri rozpojovaní skalných hornín využívajú moderné technológie a progresívne prostriedky trhacej techniky, ktoré sú zastúpené výhradne dovážanými priemyselnými trhavinami a rôznymi typmi rozbušiek. Aj keď sú v súčasnosti stále častejšie konštruované a vyrábané trhaviny a rozbušky s menším podielom toxických a karcinogénnych látok, zostáva na existujúcom trhu s prostriedkami trhacej techniky dosť takých výrobkov, ktoré spôsobujú neželané zamorenie a znečistenie pracovného prostredia na pracoviskách razenia tunelov a ťažby nerastov v hlbinných baniach a povrchových lomoch. Negatívnym prejavom periodicky vykonávaných odstrelov sú povýbuchové splodiny, ktoré vznikajú na činných pracoviskách a spolu výfukovými splodinami používaných vznetrových motorov ťažobných a dopravných mechanizmov, spôsobujú v podzemných priestoroch bane resp. tunela zvýšenú koncentráciu týchto plynov, nežiaduce znečistenie a zníženie kvality banského ovzdušia. Z toho dôvodu je nutné odvetrávanie týchto priestorov podľa zásad banského systému vetrania resp. v zmysle dohodnutých princípov umelého separátneho vetrania pri razení tunelových rúr a pri prevádzke budovania tunelových stavieb. Hlavným dôvodom vetrania je zriedenie nežiaducich povýbuchových a výfukových splodín, ktoré obsahujú toxické a karcinogénne látky tak, aby sa dosiahli prípustné limitné hodnoty ich koncentrácií. Intenzívne odvetrávanie činných pracovísk sa vykonáva vždy po odstrele jedného záberu na postup razenia tunela, pričom sa využívajú typizačné smernice, s ktorými pracujú zodpovední vetrací technici pri projektovaní systému vetrania v tuneloch. Projektované parametre vetrania pri razení banských chodieb a tunelov preto musia zohľadniť viaceré požiadavky, ale hlavne zabezpečiť:

- dýchatel'né prostredie pre pracovníkov v podzemí bane alebo tunela,

- dostatočný objem vzduchu pre optimálnu činnosť dieselových mechanizmov,
- dostatočné zriedenie povýbuchových plynných splodín po trhacích prácach a výfukových plynných splodín pri jazde a činnosti mechanizmov,
- vyhovujúce mikroklimatické podmienky, teplotu a vlhkosť na pracoviskách,
- požadovanú koncentráciu kyslíka v banskom ovzduší,
- prípustné koncentrácie nebezpečných látok v banskom ovzduší,
- požadovanú priemernú rýchlosť prúdenia vzduchu na činných pracoviskách.

Potrebné je sledovať kritické látky a ich prípustné limitné hodnoty, ale aj maximálne koncentrácie, zvlášť pri nebezpečných plynach ako sú, oxid uhoľnatý CO, oxid uhličitý CO₂, oxidy dusíka NO_x, hlavne NO a NO₂ udávané v [ppm] a [mg/m³]. Z pohľadu vykonávaných odstrelov a množstva použitých trhavín a rozbušiek, je potrebné pri razení tunela zakomponovať do výpočtov potrebného množstva resp. objemu čerstvých vetrov množstvo faktorov. Výpočet objemu vzduchu na odvetranie priestoru a objemového prietoku na rozriedenie plynných splodín, vyprodukovaných v čelbe razenia po trhacích prácach, sa riadi konkrétnymi smernicami a predpismi HBÚ. Takýto výpočet zohľadňuje požiadavky na prítomnosť hraničných hodnôt chemických látok v plynných povýbuchových produktoch použitej trhaviny, ale tiež aj funkčné a výkonové parametre priemyselných trhavín a ich výbuchové charakteristiky, ako aj samotnú kvalitu, typ a spôsob výroby priemyselných trhavín.

Pri trhacích prácach v podzemí vznikajú hlavne toxické oxidy dusíka a oxidu uhoľnatého a iné chemické látky v závislosti od zloženia, kvality vstupných surovín a hodnoty kladnej kyslíkovej bilancie. Dôležitým faktorom po realizácii odstrelu v podzemí je rýchlosť odvetrávania povýbuchových splodín z miesta odstrelu výkonným ventilátorom.

2.2. Potreba testovania škodlivých látok na činných podzemných pracoviskách

Vo všeobecnosti platí, že vyššie menované nebezpečné chemické faktory priamo ovplyvňujú uvoľňovanie škodlivých chemických látok na pracoviskách, na ktorých sa odstrely resp. trhacie práce v tuneloch vykonávajú, pretože sú priamo prítomné vo výbušninách a výbušných predmetoch. Na tomto mieste je treba kriticky doplniť, že testovanie toxických povýbuchových splodín výbušnín, ale ani testovanie prítomnosti karcinogénnych chemických látok, resp. zisťovanie chemického faktora výbušnín, sa v zmysle evidencie a hodnotenia výbušnín podľa kariet bezpečnostných údajov (KBU) systematicky na podzemných pracoviskách doteraz nevykonáva.

Napriek tomu, že trhacie práce malého a veľkého rozsahu realizované na povrchu a v podzemí, výrazne neznečisťujú ovzdušie toxickými splodinami výbuchu v porovnaní s výrobnými procesmi v priemysle. Pričom sa nebezpečenstvo zamorenia a znečistenia pracovného a životného prostredia môže prejavovať ešte výraznejšie v prípade, keď pri trhacích prácach veľkého rozsahu dôjde k nepredvídanej mimoriadnej udalosti a celkovému zlyhaniu realizovaného odstrelu.

Tabuľka č.1. Prípustné expozičné limity NPEL pre sledované chemické látky.

Por. číslo	Chemická látka	CAS	NPEL				Poznámka
			priemerný		krátkodobý		
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
1.	Oxid dusičitý (NO ₂) ¹⁾	10102-44-0	2	4	-	-	NPEL do 21. 08. 2023 pre podzemnú ťažbu a razenie tunelov
2.	Oxid dusnatý (NO) ¹⁾	10102-43-9	25	30	-	-	NPEL do 21. 08. 2023 pre podzemnú ťažbu a razenie tunelov
3.	Oxid uhoľnatý ¹⁾	630-08-0	30	35	60	70	NPEL do 21. 08. 2023 pre podzemnú ťažbu a razenie tunelov
4.	Výfukové plyny ^{1), 2)} ako CO	630-08-0	20	25	-	-	NPEL do 21. 08. 2023 pre podzemnú ťažbu a razenie tunelov
	ako NO ₂	10102-44-0	1	2	-	-	NPEL do 21. 08. 2023 pre podzemnú ťažbu a razenie tunelov

¹⁾ NPEL pre oxid dusičitý (NO₂), oxid dusnatý (NO) a oxid uhoľnatý (CO) majú prechodné obdobie do 21. augusta 2023, ktoré sa týka expozície zamestnancov pri podzemnej ťažbe a razení tunelov.

²⁾ Osobitný limit je určený pre **oxid uhoľnatý (CO) a oxid dusičitý (NO₂)**, ktoré sa vyskytujú vo výfukových plynach, na hodnotenie kombinovaných účinkov vrátane karcinogénnych. Tieto chemické faktory potom slúžia ako indikátory expozície, pričom za akceptovateľnú expozíciu sa považuje dodržanie oboch limitov.

³⁾ CAS – skratka pre **Chemical Abstracts Service** (Úrad pre registráciu chemických látok), ktorý poskytuje periodicky indexované informácie o štruktúrach chemických zlúčenín.

V zmysle Nariadenie vlády č. 33/2018 Z. .z, ktorým sa mení a dopĺňa NV SR č. 355/2006 Z .z o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci v znení neskorších predpisov sú v tabuľke č.1 uvedené najvyššie prípustné expozičné limity (NPEL) plynov, pár a aerosólov s prevažne toxickým účinkom v pracovnom prostredí pri razení tunela. Pracovníci pri manipulácii sú počas výkonu trhavých prác na vonkajšom prostredí obmedzene exponovaní CHF v závislosti od druhu látky, inhalačne požitím ale aj kontaktom cez pokožku a sliznice.

Technický vedúci odstrelov a strelmajster, zodpovední za výkon kvalitných vrtacích a trhavých prác pri ťažbe nerastných surovín v podzemí alebo na povrchu, sa rozhodujú pri výbere vhodnej kvalitnej trhavy hlavne z hľadiska geologických podmienok ,prostredia vo vývrte a funkčných parametrov uvedených v návode na používanie trhavín, pričom sa prihliada na skutočnosť v akých podmienkach sa

budú trhavinu používať. Dôležitým faktorom pre realizáciu odstrelu je posúdenie vybraného typu trhavinu z hľadiska fyzickej náročnosti pri manipulácii a dodržania bezpečnosti a ochrany zdravia pracovníkov pri práci. Kvalita dodávaných výrobkov musí byť trvale zabezpečená nielen počas výroby, ale aj pri ich skladovaní a používaní priamo u odberateľa.

Tabuľka č.2 Vybrané funkčné parametre čerpatelných emulzných trhavín

<i>Výrobca/ Distribútor</i>	<i>SSE Slovakia,s.r.o..</i>		<i>Austin Powder Slovakia, s.r.o.</i>	<i>Matrix Slovakia, s.r.o.</i>	
Názov výrobku	CIVEC	CENTRA™ GOLD 100	HYDROMITE 100 (70)	Emulga	Blendex 80
Parameter					
Detonačná rýchlosť ($m.s^{-1}$) neutesnená nálož minimalne	Ø30 3600	Ø22 4500	Ø35 4000	Ø30 3900	Ø45 5500
Hustota ($g.cm^{-3}$)	1,2	0,8 – 1,2	1,0	0,95- 1,2	1,14- 1,32
Jedovaté plynné splodiny výbuchu ($dm^3 CO.kg^{-1}$) maximalne	povrch	30	25	30	povrch
Spotrebná doba (hod) max.	48	72	48	48	48

Tabuľka č.3 Vybrané funkčné parametre náložkovaných emulzných plastických trhavín

<i>Výrobca/ Distribútor</i>	<i>Austin Powder Slovakia, s.r.o.</i>			<i>SSE Slovakia,s.r.o..</i>	<i>Matrix Slovakia, s.r.o.</i>	
Názov výrobku	Emulex 1	Emulex 2 plus	Emulex C	Senatel™ Powerfrag™	Emulinit 2	Emulinit GM1
Parameter						
Detonačná rýchlosť ($m.s^{-1}$) neutesnená nálož minimalne	Ø25 3900	Ø35 3500	Ø25 3500	Ø32 3500 - 5300	Ø25 3900	Ø32 4000
Hustota ($g.cm^{-3}$)	1,15	1,15	1,04	1,15 – 1,23	1,26	1,05- 1,25
Jedovaté plynné splodiny výbuchu ($dm^3 CO.kg^{-1}$) maximalne	30	50	25	-	30	povrch

Tabuľka č.4 Vybrané funkčné parametre náložkovaných emulzných plastických trhavín

<i>Výrobca/ Distribútor</i>	<i>SSE Slovakia,s.r.o..</i>		<i>Austin Powder Slovakia, s.r.o.</i>	<i>Matrix Slovakia, s.r.o.</i>
Názov výrobku	Ecodanubit	Eurodyn 2000	Austrogel P	Poladyn 31 Eco
<i>Parameter</i>				
Detonačná rýchlosť ($m.s^{-1}$) utesnená nálož minimálne	Ø32/37 – 5500	6000	Ø34 - 6000	Ø32-5000
Hustota ($g.cm^{-3}$)	1,35	1,4	1,4	1,4± 0,14
Jedovaté plynné splodiny výbuchu ($dm^3 CO.kg^{-1}$) maximálne	40	50	50	50

Bezpečnosť a efektivitu trhacích prác ovplyvňuje kvalita použitých trhavín s vhodnými funkčnými a technickými parametrami ,ktoré môžu pozitívne vplývať na životné prostredie.

3. Vplyv vrtacích prác na pracovné a životné prostredie.

Neoddeliteľnou súčasťou trhacích prác sú vrtacie práce, ktorých kvalitne prevedenie ovplyvňuje efektivitu realizácie jednotlivých typov odstrelov pri dobývaní nerastných surovín na povrchu a podzemí ,razení banských diel a tunelov ako aj pracovné a životné prostredie, ktoré súvisia s ochranou zdravia a bezpečnosťou pracovníkov. Prvým predpokladom pre úspešne , ekonomické a bezpečné rozpojovanie hornín pri odstreloch a počas razenia je správne navrhnutie a hlavne presná realizácia vývrtov na trhacie práce .V súčasnej dobe je vrtná technika a moderné vrtné vozy vybavené výkonnými hydraulickými vrtacími kladivami, automatickým dodržiavaním súbežnosti vývrtov a systémom vrtania riadeným počítačom.

Pri projektovaní vrtacích prác sa uplatňuje legislatívny rámec zákonov, nariadení a predpisov týkajúcich sa celej oblasti pracovného a životného prostredia, ktorý vytvára technické podmienky pre kontrolnú činnosť a strategické monitorovanie dopadov technologického procesu vrtania na jednotlivé zložky environmentálneho systému. Súčasne sa pritom využívajú integrované prístupy zamerané na odstránenie a zníženie negatívnych vplyvov procesu vrtania na činných pracoviskách ako sú hlučnosť, prašnosť, tvorba emisií, priame alebo nepriame zdravotné zaťaženie, pracovný výkon a produktivitu prác , znehodnotenie pracovného prostredia a fyzické zaťaženie. Vzájomné pôsobenie vymenovaných faktorov pritom vytvára nekomfortné podmienky pre vykonávanie banskej činnosti (ťažba nerastov bane a lomy) a činnosti vykonávanej banským spôsobom (razenie tunelových rúr). Z toho vyplýva potreba ochrany pracovníkov pred týmito účinkami a to rôznymi formami a technickými prostriedkami, ako sú vetranie pracovísk a prístupových banských diel, znižovanie resp. udržiavanie povolenej teploty na činných pracoviskách, znižovanie hlučnosti prítomnej na pracoviskách z používaných mechanizmov a odstrelov (opodstatnené sú chrániče hluku), ako sú vrtacie súpravy, nabíjacie zariadenia a samohybné nabíjacie vozy, odsávaním prachových častíc z pracovného priestoru na čelbách razenia v procese

vrtania a po odstrele horniny, znižovanie, strát vyplývajúcich z rýchlosti vrtania vznikajúcich pri poruchách vrtacích súprav a pri opakovanom opravnom vrtaní.

Rovnako je zreteľná snaha výrobcov technických prostriedkov a zariadení pri vrtaní a rozpojovaní zaraďovať do konštrukčných celkov týchto mechanizmov bezpečnostné a ergonomické prvky, ktoré zvyšujú úroveň komfortu práce operátora vrtacej súpravy, ako aj technického vedúceho odstrelu (TVO) resp. strelmajstra. Výsledkom snahy o zvyšovanie bezpečnosti a hygieny práce pri vrtaní a rozpojovaní horniny rozstrelením (odstrel horniny), ktoré sú vykonávané vrtacími súpravami a nabíjacími zariadeniami a výbušninami, sú moderné a vysoko výkonné vrtacie súpravy, určené pre hlbinné a povrchové dobývanie nerastov a pre razenie tunelov a banských chodieb. Sú to už vrtacie súpravy novej generácie s odprašovacím zariadením (tzv. zberač prachu pri vrtaní), s ergonomickou a dokonale odhlučnenou kabínou operátora vrtacej súpravy (s udržiavanou konštantnou hladinou hluku, ktorá je pod hodnotou 80 dB), ktorá je súčasne vybavená modernou počítačovou technológiou a je programovateľné v manuálnom a automatickom režime vrtania – vrtacie súpravy systému RCS – Rig Control System).

Uvedené príklady dokumentujú súčasné technické metódy ovplyvňovania, regulácie a kontroly technických parametrov mechanizmov, ale aj sledovania limitných koncentrácií, v banskom prostredí nachádzajúcich sa nežiaducich zložiek, a tým aj zabezpečenie komfortných podmienok pre výkon vrtacích a trhacích prác. Pri technologických procesoch vrtania a rozpojovania hornín pri povrchovej ťažbe v kameňolomoch sú účinky trhacích prác a činnosti ťažkých nakladacích, dopravných a iných samohybných mechanizmov, ale aj úpravníckych liniek a zariadení, na jednotlivé zložky životného prostredia ešte markantnejšie a agresívnejšie. Ťažobná činnosť sa prejavuje priamymi zásahmi do živej i neživej prírody, v mnohých prípadoch je odstrelní ohrozená fauna, nachádzajúca sa v bezprostrednom okolí ťaženého lomu. Súčasne hrozí pri ťažbe aj devastácia okolitých krajinných útvarov, pričom banskou činnosťou je územie zasahované a degradované nepretržite aj niekoľko rokov (životnosť našich veľkolomov je už na úrovni 50 a viac rokov). V mnohých prípadoch bude v priebehu najbližších rokov potrebné a nutné, spracovať technické projekty zamerané na revitalizáciu krajiny, pričom ich hlavným zámerom bude napomôcť procesu znovu oživenia a zlepšenia biologickej kvality krajiny, ktorá bola určitým spôsobom pri ťažobnej činnosti narušená. Rekultivačné práce budú pritom zamerané najmä na obnovu horninových štruktúr, devastovanej pôdy a okolitého terénu, pričom hlavným cieľom bude vytvorenie esteticky pôsobivého a hodnotného životného prostredia pre ďalšie netechnické aktivity, vrátane vybudovania novej infraštruktúry ťažbou poškodeného územia.

Záver

Udržiavať pri banskej a ťažobnej činnosti prijateľné a komfortné pracovné a životné prostredie, nie je pre ťažobné spoločnosti a pre spoločnosti budujúcich tunely, vôbec jednoduché. Ťažobné a stavebné priemyselné činnosti predstavujú vo všeobecnosti technicky aj fyzicky náročnú oblasť ľudského podnikania. Ich súčasťou sú technologické procesy, ktoré ešte nie sme dostatočne odborne vyspelí celkom zautomatizovať, prípadne robotizovať a využiť prvky umelej inteligencie, ktoré by umožnili úplné vylúčenie človeka z technicky náročných procesov vrtania a rozpojovania hornín. Ale ako aj tento odborný príspevok naznačil, vývoj vrtacích súprav, výbuchovej techniky a metód rozpojovania hornín napreduje a smeruje aj v tejto odbornej oblasti ku digitalizácii a úplnej automatizácii uvedených procesov.

Literatúra

1. Nariadenie vlády č. 33/2018 Z. .z, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 355/2006 Z. z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci v znení neskorších predpisov
2. Jakubček. E.: Príspevky z medzinárodnej konferencie Trhacia technika.
3. Jakubček. E.: Technická dokumentácia, KBÚ a návody na používanie uvedených trhavín od citovaných výrobcov.
4. Zákon č. 67/2010 Z.z. o podmienkach uvedenia chemických látok a chemických zmesi na trh a o zmene a doplnení niektorých zákonov /chemický zákon/
5. Európska dohoda o medzinárodnej cestnej preprave nebezpečných vecí (ADR)

Trhacie práce na nulte lávke dobývania sadrovcovo-anhydritovej suroviny na ložisku Gemerská Hôrka

Blasting work as part of mining works on the zero bench of gypsum-anhydrite mine at the Gemerská Hôrka deposit

Ing. Arpád LŐRINCZ, PhD.¹

Abstrakt:

Po ukončení otváracích a prípravných prác na ložisku v Gemerskej Hôrke, spoločnosť Danucem Slovensko a. s. v roku 2019 začala samotné dobývanie sádrovca a anhydritu. Dobývanie sa vykonáva hlbinným spôsobom a rozpojenie suroviny je zabezpečené výlučne pomocou vrtno-trhacích prác. Pri vrtno-trhacích prácach kladieme veľký dôraz na kvalitné a bezpečné vykonanie celej činnosti, pri čo najnižších nákladoch.

Abstract:

After the completion of opening and preparatory work on the deposit in Gemerská Hôrka, the company Danucem Slovensko a.s. within 2019 started the mining of gypsum and anhydrite itself. The mining is carried out as underground operation, and the first phase of breaking away of the raw material is ensured exclusively with the help of drilling and blasting works. During drilling and blasting work, we place great emphasis on high-quality and safe execution of the entire activity, at the lowest possible costs.

1. Úvod

Dobývanie ložiska nerastných surovín je výrobný proces, pri ktorom dochádza k postupnému odrubávaniu zásob úžitkového nerastu v priestore a čase, pričom výsledným produktom tohto procesu je rúbanina požadovanej kvality vstupujúca do procesu úpravy². Rozdeľuje sa na lomové (LD) resp. hlbinné dobývanie ložísk nerastov (HDL).

V prípade hlbinného dobývania sú najdôležitejšími pracovnými operáciami (ale napr. aj pri razení tunelov) rozpojenie hornín, odťažba rúbaniny a zabezpečenie vyrúbaného priestoru. Rozpojenie hornín spočíva v postupnom oddelení-odrubávaní časti horninové masívu.

Rozpojenie horniny pri hlbinnom dobývaní rudných a nerudných ložísk úžitkových nerastov ako aj pri razení banských diel sa realizuje takmer výlučne vrtno - trhacími prácami. Trhacie práce sa pri týchto činnostiach začali používať v 17. storočí, po tom ako dňa 8.2.1627 za prítomnosti zástupcov banského súdu vykonal Gašpar Weindl prvý pokusný odstrel na Hornobieberštôlnianskom

¹ Ing. Arpád Lőrincz, PhD., Vedúci bane Fortuna, Danucem Slovensko, a.s.,
Člen Prezídia SSTVP,
E-mail: arpad.lorincz@danucem.com,
tel: +421 907 750203

² BAUER V.: *Dobývanie surovín*, študijný materiál pre účastníkov post-diplomového štúdia, Košice, 1999

banskom závode v Štiavnických baniach (Windšachte) čiernym trhacím prachom. Táto činnosť (podobne ako aj vŕtacie práce) odvtedy prešla veľkým vývojom a stala sa vôbec najpoužívanejšou metódou rozpojenia horniny v podzemí³.

2. Dobývanie na ložisku sádrovca a anhydritu na ložisku Gemerská Hôrka

Po ukončení otvárkových a prípravných prác na dvoch pracoviskách bane Fortuna na ložisku v Gemerskej Hôrke sa v roku 2019 pristúpilo k začatiu dobývania. Samotné dobývanie sa realizuje po tom, ako OBÚ v Spišskej Novej Vsi vyslovil súhlas s vyskúšaním dobývacej metódy (DM) „Výstupkové dobývanie so zakladaním vydobytych priestorov“. Ide o DM, ktorá vo svete je rozšírená hlavne pri dobývaní nerudných surovín, a je určitou modifikáciou dobývacej metódy „Komora-pilier“. Na Slovensku za začala používať v roku 1976 v bývalom národnom podniku Slovenské magnezitové závody Košice, na závodoch Košice a Jelšava⁴.

Výstupkové dobývanie so zakladaním vydobytych priestorov je charakterizované postupom dobývania od základného obzoru smerom nahor v pravidelných veľkoplošných vrstvách konštantnej hrúbky z predchádzajúcej vydobytej vrstvy, tvoriacej pracovisko. Celá dobývacia plocha je podoprená systémom vnútroblokových pilierov štvorcového profilu 8m x 8m usporiadanými v pravidelnej sieti v dobývke.

Dobývanie je rozdelené na 2 etapy:

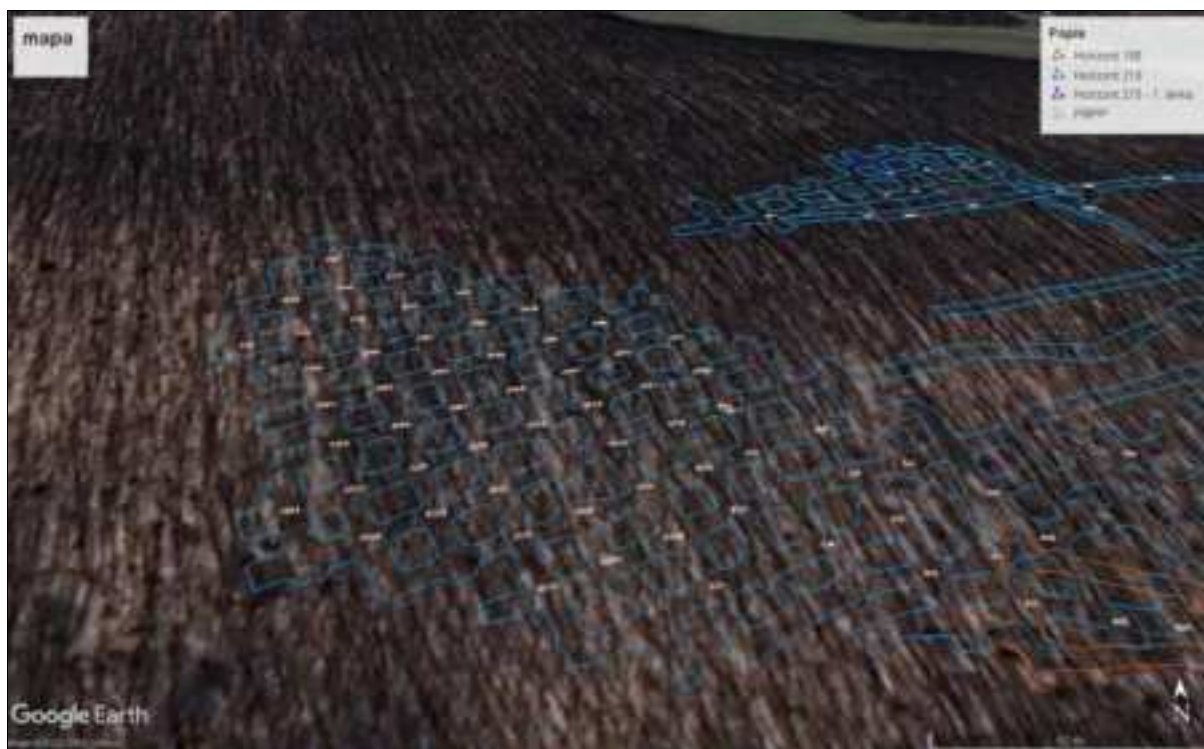
- a) dobývanie v dobývacích pásoch o šírke 8m a výške 5m na nulte lávke výstupku
- b) dobývanie v dobývacích pásoch o šírke 8m a výške 3m na 1. a vyšších lávkach

Jednotlivé vydobyté lávky sa vyplnia základkou. Základkový materiál tvorí cudzia alebo vlastná základka z nebilančných častí bloku. Cudzia základka môže byť do bloku dopravovaná cez základkové komíny a tvorí ju nebilančný materiál z iných pracovísk resp. ťažobný odpad z hald na povrchu.

V dnešnej dobe sa realizuje prvá etapa, t. j. dobývanie na nulte lávke. Dobýva sa v 8m širokých a 5m vysokých pásoch. Táto činnosť sa veľmi podobá na razenie vodorovných otvárkových a prípravných banských diel, ktoré sme vykonávali v predošlom období. Líši sa len jednotlivými rozmerovými parametrami banských diel. Otvárkové a prípravné banské diela sa razili o rozmeroch 4,5m x 4,5m.

³ LŐRINCZ A.: *Nabíjanie malopriemerových vývrtov pri razení banských diel*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie Trhacia technika 2016, Stará Lesná, 2016, str. 163-168

⁴ STANKO O. a kol.: *Magnezitový priemysel Československa*, Košice, 1986, str. 136-137



Obr.1 – Pracoviská výstupkového dobývania na ložisku v Gemerkej Hôrke⁵

3. Rozpojenie horniny na nutej lávke

Rozpojenie horniny na bani Fortuna sa realizuje výlučne vrtno-trhacími prácami. Ešte v prvých rokoch existencie bane sa skúšala aj metóda rozpojovania pomocou raziaceho kombajnu, ale po nepriaznivých skúsenostiach sa prešlo na rozpojenie vrtno-trhacími prácami. Celá činnosť sa skladá z dvoch dôležitých etáp:

- a) z vrtných prác
- b) z trhacích prác, t. j. zo samotného vykonania nabíjania a odstrelu

a) vrtné práce na nutej lávke

Vrtné práce pri rozpojení horniny na nutej lávke sa vykonávajú mechanicky, pomocou elektro-hydraulickej vrtnej súpravy Boomer 281 1B. Kým pri razení otvárkových banských diel sa vrtalo aj ručne, pomocou vrtných kladív VK 22-1, v tomto prípade sa vrtá výlučne pomocou vrtnej súpravy. Boomer 281 1B je výrobkom švédskej spoločnosti Atlas Copco, a naša spoločnosť ju zakúpila v roku 2017, aby nahradila fyzicky veľmi namáhavé ručné vrtanie mechanizovaným vrtaním. Ďalšou výhodou okrem vylúčenia fyzicky namáhavej práce je elektro-hydraulické vrtanie aj oveľa efektívnejšie a rýchlejšie.

⁵ Zdroj: Autor



Obr.2 – Elektro-hydraulická vrtná súprava Boomer 281 1B dorazila na baňu Fortuna dňa 11.04.2017⁶

Vrtné práce sa vykonávajú podľa vopred pripravených vrtných schém. Vrtné schémy sú vypracované tak, aby zabezpečili kvalitné vykonanie trhacích prác, požadovanú fragmentáciu rozpojenej rúbaniny, ale aj zachovanie projektovaných rozmerov vnútro blokových pilierov (8m x 8m)⁷. Porušenie týchto pilierov dôsledkom trhacích prác by malo veľmi nepriaznivé účinky na bezpečnosť pracoviska.

Vrtné schémy sa vyvíjali postupne, pričom hlavným cieľom bolo znižovanie množstva vrtných prác (znižovanie počtu vrtov), znižovanie mernej spotreby výbušnín (trhavín aj rozbušiek) pri zabezpečení požadovanej fragmentácie (maximálne kusy rozpojenej rúbaniny 0,7m x 0,7m) a neporušenosť pilierov.

Pred zahájením vrtných prác sa z dôvodu presného určenia smeru čelba presne zameria laserovým zameriavačom typu HILTI PM 40-MG. Určí sa presný smer a stúpanie (resp. klesanie) postupu.

⁶ Foto: Autor

⁷ BAUER V. a kol.: *Návrhu parametrov dobývacej metódy pre ložisko sádrovca-anhydritu Gemerská Hôrka* (Záverečná správa riešenia zmluvného výskumu), Košice, 2008



Obr.3 – Multilíniový laser HILTI PM 40-MG na presné určenie smeru a stúpania (klesania)⁸

Na základe týchto údajov sa vrtné schémy nakreslia na čelbu, čím sa veľmi uľahčí a urýchli práca obslúh vrtnej súpravy. Okrem toho, že sa práca uľahčí a urýchli je veľmi dôležitá aj presnosť vrtania. V takom prípade aj menej skúsený obsluha vrtnej súpravy zavŕta čelbu presne. Tieto činnosti sú veľmi dôležité aj pre udržiavanie celistvosti a presnosti vnútro blokových pilierov.



Obr.4 – Nakreslená vrtná schéma v čelbe⁹

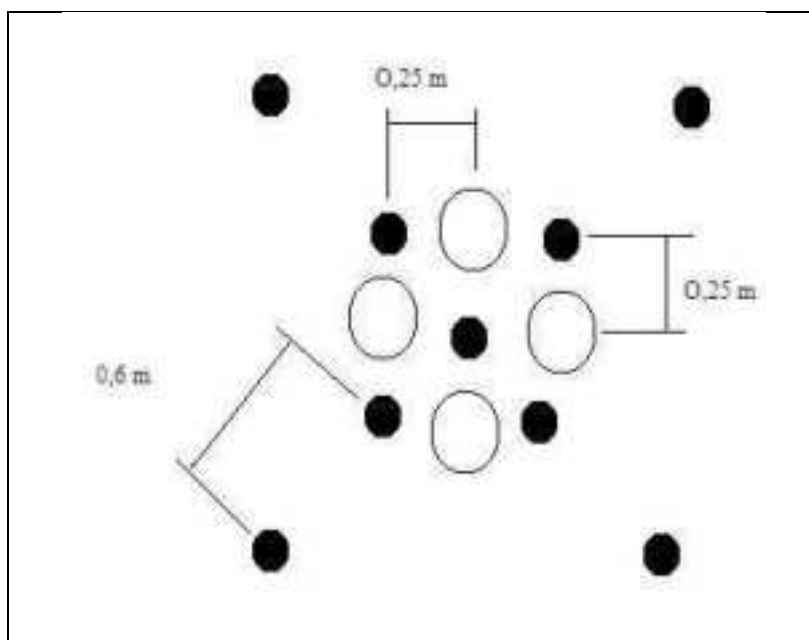
⁸ Zdroj: www.hilti.sk
 Stiahnuté: 02.03.2023

⁹ Foto: Atila Fodor



Obr.5 – Elektro-hydraulická vrtná súprava Boomer 281 1B v akcii na bani Fortuna¹⁰

Veľký dôraz sa kladie na zálom. Pri trhacích prácach s jednou voľnou plochou je veľmi dôležité náložami v zálomových vrtoch vytvoriť výlom do bloku horniny, ktorý potom slúži ako druhá voľná plocha. Skúšali sme niekoľko rôznych variácií priameho valcového zálomu¹¹ s rôznym umiestnením nabitých a nenabitých vrtoz. V súčasnosti používame zálom s 9 nabitými a 4 voľnými vrtnami.

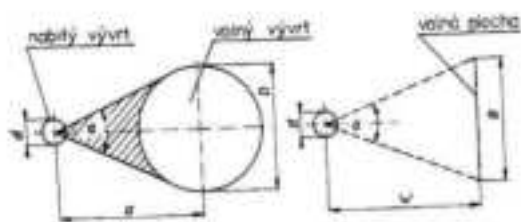


Obr.6 – Parametre priameho valcového zálomu používaného v súčasnosti

¹⁰ Foto: Erik Adamson

¹¹ Základným charakteristickým znakom priamych zálomov je rovnobežnosť a rovnaká dĺžka všetkých zálomových vrtoz, ktoré sú vrtnuté kolmo k rovine čelby

Rozteč nabitého a voľného vrtu musí byť taká, aby voľný vrt vytvoril dostatočný objem pre umiestnenie rozpojenej horniny. Rozpojená hornina po odpálení nabitého vrtu v nakyprenom stave musí vojsť do najbližšieho voľného vrtu. Na určenie týchto parametrov a vzdialeností medzi jednotlivými vrtmi sme vychádzali zo vzťahu¹²:



$$a = \frac{\pi D}{2} \left(\frac{1}{k_n} + 0,5 \right),$$

kde:

a - je rozteč voľného a nabitého vrtu (mm)

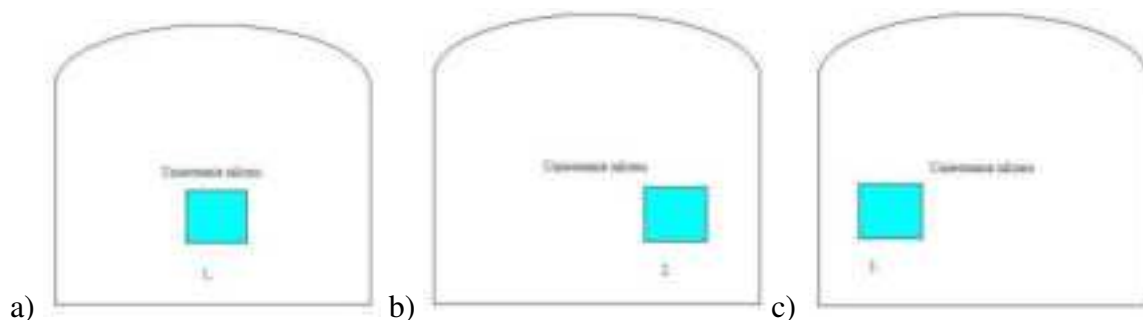
D – je priemer voľného vrtu (mm)

k_n – koeficient nakyprenia rozpojenej horniny

Pre udržiavanie rovnosti čelby sa miesto umiestnenia zálomu môže meniť. V súčasnosti používame 3 umiestnenia zálomu v čelbe:

- v strede čelby
- v pravej polovici čelby
- v ľavej polovici čelby

Na základe týchto rôznych umiestnení zálomu sa mení aj rozmiestnenie pribierkových vrtov.



Obr.7 – Rôzne možnosti umiestnenia zálomu v čelbe

Parametre vrtania:

- dĺžka vrtov: 3 m
- priemer nabitých vrtov: 51 mm
- priemer voľných vrtov: 102 mm

¹² DOJČÁR O. a kol.: *Trhacia technika*, Ostrava, 1996, str. 282-283

b)trhacie práce na nulte lávke

Samotné trhacie práce, t. j. nabíjanie a odstrel sa vykonávajú po ukončení vrtných prác. Na trhacie práce pri razení vodorovných banských diel (čo je podobná činnosť, ako dobývanie na nulte lávke) sa najčastejšie používajú trhavy želatínové¹³ (plastické, dynamity¹⁴) alebo sypké (trhavy typu DAP¹⁵). V menšej miere sa používajú aj emulzné trhavy. Z ekonomického hľadiska práve tieto tri druhy najviac vyhovujú pre tento účel. V našich podmienkach - hlavne z ekonomických dôvodov - na rozpojenie hornín pri dobývaní na nulte lávke používame výlučne želatínové trhavy¹⁶.

V súčasnosti používame banskú skalnú trhavinu POLADYN 31 ECO. Najdôležitejšie technické parametre tejto trhaviny sú uvedené v tabuľke 1:

Názov:	POLADYN 31 ECO
Výrobca:	NITROERG SA, Poľsko
Detonačná rýchlosť (m.s ⁻¹):	5000 pri ø 32 mm
Hustota trhaviny (kg.m ⁻³):	1400
Priemer náložiek (mm):	36
Hmotnosť náložiek (kg):	0,45

Tab.1 – Technické parametre trhaviny Poladyn 31 Eco

Roznet je elektrický. Používame elektrické rozbušky milisekundové typu ERGODET 25 a polsekundové ERGODET 500. Milisekundové elektrické rozbušky používame v zálomových vrtoch a polsekundové v pribierkových a obrysových.

Tak ako pri razení banských diel, aj pri dobývaní pomocou trhacích prác na nulte lávke používame upchávky¹⁷ typu SMU-02W¹⁸ od spoločnosti WESECO CZ s.r.o. Ostrava. Upchávky sú vyrobené z plastu a plnia sa studenou vodou. Používame ich už niekoľko rokov a máme s nimi veľmi dobré skúsenosti.

¹³ Tieto trhavy obsahujú ako hlavnú výbušnú zložku nitroglycerín alebo nitroglykol, obyčajne ich zmes vo forme trhacej želatiny (18-60%). Toto množstvo trhacej želatiny im udeľuje trvalé plastickú konzistenciu. Hustota sa pohybuje v rozsahu od 1 400 do 1 600 kg.m-3. Majú pomerne vysokú vodovzdornosť. Ich výhodou je vyššia brzancia a nízky kritický priemer, čo umožňuje ich širokú použiteľnosť. Používajú sa rovnako na povrchu aj v podzemí, pri deštrukciách ako aj pri iných druhoch trhacích prác. (Zdroj: MÜNCNER A KOL.: *Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelův*. Banská Bystrica, 2006, str. 38)

¹⁴ LÖRINCZ A.: *Prvá mimoriadna udalosť od začiatku používania dynamitu v baniach na Gemeri*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie Trhacia technika 2015, Stará Lesná, 2015, str. 111-116

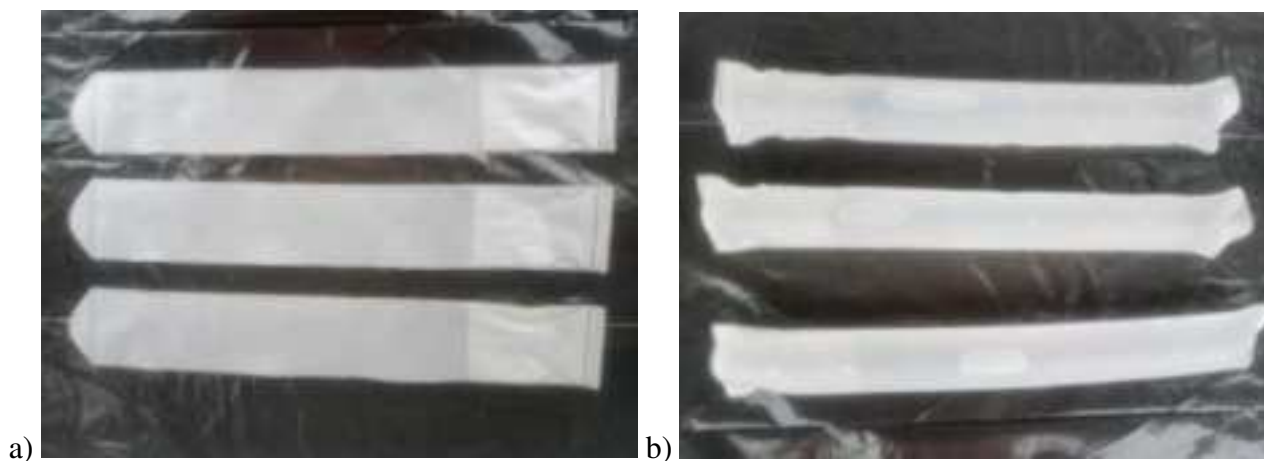
¹⁵ Tieto trhavy sa pri trhacích prácach na povrchu používajú už desiatky rokov, v poslednom období aj v podzemí. Sú to zmesi dusičnanu amónneho a paliva v pomere 94,5% dusičnanu amónneho a 5,5% paliva. Ako palivo sa najčastejšie používa motorová nafta alebo vykurovací olej. (Zdroj: MÜNCNER A KOL.: *Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelův*. Banská Bystrica, 2006, str. 38)

¹⁶ LÖRINCZ A.: *Nabíjanie malopriemerových vývrtov pri razení banských diel*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie Trhacia technika 2016, Stará Lesná, 2016, str. 163-168

¹⁷ Hlavnou úlohou upchávky je utesniť priestor v ktorom sa trhavina privádza k výbuchu a tak získať čo najväčšie množstvo energie trhaviny na vykonanie užitočnej práce. Upchávkový materiál musí klásť dostatočný odpor prechodu vln napätia a unikaniu sploďín výbuchu. Musí byť ľahko dostupný, dobre spracovateľný a nesmie zhoršovať hygienické podmienky na pracovisku. (Zdroj: MÜNCNER A KOL.: *Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelův*. Banská Bystrica, 2006, str. 65)

¹⁸ Samosvorná mäkká upčávka SMU-02W- druh WESECO je určená k utiesňovaniu náložie ve vývrtu o průměru 38 – 45 mm při trhacích pracích na povrchu a v podzemí ve výbušném prostředí.

(Zdroj: <https://www.weseco.cz/index.php/produkty/ucpavka-smu/>), Stiahnuté: 21.02.2023



Obr.8 – Upchávky SMU-02W

- a) prázdne upchávky
- b) upchávky naplnené studenou vodou

Vybrané ukazovatele trhavých prác v roku 2022 pri dobývaní na nulte lávke sú uvedené v tabuľke 2:

Merná spotreba trhavín (Množstvo trhavín potrebných na rozpojenie 1 t horniny)	-	0,529 kg.t ⁻¹
Merná spotreba rozbušiek (Počet rozbušiek potrebných na rozpojenie 1 t horniny)	-	0,173 ks.t ⁻¹
Merná spotreba vrtov (Potrebná dĺžka odvrtných vrtov na rozpojenie 1 t horniny)	-	0,518 m.t ⁻¹
Náložová hustota (Množstvo trhavín v 1 m vrtu)	-	1,020 kg.m ⁻¹

Tab. 2 – Vybrané ukazovatele trhavých prác

Pre zaujímavosť uvediem, že merná spotreba trhavín v závode SMZ Jelšava v roku 2003 (na nulte lávke výstupkového dobývania) bola 0,93 kg/t, merná spotreba rozbušiek bola 0,19 ks/t a náložová hustota 1,21 kg/m.¹⁹

Jednoznačne môžem konštatovať, že na základe týchto skúseností, okrem vrtnej schémy, výberu výbušnín resp. vyhovujúcich prostriedkov trhavých prác, na kvalitné a ekonomicky výhodné vykonanie trhavých prác pri razení banských diel majú veľký vplyv aj nasledovné činnosti:

- a) kvalitné vykonanie vrtných prác
 - určenie vyhovujúceho zálomu
 - presné určenie smeru, stúpania (klesania) postupu
 - presné nakreslenie vrtnej schémy na čelbu
- b) kvalitné vykonanie trhavých prác
 - používanie vhodnej upchávky
 - používanie vyhovujúcich výbušnín

¹⁹ LŐRINCZ A., BIRKA M.: *Trhavie práce pri ťažbe magnezitovej suroviny na výstupkovom dobývaní SMZ, a.s. Jelšava*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie Trhacia technika 2004, Stará Lesná, 2004, str. 168-173

4. Záver

Rozpojenie hornín patrí medzi najdôležitejšie činnosti v procese dobývania ložísk, ktoré sa vo väčšine prípadov vykonáva pomocou vrtno-trhacích prác. Správne a kvalitné vykonanie týchto prác zaručuje požadovanú kusovosť rozpojenej rúbaniny resp. celistvosť a neporušenosť pilierov, ktoré sú veľmi dôležité z hľadiska bezpečnosti pracovísk. Z týchto dôvodov je veľmi dôležité túto činnosť realizovať dôkladne a kvalitne, a nezabudnúť na zdanlivo „maličkosti“, ktorých zanedbávanie môžu celú činnosť ovplyvniť veľmi negatívne.

Použitá literatúra

BAUER V.: *Dobývanie surovín*, študijný materiál pre účastníkov post-diplomového štúdia, Košice, 1999

BAUER V. a kol.: *Návrhu parametrov dobývacej metódy pre ložisko sádrovca-anhydritu Gemerská Hôrka* (Záverečná správa riešenia zmluvného výskumu), Košice, 2008

DOJČÁR O. a kol.: *Trhacia technika*, Ostrava, 1996, str. 282-283

LŐRINCZ A.: *Prvá mimoriadna udalosť od začiatku používania dynamitu v baniach na Gemeri*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie TRHACIA TECHNIKA 2015, Stará Lesná, 2015, str. 111-116

LŐRINCZ A., BIRKA M.: *Trhacie práce pri ťažbe magnezitovej suroviny na výstupkovom dobývaní SMZ, a.s. Jelšava*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie TRHACIA TECHNIKA 2004, Stará Lesná, 2004, str. 168-173

LŐRINCZ A.: *Nabíjanie malopriemerových vývrtov pri razení banských diel*, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie Trhacia technika 2016, Stará Lesná, 2016, str. 163-168

MÜNCNER A KOL.: *Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelov*. Banská Bystrica, 2006, str. 44-45

STANKO O. a kol.: *Magnezitový priemysel Československa*, Košice, 1986, str. 136-137

V Gemerskej Hôrke, 04.03.2023

Posúdenie negatívnych vplyvov trhacích prác v lomoch na vodné zdroje

Assessment of the negative effects of blasting in quarries on water resources

B. Pandula, J. Kondela, M. Konček, J. Šimo, J. Baulovič

Prof. RNDr. Blažej Pandula, CSc. – Institute of Geosciences BERG Faculty, Technical University of Košice, Slovakia, blazej.pandula@tuke.sk

Doc. Mgr. Julián Kondela, PhD. – Institute of Geosciences BERG Faculty, Technical University of Košice, Slovakia, julian.kondela@tuke.sk

Ing. Martin Konček, PhD. – Institute of Earth Resources BERG Faculty, Technical University of Košice, Slovakia, martin.koncek@tuke.sk

Ing. Ján Šimo – Klub Klub ZPS vo Vibroakustike, s. r. o., vibroakustika@vibroakustika.sk

Ing. Ján Baulovič, PhD. – Bblast Slovakia, jbaulovic@centrum.sk

Abstrakt

Vibrácie sú jedným zo základných problémov v lomoch, pretože ich účinky môžu spôsobiť kritické škody na životnom prostredí v blízkosti lomu. Z tohto dôvodu je potrebné neustále sa zaoberať vyhodnocovaním účinkov odstrelov a optimalizáciou technických parametrov odstrelov. Článok prezentuje výsledky experimentálneho výskumu zameraného na optimalizáciu trhacích prác v lomoch na Slovensku. Pomocou zákona útlmu seizmických vln bola v lomoch vypočítaná maximálna hmotnosť nálože výbušnín na časový stupeň tak, aby trhacie práce nespôsobili negatívne účinky na vodné zdroje. Výsledky výskumu prezentované v článku a optimalizácia technických parametrov trhacích prác umožnia opakovanie odstrelov v lomoch bez negatívnych vplyvov na blízke prírodné javy a celé blízke okolie.

Abstract

Vibration is one of the basic problems in quarries because its effects can cause critical damage to the environment near the quarry. For this reason, it is necessary to constantly deal with the evaluation of the effects of blasting and the optimization of technical parameters of blasting. The article presents the results of experimental research aimed at optimizing blasting work in the quarries in Slovakia. Using the law of attenuation of seismic waves, the maximum mass charge weight explosives per timing stage was calculated in the quarries so that blasting works did not cause negative effects on the water resources. The results of the research presented in the article and the optimization of the technical parameters of the blasting works will make it possible to repeat the shots in the quarries without negative effects on nearby natural phenomena and the entire near area.

1. Úvod

Ťažba nerastov je jednou z hlavných činností svetovej ekonomiky, ktorá sa podieľa na vytváraní sociálnych statkov. Táto činnosť však poškodzuje životné prostredie, a preto je posúdenie vplyvov na environment v súčasnosti veľmi dôležité. Rastúci počet baní iniciuje rozsiahle preventívne opatrenia zamerané na bezpečnosť aktuálnou, periodickou alebo trvalou dokumentáciou vplyvov na životné prostredie. Touto problematikou sa zaoberajú odborníci (ťažobné spoločnosti) na celom svete a hľadajú vhodné riešenia a metódy pre environmentálnu bezpečnosť v ťažobnom priemysle.

Pri posudzovaní technickej seizmicity je potrebné riešiť tri vplyvy:

- Vplyv seizmických otrasov a vibrácií na povrchové objekty.
- Vplyv seizmických otrasov a vibrácií na podzemné diela.
- Vplyv seizmických otrasov a vibrácií na pocity a psychiku obyvateľstva.

Predchádzajúce výskumy účinkov trhacích prác (Kondela a Pandula, 2013) ukazujú, že pri clonových odstreloch je potrebné vziať do úvahy niekoľko faktorov, a to:

- definovať mieru ohrozenia objektov v okolí lomu,

- identifikovať objekty, ich počet a účel (priemyselné budovy, obytné a úžitkové budovy, chránené budovy),
- frekvencia trhacích prác a ich parametre,
- parametre odstrelu (priemer vrto, sklon vrto, hĺbka vrto, rozstup vrto, záber, hmotnosť nálože v jednom vrte, celková nálož, časovanie jednotlivých náloží pri odstreloch),
- stanovenie prípustného zaťaženia,
- predpoveď zaťaženia,
- určenie rizika, prípadne bezpečnej vzdialenosti a ďalších parametrov,
- pasportovanie (vrátane fotodokumentácie) najmä pri historických a poškodených objektoch,
- seizmické meranie otrasov,
- posúdenie bezpečnosti pri zistenom zaťažení (náprava aktuálneho stavu).

Príspevok popisuje výsledky výskumu, ktorý bol realizovaný v lome Trenčianske Mítice - Skaličky a jeho okolí. Cieľom nášho výskumu bolo posúdenie seizmických účinkov trhacích prác na vodné zdroje v okolí lomu Trenčianske Mítice - Skaličky a navrhnúť ďalší postup trhacích prác tak, aby neboli narušené kolektory vodných zdrojov.

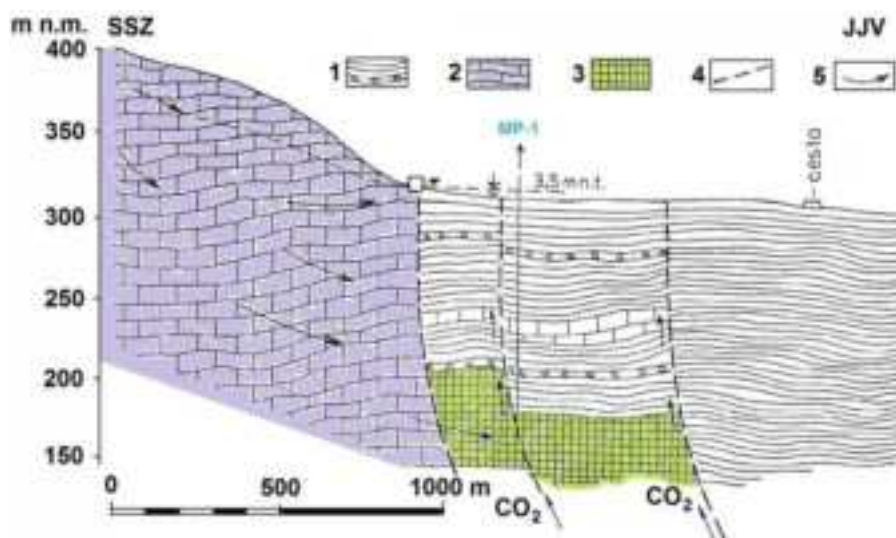
Experimentálne meranie a posúdenie technickej seizmicity vybudenej odstrelmi malého rozsahu 1/TM/23, 2/TM/23 a 3/TM/23 bolo uskutočnené v okolí lomu Trenčianske Mítice - Skaličky. Z nameraných hodnôt sme zhodnotili účinky umelo vybudenej seizmicity vplyvom odstrelov 1/TM/23, 2/TM/23 a 3/TM/23 na blízke vodné zdroje a bytové objekty v obci Trenčianske Mítice (Pandula a kol., 2023).

3. Stručná geologická stavba okolia lomu Trenčianske Mítice - Skaličky (prenosové prostredie)



Obr. 1 Geologická stavba širšieho okolia dobývacieho priestoru. Kvartér: 1- hliny, piesčité hliny, íly, hlinité piesky a štrky nív riek a potokov, 2- hlinito-kamenité (sporadicky piesčito-kamenité) svahoviny a sutiny, 3- sprašové hliny s polohami spraší, 4- prevažne hlinité a piesčité štrky, piesky a piesčité hliny s úlomkami hornín v nižších stredných náplavových kužeľoch s pokryvom sprašových hĺn a splachov; Kryštalinikum Považského Inovca: 5- muskovitické svory až svorové pararuly s výrastlicami staurolitu a/alebo granátu, často diafторizované a chloritizované, 6- krivosúdske súvrstvie- vulkanoklastické droby, drobnozrnné zlepenice v prevahe svetlozelenkavé jemnozrnné pieskovce, lokálne fialové prachovce; Mezozoikum chočského príkrovu: 7- dolomity, 8- wettersteinské vápence, 9- tmavošedé vápence, 10- lúžňanské súvrstvie- ružové, sivobiele a biele jemno- až hrubozrnné kremence (kremenné pieskovce), ojedinele zlepencovité; Mezozoikum krížňanského príkrovu: 11- slienité vápence a slieňovce, 12- sivé organodetritické vápence, 13- sivé slienité vápence, 14- piesčité krinoidové vápence, 15- hranica dobývacieho priestoru.

Lom Trenčianske Mitice - Skaličky je situovaný v triasových karbonátových sedimentoch chočského príkrovu, hlavne dolomitoch a wettersteinských vápencoch (Obr. 1). Horninové prostredie vápencov aj dolomitov je značne porušené. Horninový masív vápencov je menej porušený ako masív tvorený dolomitmi. Na juhu je lom ohraničený neogénnymi sedimentami bánovskej pahorkatiny. Na kvartérnych sedimentoch v blízkosti bývalých prirodzených výverov minerálnych vôd sa nachádza chránený prírodný útvar - rašelinisko Mitická Slatina. V blízkom okolí lomu Trenčianske Mitice - Skaličky je niekoľko vodných zdrojov. Medzi zákonom chránený od roku 2002 a využívaný je vodný zdroj MP-1, zachytený vrtom v roku 1992 (Melioris, Drexler, 1996). Hydrogeologická štruktúra v Trenčianskych Miticiach je otvorená hydrogeologická štruktúra s polozakrytou výverovou oblasťou (Obr. 2).



Obr. 2 Schematický hydrogeologický rez výverovou oblasťou minerálnej vody (Melioris, 2001). 1-Neogén, 2 - Chočský príkrov, 3 - Križňanský príkrov, 4 - zlomy, 5 - smer prúdenia podzemnej vody.

4. Metodika merania a použitá aparatúra

Na meranie seizmických účinkov odstrelu boli použité digitálne štvorkanálové vibrografy:

- vibrograf ABEM Vibracord a seizmosnímače švédskej firmy ABEM,
- vibrograf Vibracord Tellus a seizmosnímače španielskej firmy Tellus,
- vibrograf Svantek a seizmosnímače poľskej firmy Svan.

Vibrografy ABEM Vibracord a Svantek a Vibracord Tellus majú AD prevodník s automatickým 14 bitovým dynamickým rozsahom, ktorý zodpovedá $0,01 \div 250 \text{ mm.s}^{-1}$. Pre tieto merania boli použité elektrodynamické geofóny s frekvenčným rozsahom $2 \div 1000 \text{ Hz}$ a citlivosťou 20 mV/mm.s^{-1} . Geofóny boli umiestnené na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom.

Každý odstreľ bol zaznamenaný individuálne na každom meracom stanovisku a jeho účinky boli hodnotené samostatne.

5. Meracie stanoviska pri odstreloch



Obr. 3 Pozícia odstrelov 1, 2 a 3 v lome Trenčianske Mitice – Skaličky voči meracím stanoviskám 0 až 7 situovaným v okolí lomu

Meracie stanovisko V0 lom Trenčianske Mitice - Skaličky. Merací prístroj Vibracord s trojzložkovým snímačom bol situovaný na horninovom podklade 15 m od iniciačného vrtu odstreľu č. 3, 28 m od iniciačného vrtu odstreľu č. 2 a 45 m od iniciačného vrtu odstreľu č. 1 (obr. 4).





Obr. 4 Meracie stanovisko V0 lom Trenčianske Mitice - Skaličky a meracia aparátúra Vibracord s trojzložkovým snímačom vo vzdialenosti 15 m od iniciačného vrtu odstrelu č. 3, 28 m od iniciačného vrtu odstrelu č. 2 a 45 m od iniciačného vrtu odstrelu č. 1.

Meracie stanovisko V3a a V3b vodný zdroj zadná studňa prameň (SVAN958A) a vodný zdroj zadná studňa čerpačka (SVAN979B). Snímače meracích aparátúr Svantek boli situované na betónovom základe (obr. 5).



Obr. 5 Meracie stanovisko V3a a V3b vodný zdroj Zadná studňa prameň a čerpačka a meracie aparátúry Svantek so snímačmi.

Meracie stanovisko V5 prírodný minerálny zdroj vrt MP-1. Vibrograf Svantek s trojzložkovým snímačom SVAN979A bol situovaný v objekte vodného zdroja MP-1 (obr. 6).



Obr. 6 Meracie stanovisko V5 vodný zdroj MP-1 a meracia aparátúra Svantek so situovaním trojzložkového snímača SVAN979A.

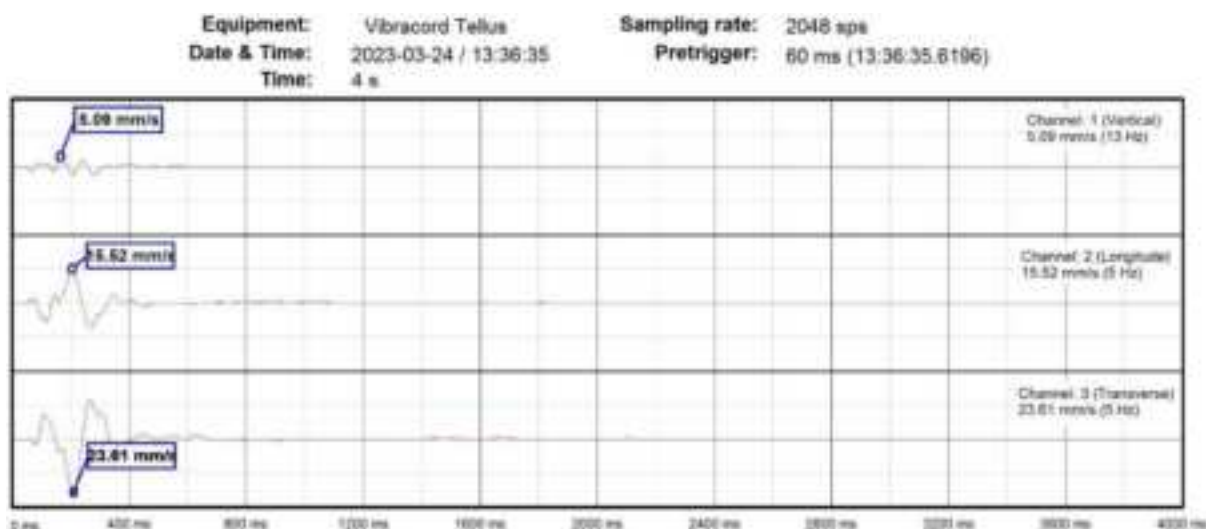
6. Zdroj seizmických účinkov - otrasov

Zdrojom seizmických účinkov boli odstrelý malého rozsahu 1/TM/23, 2/TM/23 a 3/TM/23 v lome Trenčianske Mitice – Skaličky.

Parametre skúšobných odstrelů 1/ML/23, 2/ML/23 a 3/ML/23

Odstrelý malého rozsahu dňa 24.03.2023 o 13:36, 13:38, 13:40, celková nálož v jednotlivých odstrelů 150,0 kg trhaviny Emulex, nálož na 1 časový stupeň 50 kg trhaviny Emulex, časovanie jednotlivých vrtů 25 a 42 milisekund, priemer vrtů 90 mm, hĺbka vrtů 15m.

Trojsekundový grafický záznam z vibrografu Vibracord z meracieho stanoviska v lome je na obrázku 7.



Obr. 7 Grafický záznam priebehu jednotlivých zložiek seizmického vlnenia odstrelu č. 1 v lome Trenčianske Mitice - Skaličky zo dňa 24.03.2024. Záznam je z meracej aparatúry Vibracord na meracom stanovisku lom, 45 m od iniciačného vrtu odstrelu č. 1.

Na základe nameraných hodnôt rýchlostí a frekvencií jednotlivých zložiek vlnenia pri odstrelů malého rozsahu 1/TM/23, 2/TM/23 a 3/TM/23 v lome Trenčianske Mitice zo dňa 24.03.2023, sme mohli vyhodnotiť podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 účinky jednotlivých odstrelů a posúdiť ich vplyv na vodné zdroje v pásme hygienickej ochrany I. stupňa, a objekty nachádzajúce sa v blízkosti lomu Trenčianske Mitice - Skaličky.

Tab. 1 Namerané hodnoty vrcholovej rýchlosti vibrácií $v_{peak,x}$, $v_{peak,y}$ a $v_{peak,z}$ na meracích stanoviskách počas 1. odstrelu o 13 h: 36 m: 46 s.

Meracie stanovisko	1. odstrel / 24.03.2023 čas 13 h:36 m:46 s						
	$v_{peak,x}$ [mm/s]	$f_{d,x}$ [Hz]	$v_{peak,y}$ [mm/s]	$f_{d,y}$ [Hz]	$v_{peak,z}$ [mm/s]	$f_{d,z}$ [Hz]	L_{Cpeak} [dB]
V0	15,5	5,0	23,6	5,0	5,09	13,0	
HV1	1,02	5,89	1,01	5,89	0,46	5,89	92,4
HV2	1,91	5,89	0,59	11,72	0,79	5,89	99,0
V3a	0,68	4,0	0,72	4,0	0,39	4,0	
V3b	-	-	-	-	0,27	4,0	
V4a	0,55	5,9	0,93	5,5	0,26	4,2	
V4b	0,48	7,0	0,75	6,0	0,20	2,8	
V5	-	-	-	-	0,32	12,5	

Tab. 2 Namerané hodnoty vrcholovej rýchlosti vibrácií $v_{peak,x}$, $v_{peak,y}$ a $v_{peak,z}$ na meracích stanoviškách počas 2. odstrelu o 13 h: 38 m: 48 s.

Meracie stanoviska	2. odstrel / 24.03.2023 čas 13 h:38 m:48 s						
	$V_{peak,x}$ [mm/s]	$f_{d,x}$ [Hz]	$V_{peak,y}$ [mm/s]	$f_{d,y}$ [Hz]	$V_{peak,z}$ [mm/s]	$f_{d,z}$ [Hz]	L_{Cpeak} [dB]
V0	24,83	8,0	27,63	6,0	9,1	9,0	
HV1	2,06	5,89	0,99	8,89	0,58	5,89	93,2
HV2	2,04	5,89	0,94	5,89	0,77	5,89	94,4
V3a	0,81	5,0	0,72	5,0	0,38	5,0	
V3b	-	-	-	-	0,29	4,0	
V4a	0,84	6,6	1,38	5,7	0,35	5,8	
V4b	0,71	8,3	1,37	6,7	0,41	5,8	
V5	-	-	-	-	0,40	10,0	

Tab. 3 Namerané hodnoty vrcholovej rýchlosti vibrácií $v_{peak,x}$, $v_{peak,y}$ a $v_{peak,z}$ na meracích stanoviškách počas 3. odstrelu o 13 h: 40 m: 46 s.

Meracie stanoviska	3. odstrel / 24.03.2023 čas 13 h:40 m:46 s						
	$V_{peak,x}$ [mm/s]	$f_{d,x}$ [Hz]	$V_{peak,y}$ [mm/s]	$f_{d,y}$ [Hz]	$V_{peak,z}$ [mm/s]	$f_{d,z}$ [Hz]	L_{Cpeak} [dB]
V0	231,5	54	80,0	5,0	224,64	4,0	
HV1	1,02	5,89	1,01	5,89	0,46	8,89	94,6
HV2	3,39	5,89	1,97	8,79	1,53	5,86	95,3
V3a	1,08	4,0	1,12	5,0	0,56	4,0	
V3b	-	-	-	-	0,48	4,0	
V4a	1,54	7,02	2,0	5,52	0,55	5,2	
V4b	1,94	8,77	2,96	7,3	0,46	5,2	
V5	-	-	-	-	0,48	6,3	

7. Prípustná rýchlosť kmitania pre svahy, banské a inžinierske diela

Pre posudzovanie povrchových a podzemných banských a inžinierskych diel budovaných priamo v horninovom masíve, nemáme u nás zatiaľ nijaké odporúčania. Tieto diela sa obvykle posudzujú ako stavebné objekty na povrchu, čo zďaleka nevystihuje skutočné pomery, pretože horninový masív v porovnaní so stavebnými objektmi vydrží oveľa vyššie rýchlosti kmitania.

Zaistenie seizmickej bezpečnosti týchto diel pri trhacích prácach spočíva v zamedzení vzniku zostatkových deformácií v masíve hornín, na ktorých sa budujú tieto diela. V horninovom masíve sú prípustné iba také napätia, ktoré nevyvolávajú trvalé deformácie. Hodnotenie stability hornín jám, štôlní, podzemných komôr, ochranných pilierov, hydrotechnických štôlní, svahov, zárezov, etáží (poschodí) lomov, hald, atď., vychádza teda z deformačných vlastností hornín. Kritériom je pomerná deformácia a meradlom je opäť rýchlosť kmitania. Niektorí autori vychádzajú z obecného deformačného modelu hornín, ako spojitého pružno-plastického prostredia. Pri určitom napätí zaťaženie i odľahčenie horniny prebieha pružne, kým pri prekročení určitej hranice vznikajú trvalé zostatkové deformácie. Ich nahromadenie v dôsledku periodických odstrelův môže viesť k strate stability a závalu hornín. Potom pomerné deformácie $\varepsilon_0 \leq 0,0002 \div 0,0003$, sú ešte v medziach pružnosti.

Pre diela, ktoré musia mať dlhú životnosť (zárezy a pod.), podmienku seizmickej bezpečnosti je možné vyjadriť v závislosti na rýchlosti pozdĺžnych vln v masíve c_p :

$$v_p = 0,0001 c_p \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

Pre podzemné a iné banské diela s ohľadom na ich rôznu požadovanú životnosť, môžu byť hraničné podmienky kmitania iné. Diela sú odporúčané triediť do štyroch tried, v okolí ktorých v závislosti na čase životnosti sú prípustné relatívne deformácie $10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$.

Podľa funkcie pružno-plastických vlastností hornín a prípustnej pomernej deformácie sa pre výpočet prípustnej rýchlosti kmitania odporúča vzťah:

$$v_p = \frac{375 \cdot \left(c_p^2 - \frac{4}{3} \cdot c_s^2 \right) \cdot \left\{ [1 + (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon_0]^{\frac{8}{3}} - 1 \right\}}{c_p \cdot [1 + (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon_0]^4}$$

kde: v_p je prípustná rýchlosť kmitania [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$],

c_p, c_s sú rýchlosti pozdĺžnych a priečných vĺn v masíve [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$],

μ je Poissonove číslo,

ε_0 je prípustná pomerná deformácia.

Hodnoty v_p vypočítané zo vzorca pre jednotlivé triedy banských diel sú v tabuľke 4. Tieto sú v dobrom súlade s hodnotami c_p nameranými a stanovenými pre celistvé horniny v rôznych podzemných baniach ($300 \div 500 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$).

Pri periodicky uskutočňovaných odstreloch sa odporúča znížiť prípustné rýchlosti vibrácií v tabuľke 5 a 6, koeficientom bezpečnosti k_b , (v_p/k_b), v závislosti na triede objektu T:

Tab. 4 Súčiniteľ bezpečnosti pre jednotlivé triedy objektov

<i>Trieda objektu T</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Koeficient bezpečnosti k_b	1,52	1,44	1,36	1,3

Kvalita stavebných objektov (k) je v tabuľke 6. Celková kvalita sa skladá zo štyroch čiastkových hodnôt: $k = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$.

Kvalita k sa dosadzuje do vzťahu pre výpočet prípustnej rýchlosti vibrácií. Odporúčané prípustné vibrácie sú v tabuľke 6. V tabuľke 5 sú uvedené prípustné rýchlosti vibrácií v horninovom prostredí s rôznym stupňom porušenia, vyjadrenom koeficientom pevnosti k_f a rýchlosťou šírenia pozdĺžnych vĺn c_p .

Tab. 5 Rýchlosti vibrácií pri periodicky uskutočňovaných odstreloch

<i>Charakteristika hornín</i>	<i>Koeficient pevnosti k_f</i>	<i>c_p [$\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$]</i>	<i>Prípustné rýchlosti kmitania v_p [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]</i>			
			<i>1*</i>	<i>2*</i>	<i>3*</i>	<i>4*</i>
Silne trhlinovité a pórovité	0,5 ÷ 1	1 ÷ 2	41	82	122	204
Silne trhlinovité a pórovité	1 ÷ 3	2 ÷ 3	68	136	203	340
Skalné, silne trhlinovité	3 ÷ 5	3 ÷ 4	95	190	284	475
Relatívne celistvé, trhlinovité	5 ÷ 9	4 ÷ 5	122	244	367	600
Celistvé, málo trhlinovité	9 ÷ 14	5 ÷ 6	149	298	445	745
Veľmi pevné, celistvé	14 ÷ 20	6 ÷ 7	178	356	533	890

***Triedy inžinierskeho diela:**

- 1) Zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov, $\varepsilon_0 = 0,0001$, (hydrotechnické štôlnie, jamy, hlavné banské diela, odvodňovacie a iné vodohospodárske diela).
- 2) Dôležité diela životnosti od 5 do 10 rokov, $\varepsilon_0 = 0,0002$, (nárastiská, prekopy, stropné piliere, stabilné svahy etáží a hald a pod.).
- 3) Diela s krátkou životnosťou od 1 do 5 rokov, $\varepsilon_0 = 0,0003$, (chodby, komory apod.).

- 4) Diela s životnosťou do jedného roka, $\varepsilon_0 = 0,0004$, (dobývky, svahy pracovných etáží a pod.).

Tab. 6 Rýchlosti vibrácií pri periodicky uskutočňovaných odstreloch.

Trieda objektu T	Prípustné rýchlosti vibrácií v_p [mm.s ⁻¹] pre kvalitu objektu k								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	46	27,6	16,5	10	6	3,7	2,2	1,3	-
2	75	46	27,6	16,5	10	6	3,7	2,2	1,3
3	120	75,6	46	27,6	16,5	10	6	3,7	2,2
4	198	120	75	46	27,6	16,5	10	6	3,7

Zdroje pitnej vody sú situované v horninovom masíve a ich životnosť sa predpokladá na niekoľko desaťročí. Uskutočňované odstrely v lome Trenčianske Mítice Skaličky považujeme za periodické vzhľadom k tomu, že pôjde o permanentnú ťažbu v lome. Triedu posudzovaného objektu – zdroje pitnej vody zaradíme medzi **zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov T-1**. Hodnotenie kvality objektu závisí od viacerých faktorov. Vychádza zo spôsobu jeho zakladania, konštrukcie, použitého materiálu a fyzického stavu objektu v čase merania. V prípade posudzovania seizmických účinkov trhacích prác na zdroje pitnej vody nejde len o posúdenie fyzického stavu vodohospodárskeho diela, ale hlavne o posúdenie horninového prostredia, ktoré je kolektorom. Z uvedených dôvodov sme pre parameter kvality objektu **k** stanovili hodnotu **6**, kde je prípustná rýchlosť vibrácií jednotlivých zložiek **2,2 mm.s⁻¹** (Tab. 6). Pri hodnotách rýchlostí kmitania menších ako 2,2 mm.s⁻¹ nedochádza k vzniku ďalších porúch ani v porušenom horninovom prostredí.

8. Dovoľená rýchlosť vibrácií pre chránené vodohospodárske objekty a stavby

Vychádzajúc z odporúčaní STN EN 1998-1/NA/Z1 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané pre clonové odstrely v lome Trenčianske Mítice Skaličky, ktoré predstavujú rádovo stovky kilogramov, kedy frekvencie kmitov bývajú obvykle **f < 10 Hz** a na základe odolnosti vodohospodárskych objektov voči technickej seizmicite je možno vodný zdroj v okolí lomu Trenčianske Mítice Skaličky zaradiť medzi **zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov T-1**.

Čo sa týka kvality objektu túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristík a údajov, môžeme zaradiť do **kvality objektu k-6**.

Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelov na ložisku vápenca Trenčianske Mítice a s ohľadom na charakter prenosového prostredia, pre rozpojovanie clonovými odstreli na ložisku Trenčianske Mítice a pre vodohospodárske objekty v blízkosti lomu Trenčianske Mítice Skaličky, možno maximálnu dovoľenú rýchlosť vibrácií (zložku rýchlosti) stanoviť hodnotou

$$v_d \leq 2 \text{ mm.s}^{-1}.$$

Vychádzajúc z odporúčaní STN EN 1998-1/NA/Z1 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané pre clonové odstrely, ktoré predstavujú rádovo desiatky kilogramov, kedy frekvencie kmitov bývajú obvykle **f > 10 Hz** a na základe odolnosti stavebných objektov voči technickej seizmicite je možno stavebné bytové objekty v obci Trenčianske Mítice zaradiť do **triedy odolnosti B**.

Čo sa týka druhu a kategórie základovej pôdy chránených objektov, túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristík a údajov, môžeme zaradiť do **kategórie b**, čo je najbližšie ku skutočnosti (**hladina podzemnej vody je viac ako 3 m pod úrovňou povrchu**).

Na základe nameraných údajov pri odstreloch v lome Trenčianske Mitice Skaličky, kde frekvencie kmitov boli $f < 10 \text{ Hz}$ a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelov na ložisku vápenca lom Trenčianske Mitice Skaličky a s ohľadom na prevažne vyšší vek stavebných objektov, pre rozpojovanie clonovými odstrelní na ložisku lom Trenčianske Mitice Skaličky a pre stavebné bytové objekty v obci Trenčianske Mitice, možno maximálnu dovolenú rýchlosť vibrácií (zložku rýchlosti) stanoviť hodnotou

$$v_d \leq 6 \text{ mm.s}^{-1}.$$

9. Namerané seizmické účinky clonových odstrelov a ich analýza

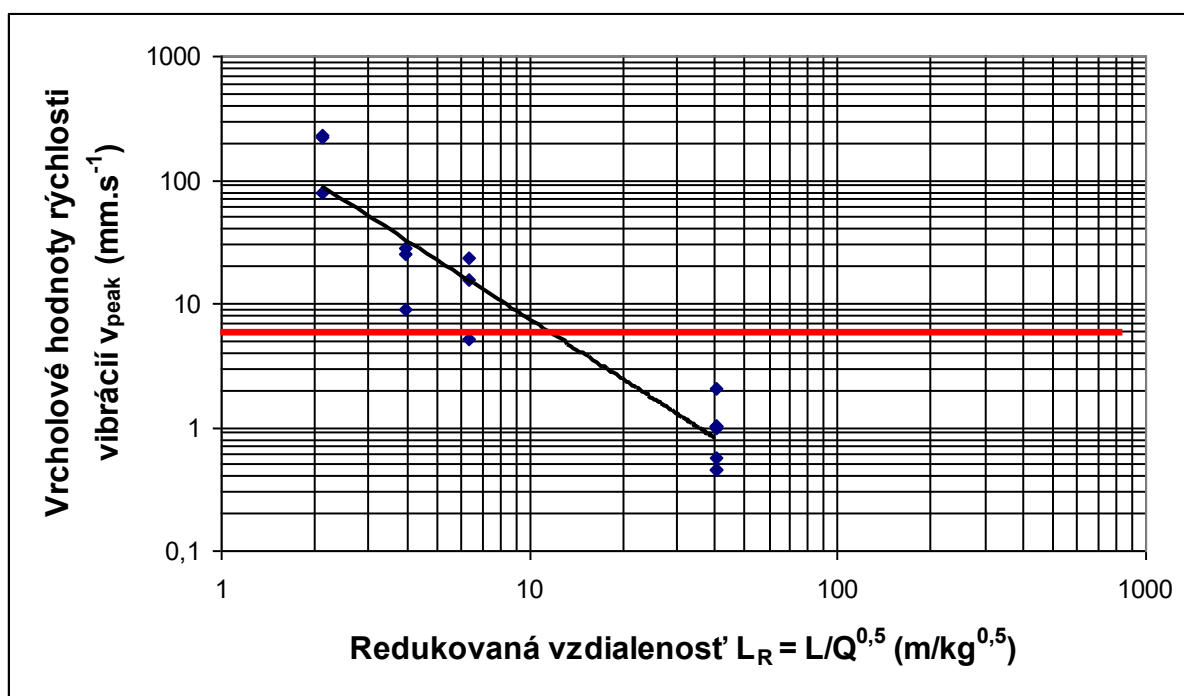
Na základe nameraných hodnôt rýchlostí a frekvencií jednotlivých zložiek vlnenia pri skúšobných odstreloch sme mohli vyhodnotiť podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 (Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií) účinky jednotlivých odstrelov na blízku infraštruktúru lomu Trenčianske Mitice Skaličky.

Z frekvenčnej analýzy jednotlivých zložiek rýchlosti kmitania na meracích stanoviskách vyplynulo, že energia odstrelu pôsobiaca na posudzované objekty mala frekvenciu menšiu ako 10 Hz (Obr. 7). To znamená, že pri prechode seizmických vln podloží posudzovaného objektu, pôsobia tieto vlny na posudzovaný objekt väčšou energiou, ako pri frekvenciách nad 10 Hz. To bol dôvod na stanovenie prípustnej rýchlosti vibrácií $2,0 \text{ mm.s}^{-1}$.

Namerané maximálne hodnoty seizmických účinkov generované clonovými odstrelní, ktoré boli uskutočnené v lome Trenčianske Mitice Skaličky sú v tabuľkách 7, 8 a 9. Tieto hodnoty nám poslúžili ako podklad na stanovenie zákona útlmu seizmických vln v lome Trenčianske Mitice Skaličky (Pandula, Kondela, 2010).

Tab. 7 Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosti vibrácií odstrelov v lome Trenčianske Mitice Skaličky na rodinnom dome č. 96 v obci Trenčianske Mitice.

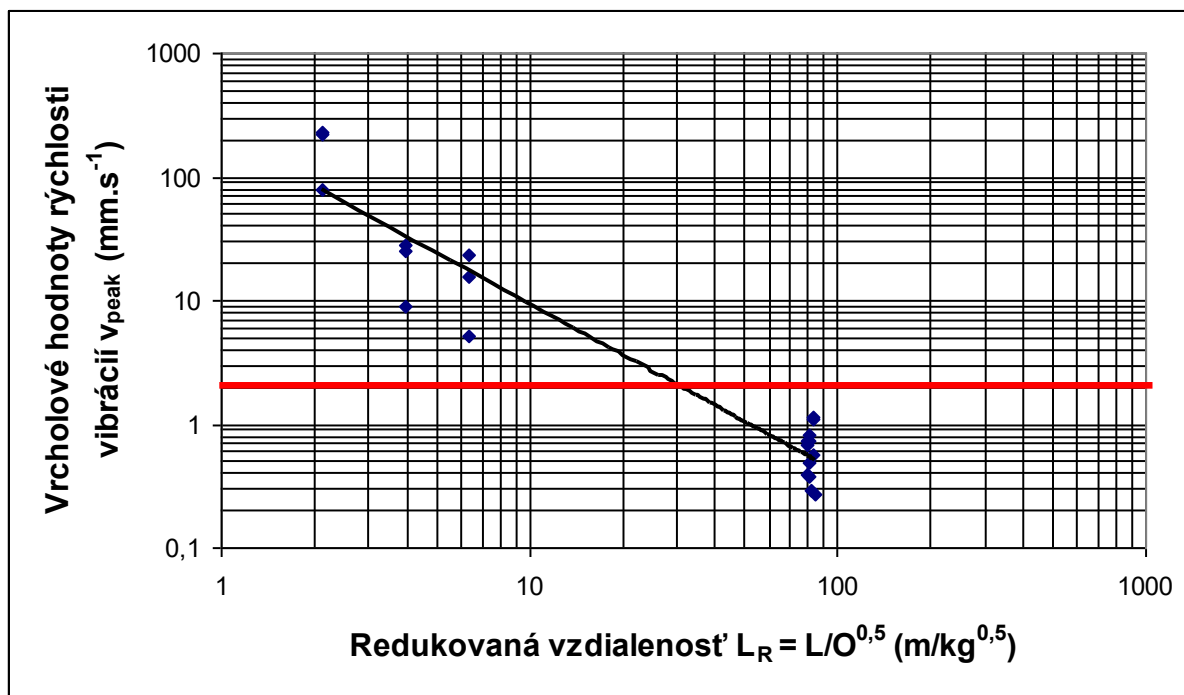
L [m]	Q [kg]	$L_R = L/Q^{0,5} [\text{m/kg}^{0,5}]$	$v_x [\text{mm/s}]$	$v_y [\text{mm/s}]$	$v_z [\text{mm/s}]$
45	50	6,36	15,5	23,6	5,09
28	50	3,96	24,83	27,63	9,1
15	50	2,12	231,5	80,0	224,64
285	50	40,3	1,02	1,01	0,46
285	50	40,3	2,06	0,99	0,56
285	50	40,3	1,02	1,01	0,46



Obr. 8 Zákon útlmu seizmických vln pre lom Trenčianske Mitice Skaličky a rodinný dom č. 96 v obci Trenčianske Mitice

Tab. 8 Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlostí vibrácií odstrelov v lome Trenčianske Mitice Skaličky a na vodnom zdroji Zadný prameň v obci Trenčianske Mitice.

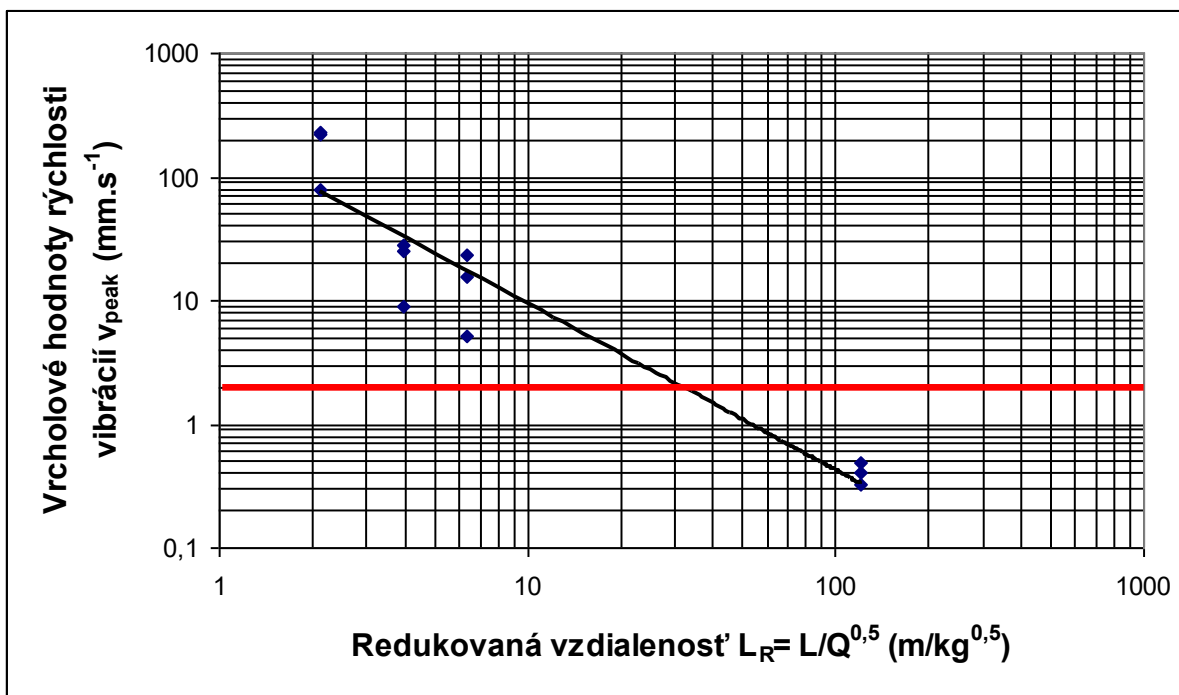
L [m]	Q [kg]	$L_R = L/Q^{0,5}$ [$\text{m/kg}^{0,5}$]	v_x [mm/s]	v_y [mm/s]	v_z [mm/s]
45	50	6,36	15,5	23,6	5,09
28	50	3,96	24,83	27,63	9,1
15	50	2,12	231,5	80,0	224,64
589	50	83,31	1,08	1,12	0,56
572	50	80,90	0,81	0,72	0,38
559	50	79,86	0,68	0,72	0,39
597	50	84,44			0,27
580	50	82,04			0,29
567	50	81,20			0,48



Obr. 9 Zákon útlmu seizmických vln pre lom Trenčianske Mitice Skaličky a vodný zdroj Zadný prameň v obci Trenčianske Mitice

Tab. 9 Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlostí vibrácií odstrelov v lome Trenčianske Mitice a na vodnom zdroji MP – 1 pri obci Trenčianske Mitice.

L [m]	Q [kg]	$L_R = L/Q^{0,5}$ [$\text{m/kg}^{0,5}$]	v_x [mm/s]	v_y [mm/s]	v_z [mm/s]
45	50	6,36	15,5	23,6	5,09
28	50	3,96	24,83	27,63	9,1
15	50	2,12	231,5	80,0	224,64
857	50	121,2	-	-	0,32
857	50	121,2	-	-	0,40
857	50	121,2	-	-	0,48



Obr. 10 Zákon útlmu seizmických vln pre lom Trenčianske Mitice Skaličky a vodný zdroj MP - 1 pri obci Trenčianske Mitice

Meranie seizmických účinkov odstrelov v lome Trenčianske Mitice Skaličky dňa 24. 03. 2023 bolo uskutočnené v podmienkach málo zavodneného prenosového horninového prostredia. Nameraná maximálna hodnota zložiek rýchlosti vibrácií odstrelov v lome Trenčianske Mitice Skaličky je v tabuľke 3. Podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 platí:

$$v = K \cdot \frac{\sqrt{Q_{ev}}}{L},$$

v - je nameraná maximálna rýchlosť vibrácií (maximálna zložka rýchlosti vibrácií) generovaná odstreloom, [mm.s⁻¹],

Z uvedeného vzťahu, potom koeficient nezavodneného prenosového prostredia K pre lom Trenčianske Mitice Skaličky a sledované vodohospodárske a bytové objekty bude

$$K = v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 3,39 \cdot 273 / \sqrt{50} = 130,9$$

Na základe takto vypočítaného koeficientu prenosového prostredia je možné vypočítať maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož Q_{evmax} pre najbližšiu vzdialenosť zdroja - trhacích prác v lome Trenčianske Mitice Skaličky a receptora – vodného zdroja Zadný prameň:

$$Q_{evmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = 2^2 \cdot 544^2 / 130,9^2 = 69,1 \text{ kg.}$$

Na základe údajov z tabuľky 7 a hodnoty koeficientu nezavodneného prenosového prostredia, bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti vibrácií na redukovanej vzdialenosti pri monitorovaných odstreloch (Pandula a kol., 2012). Graf na obr. 8 predstavuje tzv. zákon útlmu seizmických vln pre lom Trenčianske Mitice Skaličky, v ktorom bola použitá hodnota Q v tvare

$$v = \left(\frac{L}{Q^{0,5}} \right) = K \left[\frac{L}{Q^{0,5}} \right]^n,$$

kde „v“ je maximálna rýchlosť vibrácií (maximálna zložka rýchlosti vibrácií) generovaná odstrelom, [mm,s⁻¹],

- $L/Q^{0,5}$ je tzv. redukovaná vzdialenosť, [m.kg^{-0,5}],
- L je najkratšia vzdialenosť zdroja otrasov od ich receptora, [m],
- Q je hmotnosť nálože časového stupňa, [kg],
- K je súčiniteľ závislý od podmienok odstrelu, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,
- n je ukazovateľ útlmu seizmických vln.

Zo zákona útlmu seizmických vln je možné stanoviť pre konkrétny receptor veľkosť nálože pri známej vzdialenosti tak, aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosti vibrácií nepresiahli stanovené maximálne dovolené rýchlosti vibrácií.

Zo zákona útlmu seizmických vln pre lom Trenčianske Mitice Skaličky je redukovaná vzdialenosť pre maximálne dovolenú rýchlosť vibrácií prevodné zdroje v obci Trenčianske Mitice $v_{\max} = 2$ mm/s vyjadrená hodnotou $L_R = 60$. Potom je možné vypočítať maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož Q_{evmax} pre vzdialenosť zdroja - trhacích prác v lome Trenčianske Mitice Skaličky a receptora – vodný zdroj Zadný prameň takto:

pre vzdialenosť 1000 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (1000/60)^2 = 277,75$ kg,
 pre vzdialenosť 900 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (900/60)^2 = 225,0$ kg,
 pre vzdialenosť 800 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (800/60)^2 = 177,75$ kg,
 pre vzdialenosť 700 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (700/60)^2 = 136,0$ kg,
 pre vzdialenosť 600 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (600/60)^2 = 100,0$ kg,
 pre vzdialenosť 500 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (500/60)^2 = 69,5$ kg,
 pre vzdialenosť 400 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (400/60)^2 = 44,5$ kg,
 pre vzdialenosť 300 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (300/60)^2 = 25,0$ kg.

Zo zákona útlmu seizmických vln pre lom Trenčianske Mitice Skaličky je redukovaná vzdialenosť pre maximálne dovolenú rýchlosť vibrácií pre vodný zdroj MP – 1 pri obci Trenčianske Mitice $v_{\max} = 2$ mm/s vyjadrená hodnotou $L_R = 50$. Potom je možné vypočítať maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož Q_{evmax} pre vzdialenosť zdroja - trhacích prác v lome Trenčianske Mitice Skaličky a receptora – vodný zdroj MP - 1 takto:

pre vzdialenosť 1000 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (1000/50)^2 = 400,00$ kg,
 pre vzdialenosť 900 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (900/50)^2 = 324,00$ kg,
 pre vzdialenosť 800 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (800/50)^2 = 256,00$ kg,
 pre vzdialenosť 700 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (700/50)^2 = 196,0$ kg,
 pre vzdialenosť 600 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (600/50)^2 = 144,0$ kg,
 pre vzdialenosť 500 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (500/50)^2 = 100,0$ kg,
 pre vzdialenosť 400 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (400/50)^2 = 64,0$ kg,
 pre vzdialenosť 300 m $Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (300/50)^2 = 36,0$ kg.

Takýmto spôsobom je možné vypočítať pre konkrétnu vzdialenosť zdroja seizmických účinkov – trhacích prác v lome Trenčianske Mítice Skaličky maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož Q_{evmax} .

10. Záver

Ťažbu v lome Trenčianske Mítice Skaličky je plánované uskutočňovať clonovými odstrelnami. Tejto skutočnosti potom zodpovedá v závislosti na vzdialenosti zdroj – receptor aj intenzita seizmických účinkov.

Výsledky meraní seizmických účinkov skúšobných odstrelov, ktoré boli uskutočnené v lome Trenčianske Mítice Skaličky potvrdili, že intenzita seizmických účinkov **neprekročila** hodnoty rýchlostí vibrácií, ktoré stanovuje platná technická norma STN EN 1998-1/NA/Z1 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií $v_p < 2,2 \text{ mm.s}^{-1}$ pre frekvencie menšie ako 10 Hz a pre zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov T-1, s koeficientom kvality objektu k_6 (Tab. 6). Z detailného rozboru časového priebehu vibrácií bola zistená pri vzdialenosti zdroj – receptor 273 m maximálna rýchlosť vibrácií $v_x = 3,39 \text{ mm.s}^{-1}$ pri frekvencii 5,89 Hz na rodinnom dome č. 99.

Zo zákona útlmu seizmických vln je potrebné pri projektovaní trhacích prác stanoviť pre konkrétny receptor veľkosť nálože na jeden časový stupeň pri známej vzdialenosti zdroj - receptor tak, aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosti vibrácií nepresiahli stanovené maximálne dovolené rýchlosti vibrácií na bytové objekty a vodné zdroje.

Pri dodržaní podmienok pre vzdialenosť vodných zdrojov 500 m pri maximálnej náloži 69,5 kg na jeden časový stupeň nedôjde k porušeniu horninového prostredia kolektorov vodohospodárskych objektov obce ani k porušeniu bytových objektov obce Trenčianske Mítice z dôvodu vyvolanej technickej seizmicity v lome Trenčianske Mítice Skaličky.

Zníženie seizmických účinkov je možné dosiahnuť aj optimalizáciou časovania jednotlivých odstrelov. Pri optimalizácii časovacej schémy, rozstupu vrtov a záberu odstrelnu je pravdepodobné, že nálož na časový stupeň bude môcť byť vyššia ako je teraz stanovená.

Odporúčania na zníženie účinkov vibrácií od odstrelov:

- znížiť výšku etáže v lome na 10 m pri odstreloch, ktorých vzdialenosť od vodných zdrojov alebo trvalo obývaných objektov (rodinných domov) je menšia ako 400 m,
- ak je odstreln situovaný do vzdialenosti do 400 m od stavebných objektov a vodných zdrojov monitorovať účinky vibrácií prevádzkových odstrelov,
- dodržiavať pri návrhu vrtnej schémy odstrelnu vzťah rozstup/záber tak, aby bol väčší ako 1.

Literatúra

- Bañacký, V., Sabol, A., 1973: Geologická mapa Záhorskej nížiny, GÚDŠ Bratislava.
- Dojčár, O. a kol., 1996: Trhacia technika, Montanex, a.s., Ostrava 1996, 421 s.
- Kondela, J., Pandula, B., 2013: Výskum účinkov technickej seizmicity na krasové útvary v karbonátových horninových masívoch, Nové technológie pre vyhľadávanie geotermálnych zdrojov: Medzinárodná vedecká konferencia, Vol. 2013, pp. 49 - 61.
- Melioris, L., Drexler, V., 1996: Trenčianske Mítice hydrogeologický vrt MP-1. Záv. správa IGHP Žilina, 68s.
- Müncner, E a kol., 2000: Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelov, SSTVP Banská Bystrica 2000, 201 s.

- Pandula, B., Kondela, J., Pachocka, K., 2012: Attenuation law of seismic waves in technical seismicity, *Metalurgija*, Vol. 51(3), pp. 427-431
- Pandula, B., Kondela, J., 2010: Metodológia seizmiky ťhacích prác, SSTVP Banská Bystrica, DEKI Design, s. r. o., 156 s.
- Pandula, B., Kondela, J., Šimo, J., 2023: Meranie a hodnotenie vplyvu technickej seizmicity vyvolanej ťhacími prácami v lome Trenčianske Múce – Skaličky na environment, Výskumná správa, Klub ZPS vo Vibroakustike, s. r. o., 34 s.
- STN Eurokód 8, Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 1, národná príloha, zmena 1 (STN EN 1998-1/NA/Z1).

Zmena parametrov zaberú a rozteče odstrelu ako cesta k optimalizácii trhacích prác – prípadová štúdia lomu Včeláre a Trebejov

Prof. RNDr. Blažej Pandula, CSc.
Doc. Mgr. Julián Kondela, PhD.
Ing. Ivan Buchla
Ing. Konček M
Ing. Hreus S.

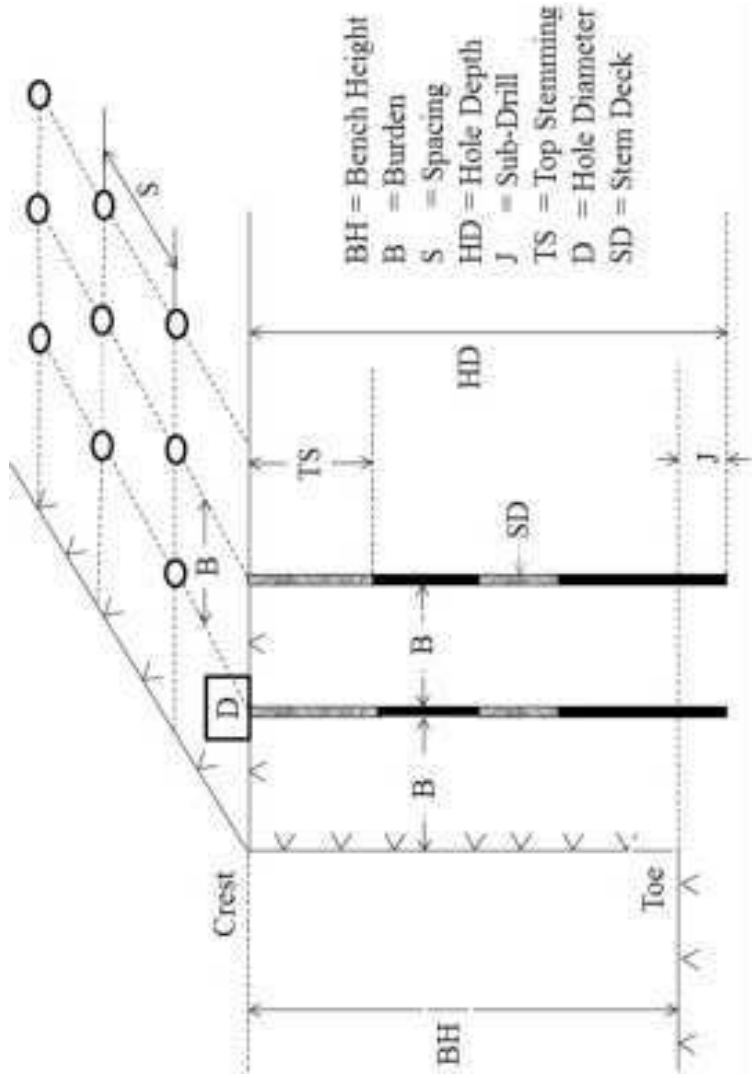


Abstrakt

Najekonomickejšou a technologicky najpriateľnejšou **technikou rozpojovania** horninového masívu v súčasnosti je **použitie trhacích prác**. Trhacie práce sú využívané aj pri výstavbe občianskych stavebných objektov vrátane výstavby diaľnic, tunelov, podchodov alebo priehrad. Prevádzkové a nákladové dopady trhacích prác sú významné pre ťažobné prevádzky. V konečnom dôsledku ovplyvňujú celú ťažobnú operáciu od prepravy až po predaj. Fragmentácia skalného masívu pri ťažbe zahŕňa rozpojenie horniny pri odstrele do vhodných veľkostných frakcií. Zjednodušuje sa tým manipulácia s horninou, jej transport a spracovanie. Optimalizovaný proces fragmentácie výbuchu zlepšuje výkonnosť nakladačov, prepravníkov a drvičov. Súčasne minimalizuje ich údržbu a opravy. Každý **odstrel je zdrojom pozitívnych aj negatívnych dopadov**. Pozitívne je, že pri výbuchu sa uvoľní veľké množstvo plynov s vysokým tlakom, intenzívnym teplom a energiou. To spôsobí, rozpukanie a rozpojenie horninového masívu. Až do **30%** uvoľnenej energie výbuchom sa využije **na fragmentáciu a odhodenie** rozpojeného materiálu. Žiaľ niekedy viac ako **70% uvoľnenej energie spôsobí negatívne účinky**. Medzi negatívne účinky patrí **pretlak vzduchu/ tlaková vlna, vibrácie, hluk a prach**. Práve negatívne účinky môžu ohroziť bezpečnosť a zdravie ľudí a poškodiť stavebné konštrukcie v blízkosti zóny výbuchu.

SOURCE OF VIBRATION

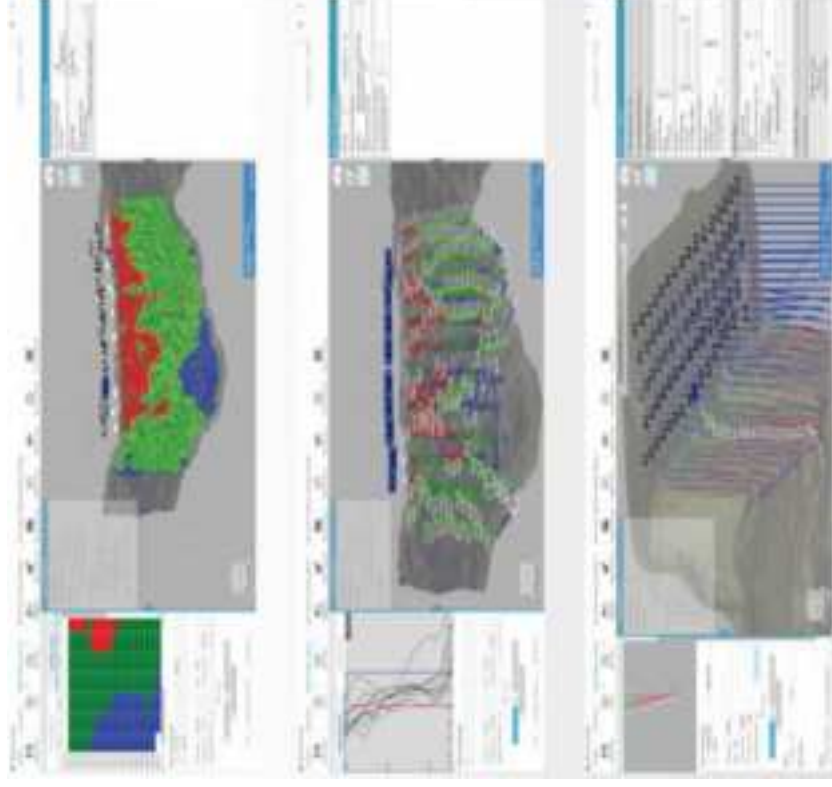
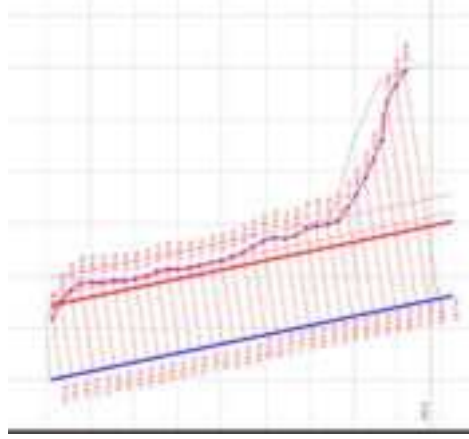
Technique parametre odstrelu



SOURCE OF VIBRATION

Optimálne nastavenie parametrov odstrelu a ich vyhodnotenie

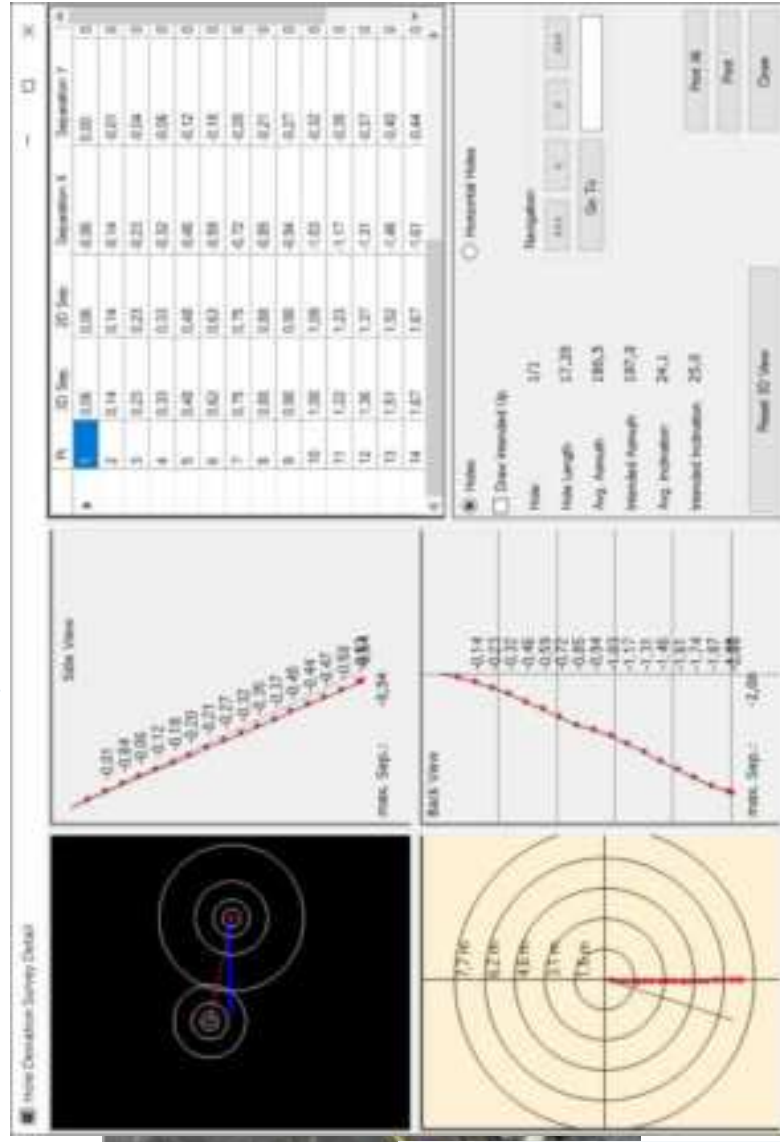
- Digitization - a real 3D model
- SW- optimization position bore holes



SOURCE OF VIBRATION

Meranie skutočných deviací

- Meranie skutočnej trajektórie vrtu
- Porovnanie s plánovaním a reálnym stavom
- Optimalizácia a prispôsobenie konštrukcie vrtu trhavinam

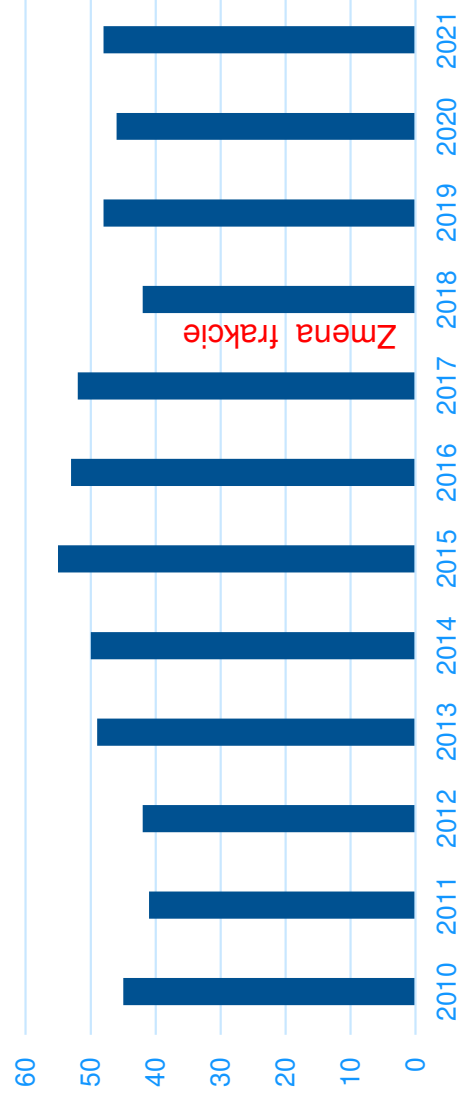


Reálne skúsenosti s využívaním moderných prostriedkov pre projektovanie odstrelov

- Slovensko , lom Trebejov
- Dolomit
- 25 CO, 15 MO
- Ročná ťažba v priemere 280Kt



výťažnosť vápenkarskej frakcie



Do 2017 – fr. 16-45 mm
Od 2018 - fr. 20-35 mm

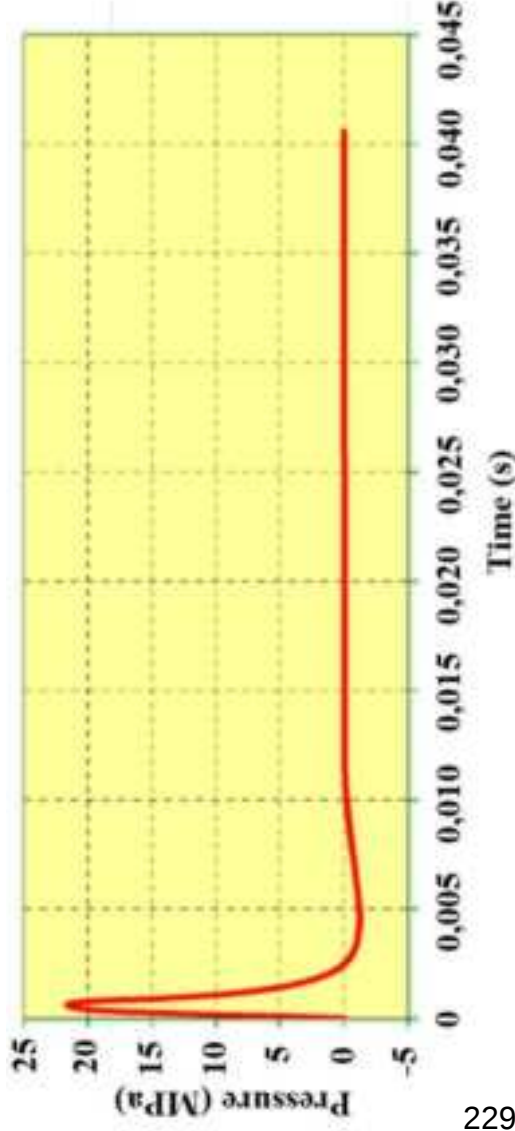
SOURCE OF VIBRATION

Príklad zmeny parametrov



SOURCE OF VIBRATION

Časovanie vrto



- $\Delta t \geq 250 \text{ ms}$ (vibrácie zoslabnú skôr ako dôjde k výbuchu ďalšieho vrtu),
- $\Delta t < 250 \text{ ms}$ (výbuch ďalšieho vrtu utlmí účinky vibrácií).

Graf priebehu tlakovej vlny pri výbuchu (Makovička, Makovička, 2004).

- ukazuje maximálne tlakové napätie pri iniciácii jedného vrtu, ktorý trvá 2,5 ms,
- preto je potrebné, aby časové oneskorenie iniciácie jednotlivých vrto

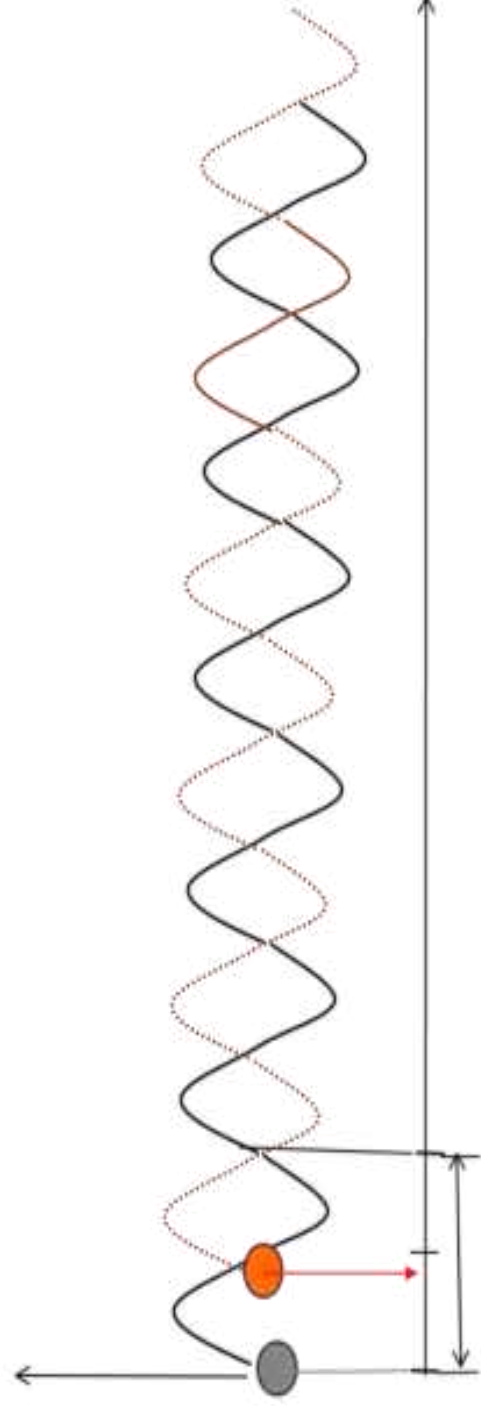
bolo väčšie ako 2,5 ms.

SOURCE OF VIBRATION

Oneskorenie odpaľovania jednotlivých vrstov je dané štruktúrnymi vlastnosťami horninového prostredia

$\Delta t = T/2$ T - je perióda vibračných vln

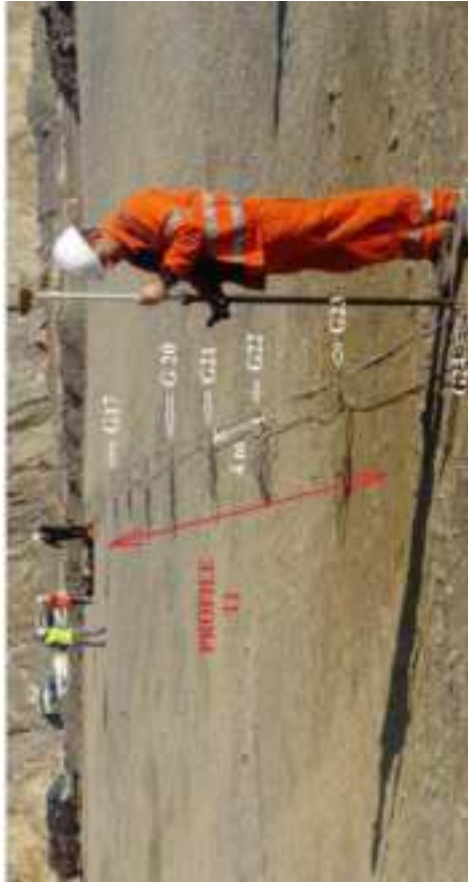
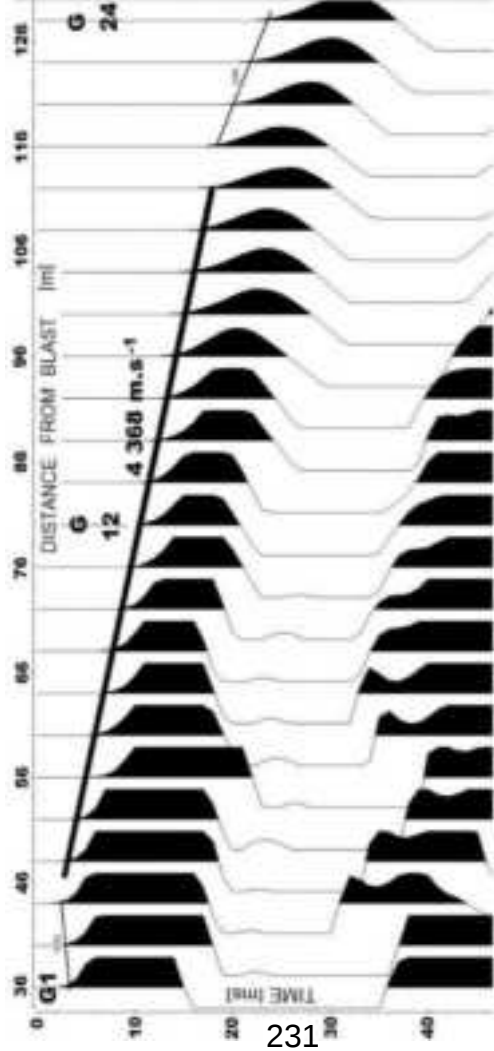
- *Podľa teórie šírenia a útlmu seizmických vln možno najväčší útlm dosiahnuť pri milisekundovom načasovaní iba vtedy, ak sú vlny generované d'alsím výbuchom v opačnej fáze.*



SOURCE OF VIBRATION

Časovanie jednotlivých vŕtvov je dané štruktúrnymi vlastnosťami horninového prostredia

$$\Delta t = T/2 = 1/2f \quad f \text{ – frekvencia seizmických vĺn}$$



Velocity of seismic waves propagation 4 300 m.s ⁻¹	Frequencies (Hz)	Timing delay (ms)	Distance from blasting (m)
	30	17	70
	24	20	86
	20	25	107.5

Detonácia výbušnej nálože má vždy veľmi silný dopad na životné prostredie.

Prenosové prostredie - vzduch, voda, pôda, hornina, časť stavby, v prípade trhacích prác ide najmä o prenos seizmických vĺn horninovým prostredím.

Existuje teoretický vzťah medzi účinkom a príčinou, medzi dvoma premennými, hodnotou maximálnej rýchlosti častíc PPV a redukovanou vzdialenosťou LR

$$v = \left(\frac{L}{Q^{0,5}} \right) = K \left[\frac{L}{Q^{0,5}} \right]^n$$

where v = the peak particle velocity (maximum component of the vibration velocity) generated by the blast, [mm.s⁻¹],
 $L \cdot Q^{-0.5} = LR$ **called reduced distance**, [m.kg^{-0.5}],

L = the shortest distance of the blast from receptor, [m], Q = the charge weight per borehole, [kg],

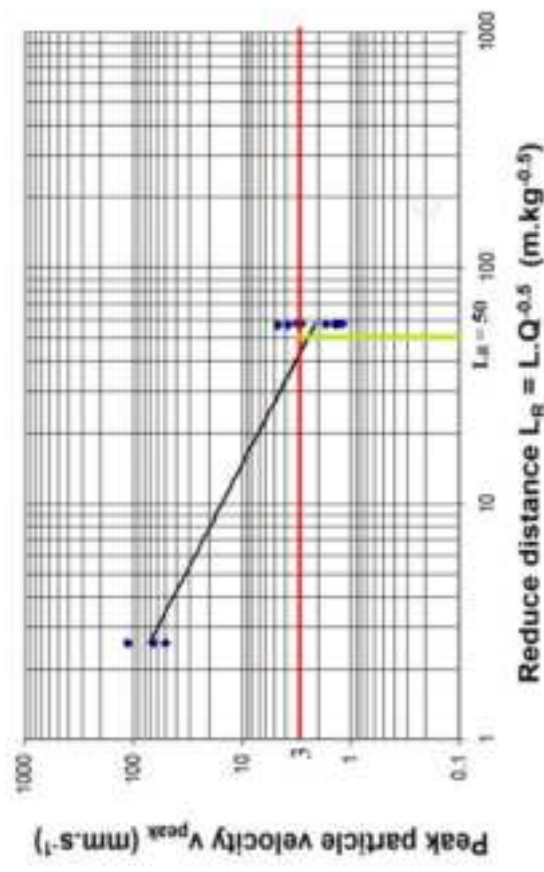
K = the factor depends on the blast conditions, the properties of the transmission environment, the type of explosive, etc.,

n = an indicator of seismic wave attenuation (Dojčár et al. 1996; Pandula and Kondela, 2010; Pandula et al. 2012).

TRANSMISSION ENVIRONMENT

The law of attenuation - APPLICATION IN PRACTICE

Aby bolo možné presne určiť zákon útlmu seizmických vĺn medzi zdrojom výbuchu a receptorom, je potrebné zmerať hodnoty maximálnej rýchlosti častíc PPV v blízkosti zdroja výbuchu a na receptore.



Grafická závislosť maximálnych zložiek PPV a redukovanej vzdialenosti pri lomovom odstrel - zákon útlmu seizmických vĺn.

Červená čiara - označuje maximálne bezpečné povolené PPV pre budovy v obci

TRANSMISSION ENVIRONMENT

The law of attenuation - APPLICATION IN PRACTICE

Ťažba v lokalite lomu sa vykonáva clonovým odstrelom. Na základe nameraných a vypočítaných hodnôt pri prevádzkových odstreloch v lome bol stanovený zákon útlmu seizmických vĺn, na základe ktorého je možné pri opakovaných clonových odstreloch použiť maximálnu prípustnú hmotnosť nálože na vrt v závislosti od vzdialenosti

Distance from blasting (m)	Calculation for $L_R = 50$ (m.kg ^{0.5})	Maximum charge weight per borehole (kg)
100	$Q_{vmax} = L^2/L_R^2 = 100^2 / 50^2 =$	4
200	$Q_{vmax} = L^2/L_R^2 = 200^2 / 50^2 =$	16
300	$Q_{vmax} = L^2/L_R^2 = 300^2 / 50^2 =$	36
400	$Q_{vmax} = L^2/L_R^2 = 400^2 / 50^2 =$	64
500	$Q_{vmax} = L^2/L_R^2 = 500^2 / 50^2 =$	100

Výpočet maximálnej prípustnej hmotnosti trhavín na vrt/časový stupeň v závislosti od vzdialenosti pri opakovaných clonových odstreloch v lome

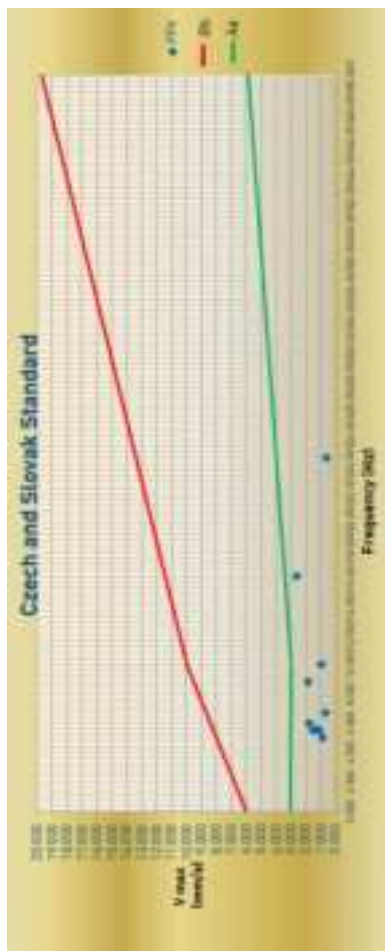
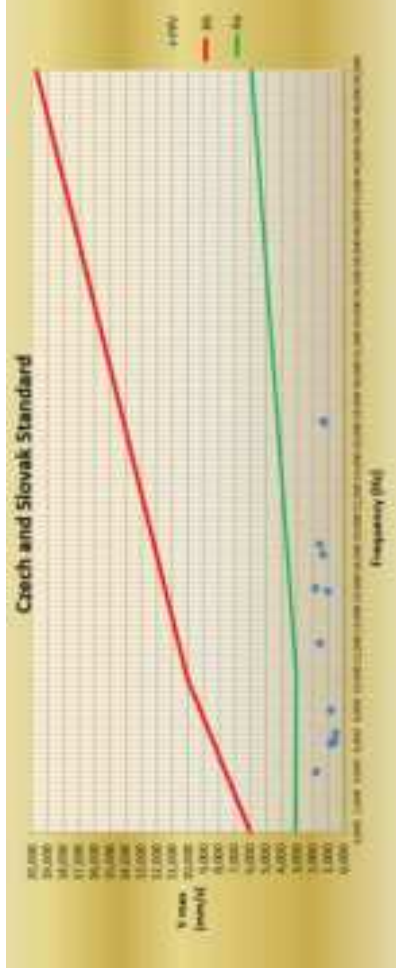
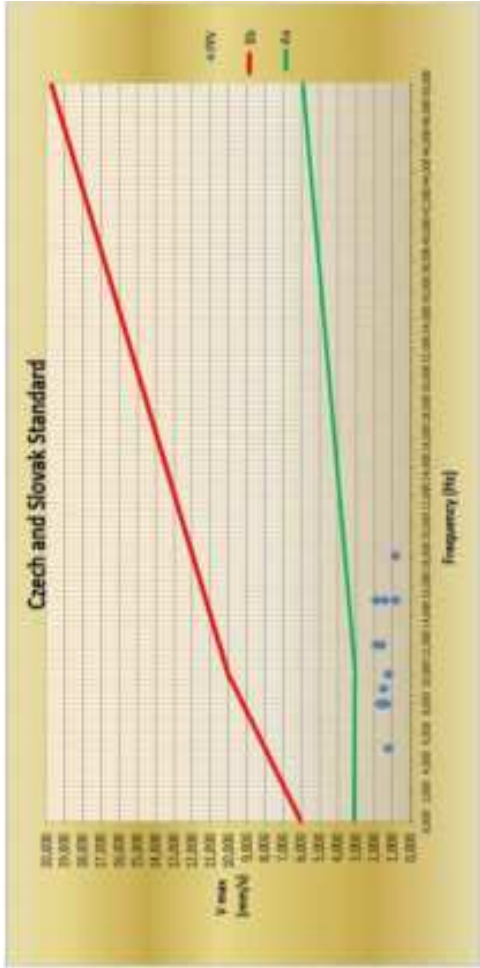
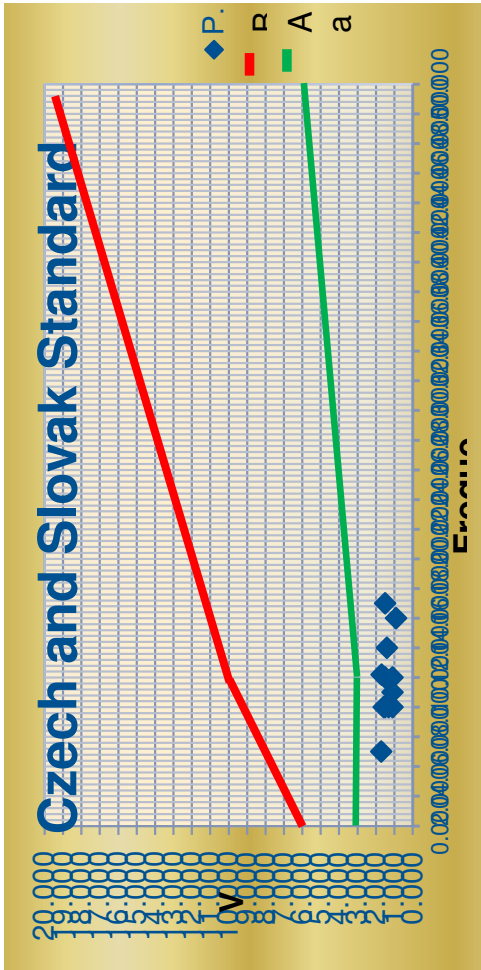
Záver

Výsledky merania seizmických účinkov TUKE-FBERG 2019-2022

Dátum odstreľu	Číslo odstreľu	Celková hmotnosť trhaviny/max. Q vo vrte[kg]	Časovanie odstreľu [ms]	Rýchlosť [mm.s ⁻¹]			Frekvencia [Hz]			Číslo etáže
				x	y	z	x	y	z	
09.1 2019	700	3667,5/187,5	25	1,5	2,21	1,09	38	17	24,1	2.etáž
31.1 2019	701	4000,0/155	17	0,6	0,72	0,37	7,8	5,3	13	1.etáž
16.4 2019	705	1725,0/195	25	1,5	1,08	0,70	12,	8,6	32	2.etáž
25.4 2019	706	2000,0/188	17	0,4	0,30	0,20	5,8	5,8	12	2.etáž
11.6 2019	709	1175,0/125	25	0,5	0,78	1,04	6,6	6,0	16	4.etáž
25.6 2019	710	2675,0/165	25	1,0	1,65	1,07	6,3	13	23	2.etáž
10.7 2019	711	1945/155	17	0,4	0,65	0,37	5,8	5,8	15	1.etáž
25.7 2019	712	1560/130	25	1,3	1,23	1,01	18	5,8	24	3.etáž
30.7 2019	713	660/165	25	1,8	1,66	0,55	16	5,8	22	2.etáž
16.12 2019	716	2514/165	17	1,19	0,93	0,52	10,7	8,4	27	1.etáž
07.05 2021	735	3362/221	25	0,93	0,67	0,55	6,2	21	15	4. etáž
04.4 2022	753	1366/102	25	1,0	0,95	0,75	5	3	1	4. etáž
14.04 2022	754	1772/117	25	1,1	0,95	0,5	5,5	3,9	0,9	3. etáž

Záver

Výsledky merania seizmických účinkov Carmeuse 2019-2022



Záver

- Predložená metodika umožňuje znížiť negatívne účinky vibrácií na bezpečnú úroveň. Ak chceme aplikovať prezentovanú metodiku, je potrebné experimentálne určiť rýchlosť šírenia a dominantné frekvencie seizmických vln z trhacích prác v jednotlivých banských prevádzkach, ktoré sa nachádzajú v rôznych horninových prostrediach na základe čoho je možné určiť optimálne milisekundové časovanie v jednotlivých vrtoch.
- Výskumom z praxi bol overený zákon útlmu seizmických vln, ktorý najlepšie charakterizuje prenosové prostredie. Pre každý clonový odstrel smerom k receptorom musí byť stanovený zákon útlmu seizmických vln. Zo zákona je možné nastaviť maximálnu nálož vo vrte/časový stupeň v závislosti od vzdialenosti receptora
- Príprava odstrelov digitalizovaním lepšie stanovuje projektovanie odstrelov s dodržaním parametrov a následnou kontrolou , pre bezpečný a efektívny výkon trhacích prác pri minimalizovaní dopadov na životné prostredie (seizmicita , ...)



AKTUÁLNY STAV VÝSKUMNÝCH PRÁČ NA PROJEKTE MINETALC

Marian Šofranko^{1)*}, Ján Fehér¹⁾, Dávid Fehér¹⁾, Jozef Čambál¹⁾, Gabriel Wittenberger¹⁾,

¹⁾*Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Košice, Slovenská Republika*

**Korešpondenčný autor: e-mail: marian.sofranko@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2955, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Ústav zemských zdrojov, Oddelenie montánných vied, Park Komenského 19, 042 00 Košice, Slovenská Republika*

Abstrakt

V súčasnej dobe sa ťažobné podniky musia vyrovnávať so zložitými ekonomickými podmienkami a veľkou konkurenciou mimoeurópskych krajín v rámci dodávok surovín do priemyselných odvetví a dodržať bezpečnostné podmienky ťažby surovín. V rámci týchto neustále sa zvyšujúcim požiadavkám je nevyhnutné optimalizovať technológie tak, aby vyhovovali podmienkam ekonomickej efektívnosti ťažby, boli environmentálne akceptovateľné a zároveň spĺňali bezpečnostné požiadavky. Príspevok sa zaoberá projektom MineTALC, ktorý môže byť príkladom toho, ako získať finančné prostriedky na výskum s cieľom optimalizácie efektívnosti ťažby surovín a zaistenie udržateľnosti ťažobného priemyslu v rámci SR a EÚ. S otvárkou, prípravou a ťažbou v podzemných priestoroch sa nám otvára a spája problematika vyplňania vydobytých priestorov. Dôvodov pre realizáciu môže byť viac, ale fundamentálne sú akýmsi premostením pre pokračovanie ťažby, alebo rekultiváciu v neskorších etapách životného cyklu diela. Optimalizácia základkových zmesí je ako sledovaný proces v tejto práci, komplexným súhrnom odvetví zo širšieho spektra, sústrediacich sa na ťažbu nerastov. Výstupom respektíve cieľom výskumu bolo určenie vhodných materiálov základky, prípadne ich možných kombinácií pre prostredie s ťažbou mastenca. Takéto zameranie ťažby, ako aj mnohé iné, má svoje špecifiká kvôli zachovaniu čistoty suroviny. Samozrejmosťou sú kvalitné výsledky vďaka realizovaným skúškam a stretom s reálnym prostredím.

Kľúčové slová: MineTALC, výskum, zakladanie vydobytých priestorov, striekaný betón, optimalizácia, základková zmes

Úvod

V rámci výskumných aktivít fakulty BERG v odbore Získavanie a spracovanie zemských zdrojov sa v období rokov 2020-2023 rieši významný medzinárodný projekt EIT RM (European Institute of Innovation and Technology RawMaterials) pod názvom MineTALC – Backfill Mining Optimisation for Low- and Medium- Strength Deposits (Optimalizácia dobývania so zakladaním vydobytých priestorov pre nízko- a strednepevnostné ložiská), ktorého lídrom je Technická Univerzita v Košiciach. [1-6].

Hlavným cieľom projektu je vytvoriť systém ťažby a zakladania vydobytých priestorov, ktorý umožní ekonomicky životaschopnú, environmentálne udržateľnú a spoločensky akceptovanú ťažbu surovín z nízko a stredne pevnostných ložísk nerastných

surovín. Systém bude integrovať tri inovované technológie, ktoré môžu byť používané samostatne, alebo ako komplexný systém ťažby so zakladaním wydobytých priestorov odpadovým materiálom a úpravy suroviny [1-6].

Prvou skúmanou technológiou je ťažba s viacvrstvou technológiou vyplňovania vyťažených priestorov kombinujúcou vrstvy tuhnúcich základkových betónových zmesí a vrstiev fragmentovaného materiálu s rôznymi vlastnosťami. Druhou technológiou je uzavretý flotačný obvod, ako vysoko všestranná úprava nerastných surovín. Treťou technológiou je predikčný model distribúcie priestorovej mineralizácie a ďalších geologických javov zobrazujúci najlepšie miesta mineralizácie a určujúci technológiu ťažby komplexnou analýzou kritických faktorov ťažby nerastov. Všetky tieto technológie majú umožniť ekonomicky prijateľnú extrakciu nízko a stredne pevnostných ložísk zameranú na bezodpadovú prevádzku, kde odpad vzniknutý pri ťažbe a úprave suroviny (vrátane technologickej vody) sa využije pri výrobe základkových materiálov a dopraví sa späť do bane, kde sa aplikuje na vyplnenie wydobytých priestorov. Praktická časť riešenia projektu je realizovaná v banskej prevádzke na ťažbu a úpravu mastenca v Gemerskej Polome [1-6].

Partnermi pri riešení projektu sú podniky a viaceré európske univerzity [1-6].:

- EuroTalc - prevádzkuje mastencovú baňu nachádzajúcu sa pri obci Gemerská Poloma na Slovensku, obsahujúcu najbohatšie ložiská mastenca v Európe.
- Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie – je poľská univerzita z Krakova, ktorá už roky vychováva odborníkov pre poľské baníctvo a zúčastňuje sa viacerých medzinárodných projektov v oblasti ťažby surovín.
- BASF– výrobca viac ako 220 rôznych produktov najmä stavebnej chémie. Siahajú od prísad do betónu, surovín pre prísady do betónu a prísad do výplňových zmesí až po omietky a malty a výrobky používané pri výrobe ropy a plynu.
- DMT GmbH & Co. KG - DMT je popredná banská konzultačná a inžinierska skupina so 14 medzinárodnými pobočkami po celom svete. Služby zahŕňajú inžinierske, testovacie, výskumné a vývojové činnosti v sektoroch ťažby a prieskumu prírodných zdrojov, technológie koksovni, civilného a strojného inžinierstva, ako aj bezpečnosti výrobkov a budov.
- Technická univerzita v Lappeenrante - Univerzita LUT sa zameriava na náročné aktuálne otázky, ako je zmierňovanie zmeny klímy a neustála dostupnosť čistých vôd. Univerzita LUT má rozsiahle skúsenosti s odvodňovaním minerálnych koncentrátov a hlušiny a s témami súvisiacimi s procesmi úpravy vody v banských prevádzkach.
- Metso Minerals Oy - Metso je popredná svetová priemyselná spoločnosť ponúkajúca zariadenia a služby pre udržateľné spracovanie a tok prírodných zdrojov v ťažobnom, kameninovom, recyklačnom a technologickom priemysle.
- Univerzita v Miskolci - bola založená v roku 1735 ako prvá technická vysoká škola na svete. Ústav prípravy surovín a environmentálneho spracovania má medzinárodne uznávané vedecké a inovačné skúsenosti s rozdrobením, separáciou tuhých a pevných látok a fáz, odberom vzoriek, bio a chemické spracovanie v rámci osobitnej kompetencie v oblasti flotácie a reológie/hydraulickej dopravy.



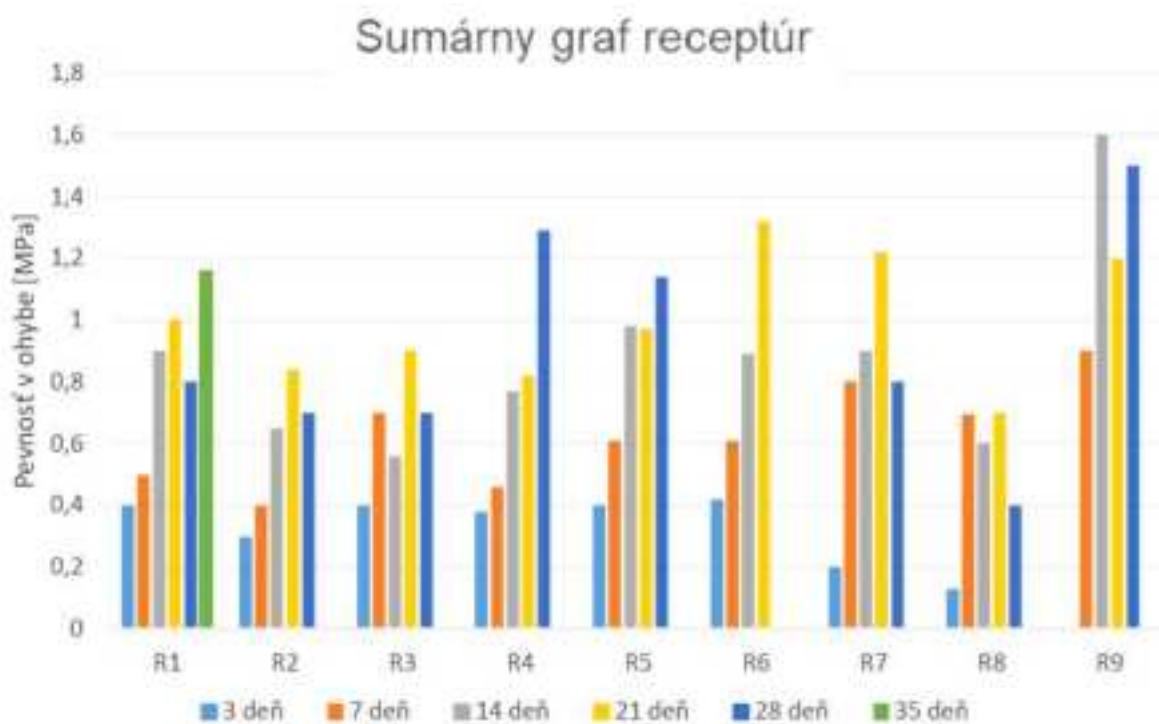
Obr. 1 Logá partnerov pri riešení projektu MINETALC [1-6]

1. Charakteristika výskumných prác – optimalizácia základkových zmesí

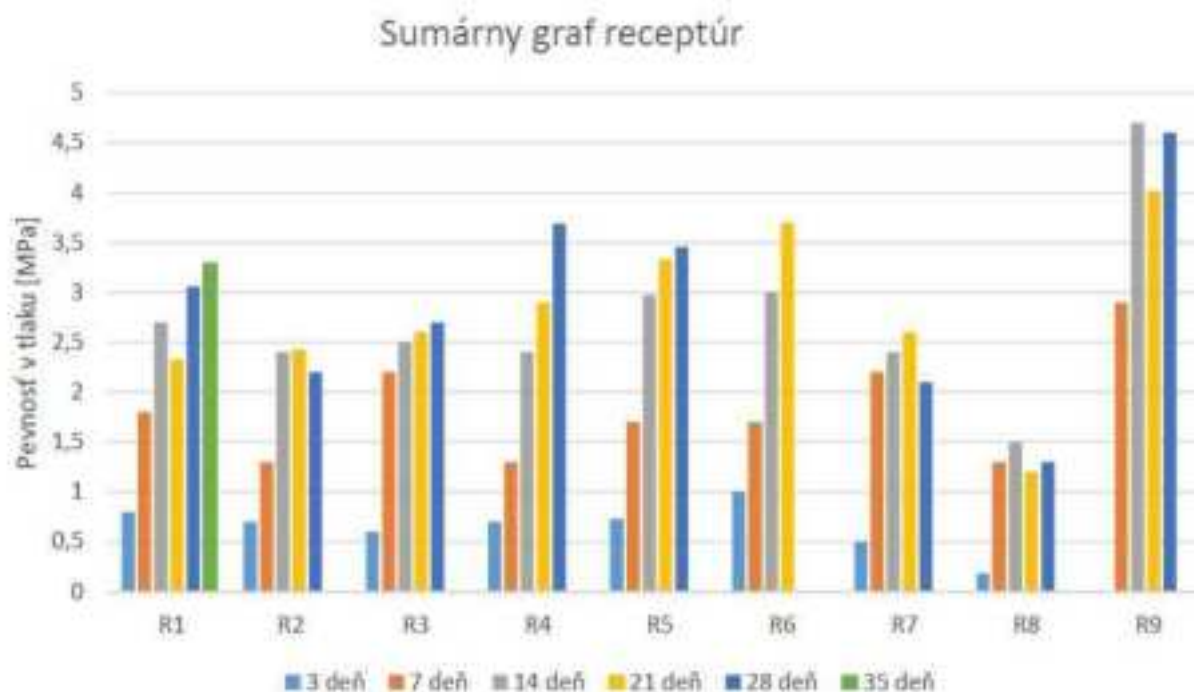
S otvárkou, prípravou a ťažbou v podzemných priestoroch sa otvára a spája problematika vyplňania vydobytých priestorov. Dôvodov pre realizáciu môže byť viac, ale fundamentálne sú akýmsi premostením pre pokračovanie ťažby, alebo rekultiváciu v neskorších etapách životného cyklu diela. Optimalizácia základkových zmesí je ako sledovaný proces výskumných prác, komplexným súhrnom odvetví zo širšieho spektra, sústrediacich sa na ťažbu nerastov. Výstupom respektíve cieľom výskumu bolo určenie vhodných materiálov základky, prípadne ich možných kombinácií pre prostredie s ťažbou masťenca. Takéto zameranie ťažby, ako aj mnohé iné, má svoje špecifiká kvôli zachovaniu čistoty suroviny. V projekte sú zahrnuté metódy zakladania vydobytých priestorov, analýzy vhodných materiálov pre základku a návrh zmesí pre potreby základky. [zdroj: Autor].

2. Návrh základkových zmesí

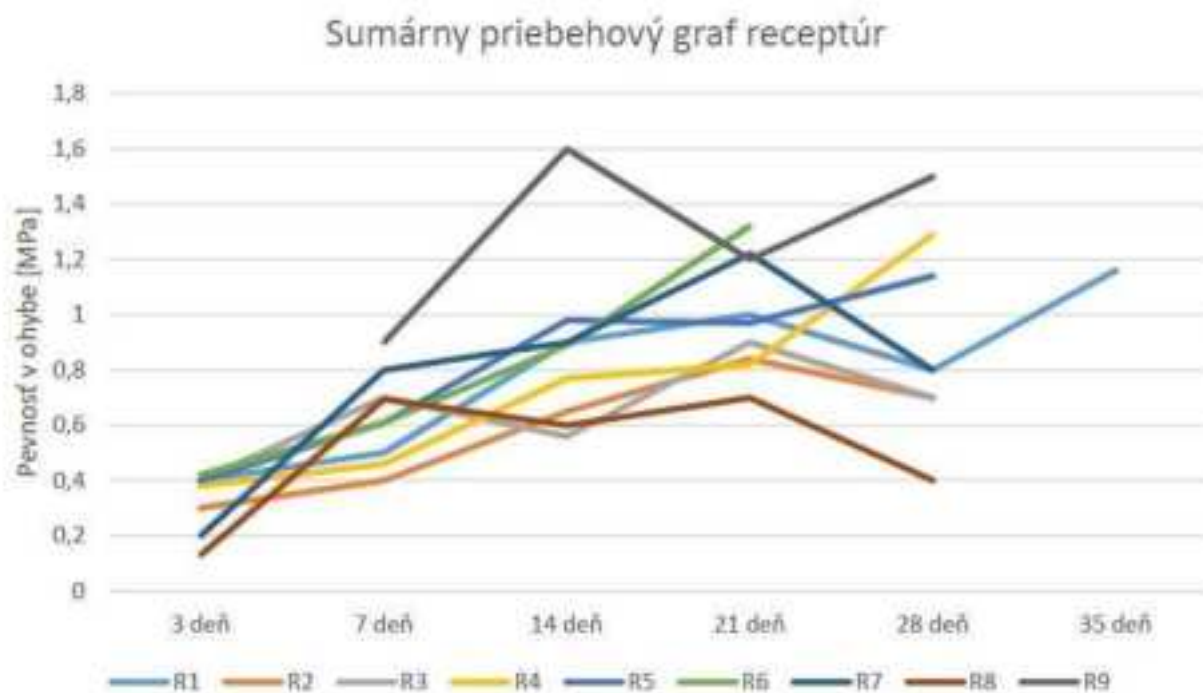
Podľa prieskumu a vykonaných skúšok s rôznymi typmi vôd a dávkovania cementu a cementových odpraškov pre potreby základkových zmesí. Sme sa empiricky dopracovali k vyvodu záveru, s prihliadaním na ekonomické, technologické-technické, chemické a praktické dôvody, že je vhodné prikloniť sa k použitiu banských upravených vôd alebo pitnej vody. Banské vody prv absolvujú očistu už existujúcou flotačnou sústavou, tzv. uzavretý okruh s prúdením späť. Hlavnými aspektmi prečo použiť spomínané druhy vôd je ich pozitívny vplyv na pevnosť základky po vytuhnutí. Po danom časovom intervale nedochádza k popukaniu alebo popraskaniu skúšaných vzoriek a strate ich požadovaných vlastností. Pevnosť základky, ktorú je potrebné dosiahnuť je medzi 4 – 5 MPa. Výsledne grafy (nižšie) s porovnaním všetkých použitých receptúr a zobrazením priebehu dní, počas ktorých boli vzorky skúmané. Zároveň sú vyobrazené hodnoty dosiahnuté v rámci skúšok pevnosti v tlaku a v ohybe, s najvyššími výsledkami, ktorým odolávala vyrobená základková receptúra od receptúry č. 1 až po receptúru č. 9. [zdroj: Autor].



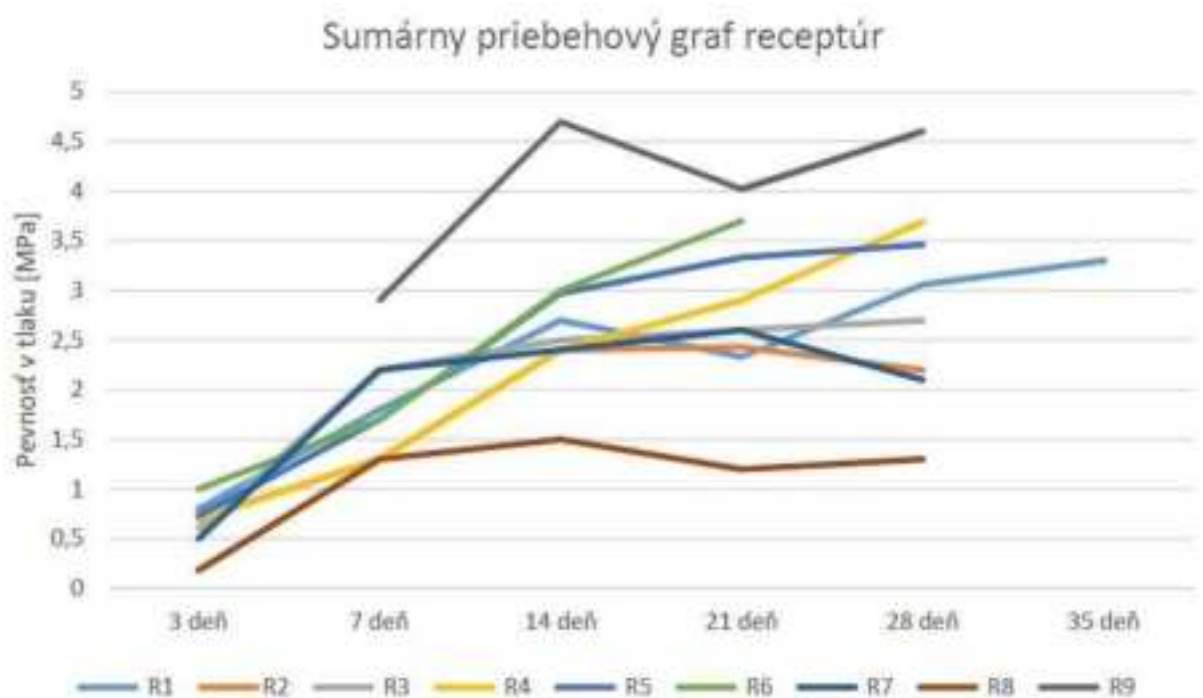
Obr. 2 Sumárny graf receptúr – pevnosť v ohybe /MPa/, zdroj: Autor



Obr. 3 Sumárny graf receptúr - pevnosť v tlaku /MPa/, zdroj: Autor



Obr. 4 Sumárny priebehový graf receptúr – pevnosť v ohybe /MPa/, zdroj: Autor



Obr. 5 Sumárny priebehový graf receptúr – pevnosť v tlaku /MPa/, zdroj: Autor

3. Optimálna receptúra z výskumných prác – Receptúra č.9

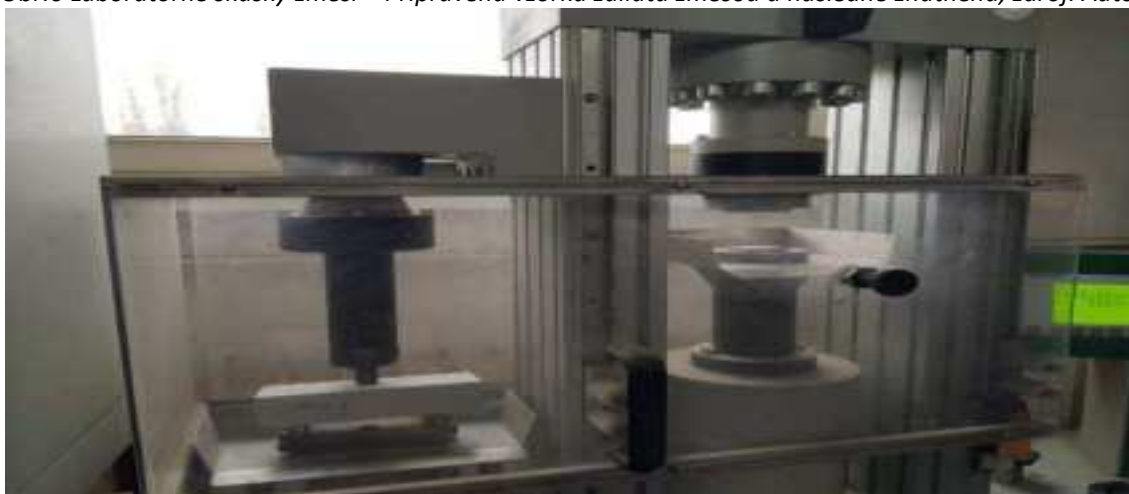
Tab. č.1 Optimálna receptúra z výskumných prác – Receptúra č.9, zdroj: Autor

Receptúra č.9										
Zloženie a vlastnosti základkovej zmesi										
MIESTO NAMIEŠANIA ZMESY								TU Košice		
								F- BERG		
								OMV		
KAL:		DÁVKA VLHKOSŤ						1 600 g 0 %		
KAMENIVO:					DROBNÉ:			0 - 10 mm		-
					HRUBÉ:			10 - 30 mm		-
CEMENT:		DRUH CEMENTU						CEM II/A - S 42,5 N		
		DÁVKA CEMENTU CEMENTOVÉ ODPRAŠKY						200 g 100 g		
VODA:		Pitná voda			Vodný súčiniteľ			w = 1,75 525 ml		
PRÍSADY:								-		
PRÍPRAVA VZORIEK:								odobrané		
Dátum miešania vzoriek								02.11.2021		
Čas miešania vzoriek								16.11.2021		
Miešanie suchej základkovej zmesi								10:00 – 10:30		
Miešanie s vodou								2,0 min		
Doba od pridania vody po ukončenie výroby vzoriek								4,0 min		
Teplota okolitého prostredia								20 min		
Dátum a čas vybratia vzoriek z foriem								19 °C		
								23.11.2021 o 10:00		
OŠETROVANIE VZORIEK:								3 - 28 dní		
FORMA:		kovové steny bez mastenca						40x40x160 mm		
Skúšky vzoriek po 72 hodinách – Receptúra .č9										
Namerané hodnoty zo dňa 19.11.2021 10:00	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [Mpa]		Pevnosť v ohybe [Mpa]	
	9.3.1		40	40	160					
	9.3.2		40	40	160					
	9.3.3		40	40	160					
Priemer	9.3		40	40	160					
Skúšky vzoriek po 7 dňoch – Receptúra č.9										
Namerané hodnoty zo dňa 23.11.2021	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [Mpa]		Pevnosť v ohybe [Mpa]	
	9.7.1	453	40	40	160	1 770	3,04	2,77	0,86	
	9.7.2	446	40	40	160	1 742	2,83	2,75	0,73	

10:00	9.7.3	441	40	40	160	1 723	2,77	3,02	0,8
Priemer	9.7	446,6	40	40	160	1 745	2,9 (0,1)		0,9 (0,1)
Skúšky vzoriek po 14 dňoch – Receptúra č.9									
Namerané hodnoty zo dňa 30.11.2021 10:00	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [Mpa]		Pevnosť v ohybe [Mpa]
	9.14.1	442	40	40	160	1 726	4,64	4,69	1,67
	9.14.2	432	40	40	160	1 687	4,47	4,83	1,55
	9.14.3	426	40	40	160	1 664	4,76	4,79	1,64
Priemer	9.14	433,3	40	40	160	1 693	4,7		1,6 (0,1)
Skúšky vzoriek po 21 dňoch – Receptúra č.9									
Namerané hodnoty zo dňa 07.12.2021 10:00	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [Mpa]		Pevnosť v ohybe [Mpa]
	9.21.1	432	40	40	160	1 687	3,74	4,59	1,35
	9.21.2	420	40	40	160	1 640	3,88	4,27	1,08
	9.21.3	437	40	40	160	1 707	4,07	4,02	1,2
Priemer	9.21	429,6	40	40	160	1 678	4,02 (0,2)		1,2 (0,1)
Skúšky vzoriek po 28 dňoch – Receptúra č.9									
Namerané hodnoty zo dňa 14.12.2021 10:00	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [Mpa]		Pevnosť v ohybe [Mpa]
	9.28.1	440	40	40	160	1 719	4,49	4,77	1,3
	9.28.2	439	40	40	160	1 715	4,63	5,02	1,48
	9.28.3	442	40	40	160	1 726	4,51	4,39	1,82
Priemer	9.28	440,3	40	40	160	1 720	4,6		1,5



Obr.6 Laboratórne skúšky zmesí - Pripravená vzorka zaliata zmesou a následne zhutnená, zdroj: Autor



Obr.7 Laboratórne skúšky zmesí - Skúška vzorky - pevnosť v ohybe, zdroj: Autor

Z grafov môžeme vyvodiť výsledky a nasledovný záver, že posledná vyrobená a skúšaná základka receptúry č. 9 dosiahla bez akýchkoľvek pochyb najlepšie výsledky v celkovom priemere. Presné hodnoty tejto receptúry dosahovali pre ohyb rozmedzie od minima 0,9 [MPa] až po maximum 1,6 [MPa]. Skúšky pevnosti pri záťaži v tlaku dosiahli hraničné napätia rozmedzia 2,9 [MPa] až 4,7 [MPa]. V oboch prípadoch sme namerali minimum v 7. dni od zatuhnutia vzorky. Namerané maximum nastalo týždeň na to, čiže 14. deň od namiešania vzorky. Sledované atribúty následne klesli na 4,02 [MPa] pri pevnosti v tlaku a 1,2 [MPa] v pevnosti pri ohybe. Finálne meranie v 28. deň nám ukázalo hodnoty 4,6 [MPa] (tlak), 1,5 [MPa] (ohyb), ktoré považujeme za konečné pre danú receptúru. Z týchto výsledkov môžeme relevantne vyvodiť, že základková zmes dosiahla svoje maximum, 2 týždne po namiešaní a teoreticky sa ustálila v laboratórnych podmienkach po 4. týždni na konečnú nameranú a zaznamenanú veličinu. Prostredie malo v čase merania 19 °C. Materiály použité pre receptúru č. 9 s najvhodnejšími výsledkami: [zdroj: Autor]

- cementové odprašky – 100 g,
- cement CEM II/A – S 42,5 N – 200g,
- pitná voda – 525 ml,
- Kal – 1600 g.

4. Charakteristika výskumných prác – optimalizácia striekaného betónu

K výskumným prácam projektu patrí aj testovanie a vyhodnocovanie striekaných betónov v laboratórnych podmienkach. Výskum poukazuje na jednotlivé rozdiely v konkrétnych výsledkoch merania čerstvých a vytvrdnutých betónových zmesí pomocou stanovených meracích metód. Výskumné práce striekaných betónov sa pripravujú podľa konkrétnych betónových zmesí a podľa presne stanovených receptúr tak, aby vyhovovali použitiu v podmienkach v predmetnej banskej prevádzke. Výskum prezentuje všeobecné spôsoby prípravy striekaných betónov, ich vystužovanie a následné testovanie za dodržaní všetkých stanovených podmienok. [zdroj: Autor].

5. Skúšky čerstvého betónu pomocou Abramsovho kužela

Pre stanovenie kvality betónovej zmesi je potrebné vykonať stanovené typy skúšok. Pre čerstvú betónovú zmes sú to nasledovné skúšky: [7]

- Skúška sadnutím
- Skúška rozliatím



Obr.7 Laboratórne skúšky - Skúška čerstvého betónu – Abramsov kužel, zdroj: Autor

Tab. 2 Klasifikácia podľa sadnutia kužela [7].

Stupeň	Sadnutie (mm)
S1- tuhá zmes	10 až 40
S2- plastická zmes	50 až 90
S3- mäkká zmes	100 až 150
S4- veľmi mäkká zmes	160 až 210
S5- tekutá zmes	≥220

Tab. 3 Klasifikácia podľa rozliatia kužela [7].

Stupeň	Priemer rozliatia [mm]
F 1	≤ 340
F 2	350 – 410
F 3	420 – 480
F 4	490 – 550
F 5	560 – 620
F 6	≥630

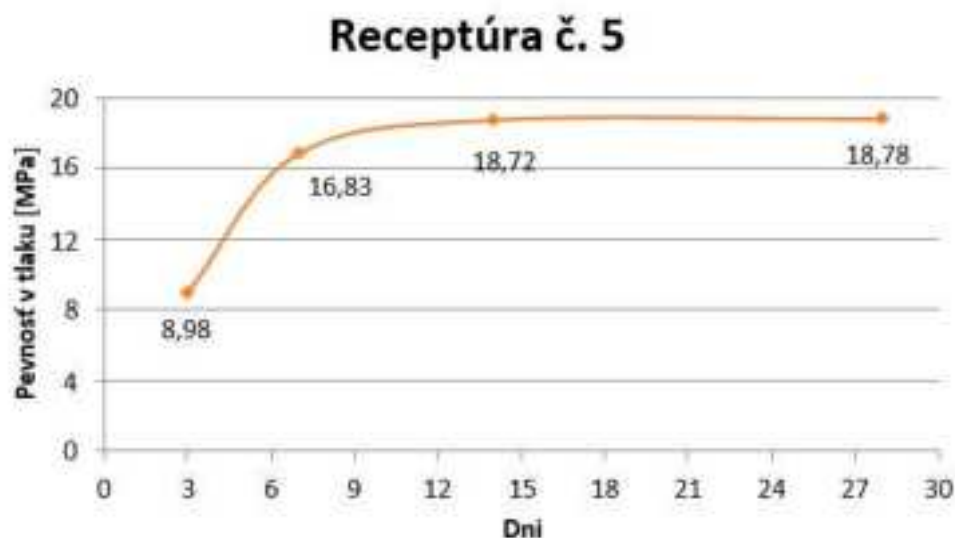
6. Optimálna receptúra z výskumných prác – Receptúra č.5

Receptúra č. 5 – Zloženie a vlastnosti striekaného betónu									
Miesto namiešania zmesi								TU Košice	
								F- BERG	
								OMV	
Množstvo kalu								-	
Množstvo a druh kameniva						Drobné: 0 - 10 mm		1500 g	
						Vlhkosť		20 %	
Druh cementu								CEM II/A - S 42,5 N	
Množstvo cementu								410 g	
Množstvo cementových odpraškov								100 g	
Množstvo pitnej vody						Vodný súčiniteľ w = 0,63		260 ml	
Prísady	Master Glenium SKY 504							5 ml	
	Master ROC HCA 20							3,5 ml	
Príprava vzoriek:								odobrané 31.01.2022	
Dátum miešania vzoriek								04.02.2022	
Čas miešania vzoriek								10:00 – 10:30	
Miešanie suchej základkovej zmesi								2,0 min	
Miešanie s vodou								4,0 min	
Doba od pridania vody po ukončenie výroby vzoriek								20 min	
Teplota okolitého prostredia								19 °C	
Dátum a čas vybratia vzoriek z foriem								07.02.2022 o 10:00	
Ošetrovanie vzoriek								3 - 28 dní	
Forma: kovové steny bez mastenca								40x40x160 mm	
Skúšky vzoriek po 72 hodinách – Receptúra č. 5									
Namerané hodnoty z dňa	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [MPa]		Pevnosť v ohybe [MPa]
	5.3.1	580	40	40	160	2 266	9,50	9,19	2,70
	5.3.2	531	40	40	160	2 074	9,00	8,25	2,10
	5.3.3	597	40	40	160	2 332	9,20	8,70	1,7
07.02.2022 10:00	Priemer	5.3	569,3	40	40	160	2 224	8,98 (0,3)	2,17 (0,2)
Skúšky vzoriek po 7 dňoch – Receptúra č. 5									
Namerané hodnoty z dňa	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [MPa]		Pevnosť v ohybe [MPa]
	5.7.1	591	40	40	160	2 308	16,20	16,82	3,40
	5.7.2	594	40	40	160	2 320	18,40	15,94	3,13
	5.7.3	593	40	40	160	2 316	17,87	15,80	3,44
11.02.2022 10:00									

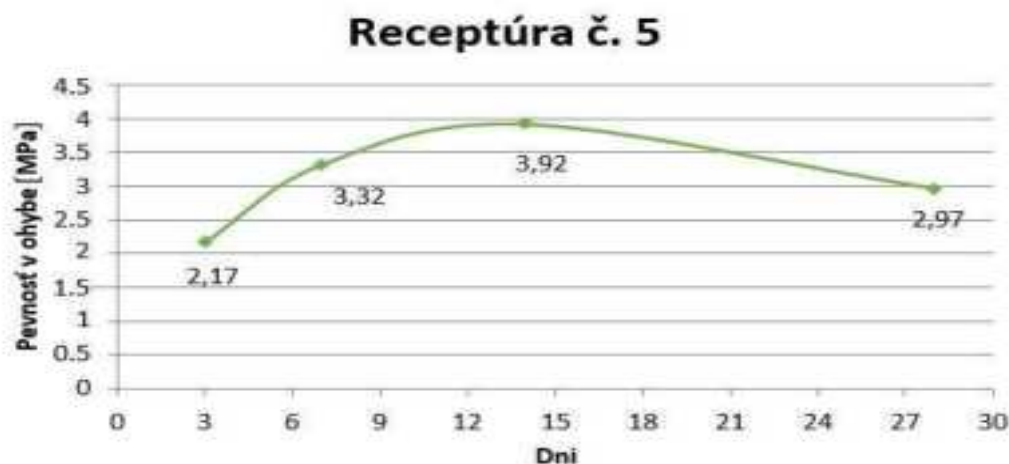
Obr. 8 Optimálna receptúra z výskumných prác – Receptúra č.5, [zdroj: Autor]

Receptúra č. 5 – Zloženie a vlastnosti striekaného betónu									
Priemer	5.7	592,6	40	40	160	2 314	16,83		3,32
Skúšky vzoriek po 14 dňoch – Receptúra č. 5									
Namerané hodnoty z dňa 18.02.2022 10:00	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [MPa]		Pevnosť v ohybe [MPa]
	5.14.1	585	40	40	160	2 285	17,35	17,91	4,70
	5.14.2	583	40	40	160	2 277	19,18	19,20	3,86
	5.14.3	573	40	40	160	2 238	18,48	20,15	3,19
Priemer	5.14	580,3	40	40	160	2 267	18,72		3,92
Skúšky vzoriek po 21 dňoch – Receptúra č. 5									
Namerané hodnoty z dňa	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [MPa]		Pevnosť v ohybe [MPa]
	5.21.1	-	40	40	160	-	-	-	-
	5.21.2	-	40	40	160	-	-	-	-
	5.21.3	-	40	40	160	-	-	-	-
Priemer	5.21	-	40	40	160	-	-		-
Skúšky vzoriek po 28 dňoch – Receptúra č. 5									
Namerané hodnoty z dňa 04.03.2022 10:00	Označenie vzorky	m [g]	š [mm]	v [mm]	h [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	Pevnosť v tlaku [MPa]		Pevnosť v ohybe [MPa]
	5.28.1	599	40	40	160	2 339	18,80	20,85	3,83
	5.28.2	597	40	40	160	2 332	18,56	18,96	2,10
	5.28.3	581	40	40	160	2 270	17,81	17,72	2,99
Priemer	5.28	592,3	40	40	160	2 314	18,78 (0,5)		2,97 (1,0)

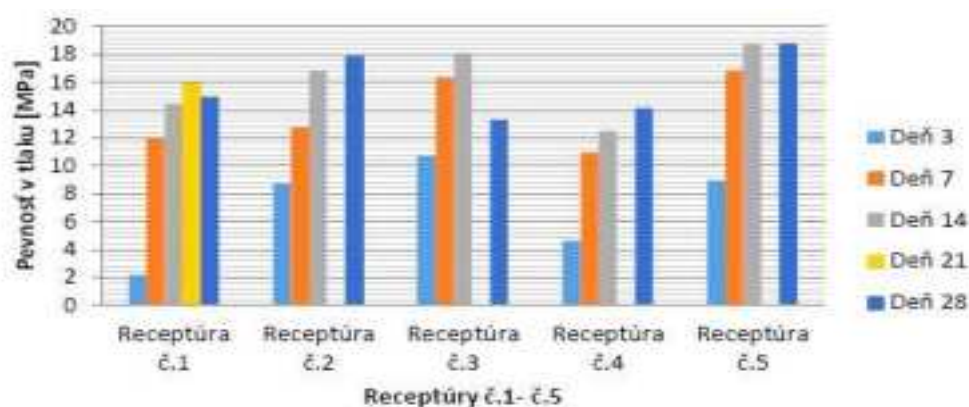
Obr. 9 Optimálna receptúra z výskumných prác – Receptúra č.5, [zdroj: Autor]



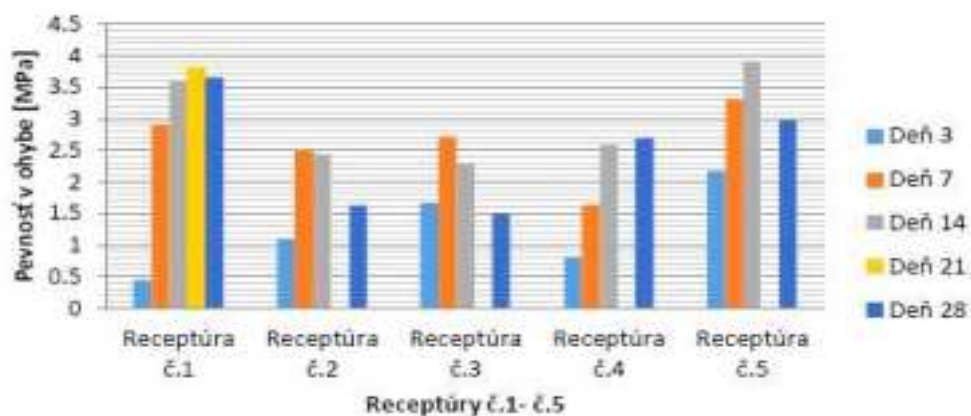
Obr. 10 Grafické znázornenie priebehu skúšky – pevnosť v tlaku [MPa], [zdroj: Autor]



Obr. 11 Grafické znázornenie priebehu skúšky – pevnosť v ohybe /MPa/, [zdroj: Autor]



Obr. 12 Grafické znázornenie receptúr – pevnosť v tlaku /MPa/, [zdroj: Autor]



Obr. 13 Grafické znázornenie receptúr – pevnosť v ohybe /MPa/, [zdroj: Autor]

Medzi najvhodnejšie receptúry z hľadiska pomeru pevnosti v tlaku, pevnosti ohybu a cene patria vzorky podľa receptúr č.5 a č.1. Hlavným dôvodom vysokej kvality týchto receptúr je veľmi rýchly nárast pevnosti betónu pri tuhnutí. Pomocou nameraných hodnôt pevnostných a kvalitatívnych charakteristík sme stanovili najviac optimálne betónové zmesi vzhľadom k pomere ich ceny a kvality. Striekaný betón použitý v banských dielach výrazne ovplyvňuje bezpečnosť takýchto stavebných objektov. Je veľmi dôležité dbať na kvalitu použitých materiálov a pevnostné vlastnosti tak, aby vyhovovali geologickým podmienkam a neohrozovali bezpečnosť v banskej prevádzke. [zdroj: Autor]

Záver

V rámci ťažobného priemyslu je nevyhnutné neustále optimalizovať procesy, vyvíjať a skúmať nové technológie, materiály a zariadenia tak, aby bola udržaná konkurencieschopnosť ťažobných podnikov. Takýto výskum v rámci ťažobného priemyslu si však vyžaduje nemalé finančné prostriedky, ktoré môžu ťažobné podniky veľmi zaťažiť. V rámci riešenia v dôsledku závislosti Európskej únie od dodávok surovín z mimoeurópskych štátov sa jej jednotlivé orgány dohodli na podpore získavania surovín z vlastných zdrojov. V rámci rôznych schém a operačných programov tejto podpory sa tak vytvorili pre ťažobné podniky podmienky na získanie finančných prostriedkov prostredníctvom rôznych výskumných projektov, ktorých cieľom je optimalizácia procesov a zavádzanie nových technológií za účelom zvýšenia konkurencieschopnosti a udržateľnosti ťažby surovín v Európe. Projekt MineTALC je príkladom toho, že takýmto spôsobom popri prostriedkoch vynaložených na bežné fungovanie pracovných procesov, je možné získať aj nemalé finančné prostriedky z takýchto grantových schém, prostredníctvom ktorých je realizovaný výskum na zaistenie vyššej efektívnosti ťažby nerastov. Zároveň je tým zabezpečený aj tím odborníkov z rôznych partnerských organizácií, ktorý umožňuje komplexnejšie riešenie optimalizácie ťažby a úpravy nerastnej suroviny.

Zoznam použitej literatúry:

- [1] Interné materiály Fakulta BERG na TU Košiciach
- [2] Interné materiály EUROTALC s.r.o.
- [3] Projekt MineTALC. Available online:
<https://hub.fberg.tuke.sk/2020/12/13/projekt-minetalc/> (02.09.2021)
- [4] MineTALC. Available online: <https://minetalc.fberg.tuke.sk/> (02.09.2021)
- [5] euroTALC. Available online: <https://www.eurotalcsk/> (03.09.2021)
- [6] RawMaterials. Available online: <https://eitrawmaterials.eu/project/minetalc/> (03.09.2021)
- [7] Dokument dostupný online:
<https://sites.google.com/site/svfmaterialoveinzinierstvo/stavebne-materialy/ucebne-texty/skky-erstvho-betnu/konzistencia-erstvho-betnu/skka-sadnutm>

PodĎakovanie

Táto práca je podporená projektom EIT RM (Európsky inovačný a technologický inštitút pre surové materiály) MINETALC č. 19007 (Backfill Mining Optimisation for Low- and Medium- Strength Deposits), projektom VEGA č. 1/0588/21 (Výskum a vývoj nových metód na báze princípov modelovania, logistiky a simulácie pri riadení interakcie procesov dobývania suroviny a zakladania ťažobných blokov s ohľadom na ekonomickú efektívnosť a bezpečnosť ťažby surovín) a projektom Kultúrnej a vzdelávacej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky projektom Slovenskej akadémie vied č. KEGA 006TUKE- 4/2019.



vŕtacie práce

zabezpečujeme najvýkonnejšími vrtnými súpravami na trhu
Atlas Copco (F9C, T40 & T45 SMART ROC, D7, D9); Montabert (215 CX, 10.170)

trhacie práce

v lomoch a na stavbách

projektové dokumentácie a povolení

k predmetným prácam

www.slovdrill.eu | slovdrill@gmail.com

SlovDrill s.r.o. | Matušková 505, 97631 Vlkanová, Slovensko | +421 948 026 380

**SYSTEM FOR
WAREHOUSE EVIDENCE OF EXPLOSIVES
AND
EXPLOSIVES TRACING**

Vlastnosti:

Univerzálny

On-line archív

Synchronizácia

Rozhranie XML súborov

V slovenskem jazyku

Evidovanie
výbušnín od:

AUSTIN
DAPMON
EXPLOSION
NITROERG
ORICA
SSE
STV GROUP

Systém funguje nezávisle od výrobcov, od typu použitého kódu, od čítacieho zariadenia, od systému kódovania a dodržania odporúčania značenia výbušnín FEEM (Federation of European Explosives Manufacturers). SWEET bol od začiatku vyvíjaný s ohľadom na spotrebiteľa a za účelom splnenia platnej legislatívy:



Smernica komisie 2008/43/ES

Nariadenie vlády SR č. 298/2012 Z.z.



SWEET pozostáva z:

- **SWEET Mobile**, ktorý je nainštalovaný na PDA Motorola MC67. Umožňuje vykonávať všetky skladové pohyby – príjem, výdaj, vratka. Pracuje v režime off-line (bez internetu) a po skončení práce sa údaje synchronizujú na zabezpečené úložisko. Skladník nemusí mať vyhradený počítač.

• **SWEET Web** je webová služba, pomocou ktorej sa môže používateľ prihlásiť, kontrolovať, vyhľadávať a spravovať zabezpečené úložisko cez ľubovoľný počítač s internetom.

Opportunity	Investment
→ Productivity Electronics	200 k€
→ Productivity Healthcare	210 k€
Name	Investment
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
00079-0000 00.0000 17.4.20	10 k€
→ Productivity Electronics	0 k€
→ Productivity Healthcare	170 k€
→ Productivity Healthcare	240 k€

**LUVEMA, spol. s r.o.**

M. R. Štefánika 43
968 01 Nová Baňa
Slovensko

Ing. Marián Beňovský

Tel: +421 903 830 927
 luvema@luvema.sk
 www.sweet.sk



AUSTIN POWDER SLOVAKIA

BEZPEČNOSŤ · KVALITA · TRADÍCIA · PARTNERSTVO

Austin Powder Slovakia, s.r.o. je spoľahlivým dodávateľom prostriedkov trhacej techniky a servisných služieb v oblasti trhacích prác. Spoločnosť sa aktívne podieľa na zavádzaní progresívnych technológií a postupov pri vykonávaní trhacích prác na Slovensku.

Austin Powder Slovakia, s.r.o. ponúka:

- ♦ kompletné dodávky trhacích a vŕtacích prác
- ♦ odbornú a poradenskú činnosť pri používaní prostriedkov trhacej techniky a výkone trhacích prác
- ♦ projektovanie trhacích prác
- ♦ projektovanie a navrhovanie zariadení a prác, ktoré sú súčasťou banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom
- ♦ medzinárodnú a vnútroštátnu cestnú dopravu ADR vozidlami určenými na prepravu výbušnín

Austin Powder Slovakia, s.r.o. sa zaoberá predajom:

- ♦ priemyselných trhavín
- ♦ neelektrických rozbušiek
- ♦ elektrických rozbušiek
- ♦ elektronických rozbušiek
- ♦ pomôcok trhacej techniky

Austin Powder Slovakia, s.r.o. je súčasťou korporácie Austin Powder Company, so sídlom Cleveland, Ohio, USA



AUSTIN POWDER

Austin Powder Slovakia, s.r.o., Rybníčná 40, 831 06 Bratislava
tel.: +421 244 882 347, austinslovakia@austinpowersk
www.austinpowersk