



Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce

Prezidium 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

PROCEEDINGS OF PAPERS

TRHACIA TECHNIKA 2020

BLASTING TECHNIQUE 2020



Medzinárodná konferencia

International Conference



Kongresové centrum SAV Academia Stará Lesná SK
20. - 22. máj 2020

ISBN 978-80-89914-07-4 (brožovaná väzba) EAN 9788089914074

ISBN 978-80-89914-08-1 (CD) EAN 9788089914081



vŕtacie práce

zabezpečujeme najvykonnejšimi vŕtnymi 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 prácам

www.slovdrill.eu | slovdrill@gmail.com

SlovDrill s.r.o. | Matuškova 505, 97631 Vilková, Slovensko | +421 948 026 380



Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce

Prezidium spoločnosti

Československej armády 25, 974 01 Banská Bystrica

Reg.: Ministerstvo vnútra SR, č. sp. VVS/1-900/90-2276-6 z 19.4.2013

člen Zväzu slovenských vedeckotechnických spoločností a EFEE



Prezidium

Slovenskej spoločnosti pre trhacie a vŕtacie práce d'akuje za podporu odborného vzdelávania

kolektívnym členom spoločnosti, partnerom a sponzorom:

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

CRH (Slovensko) a.s., Rohožník, Cementáreň Turňa nad Bodvou

DELTA DEFENCE, a.s. Bratislava, Bratislava

EKOPRIM group, s.r.o., Prešov

Explosia SK s. r. o., Bratislava

LUVEMA, spol. s r.o., Nová Baňa

MATRIX SLOVAKIA, s.r.o., Spišská Nová Ves

MITAL s.r.o., Sezemice

Považská cementáreň, a.s., Ladce

SlovDrill s.r.o., Banská Bystrica

Slovenské magnezitové závody, akciová spoločnosť, Jelšava

SONNE CHRYSTAL – Ondrej Trčan, Poltár

STV MINING s.r.o., Praha

TUBAU, a.s., Bratislava

Prijaté príspevky na konferenciu sú publikované v recenzovanom
tlačenom konferenčnom zborníku s ISBN v brožovanej väzbe
a v digitálnom konferenčnom zborníku s ISBN na CD.

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, web: www.sstvp.sk

Tlač: DALI-BB, s.r.o., Krátka 17, 974 05 Banská Bystrica

ISBN 978-80-89914-07-4 (brožovaná väzba), EAN 9788089914074

ISBN 978-80-89914-08-1 (CD), EAN 9788089914081

Vydanie: r. 2020



FAKULTA BANÍCTVA, EKOLOGIE, RIADENIA A GEOTECHNOLÓGIÍ

FAKULTA BANÍCTVA, EKOLOGIE, RIADENIA A GEOTECHNOLÓGIÍ

1762

FBERG

www.fberg.tuke.sk

fakulta, s ktorou nájdeš UPLATNENIE

1762

2017

255

255

65. VÝROČIE ZALOŽENIA
BANSKEJ AKADEMIE
V BANSKEJ ŠTIAVNICI

65. VÝROČIA PÔSOBENIA JEJ POKRAČOVATELKY
BANÍCKEJ FAKULTY / FAKULTY BANÍCTVA, EKOLOGIE,
RIADENIA A GEOTECHNOLÓGIÍ NA VŠT KOŠICE/TU V KOŠCIACH

Obsah – Contens

Autori – Authors

Zoznam prednášok – List of Papers

Strana - Page

CZ

Zdeňek Kaláb

5

Významné projevy trhacích prací v bulletinech seismických stanic

provozovaných Ústavem geoniky AVČR

Significant effect of blasts in bulletins of seismic stations performed by Institute of Geonics CAS

Zdeňek Kaláb, Alexey A. Lyubushin

15

Spektrální studie seismických záznamů trhacích prací

Spectral study of seismic records of quarry blasts

Radovan Skácel, Petr Tužil, Pavel Diviš

25

Nové trendy trhavin 100leté společnosti Explosia, ekologické aspekty

New trends of explosives of 100-year-old company Explosia, ecological aspects

Bohumil Svoboda

52

Problematika úředního měření seismických účinků podle zákona 505/1990, 89/2012 ve znění pozdějších úprav a novelizované ČSN 730040

(Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva)

Loading of construction objects (buildings) by the technical seismicity and their response

Petr Šobišek, Zdeněk Šobišek

58

Destrukce komínu „STRAKÁČ“, vysoký 101 m, aglomerace: Vítkovice CZ

Destruction of chimney "STRAKÁČ", 101 m tall, agglomeration: Vítkovice, Czech republic

HU

Csaba Bagi

62

Nový spôsob nabíjania, Gun arming reloaded

Norbert Daruka, János Gyula Kocsi

79

Vplyv čínskych výrobkov na vývoj improvizovaných výbušných zariadení pre medzinárodné vojnové divadlo

A kínai termékek hatása a nemzetközi hadszíntéren felbukkanó házilagosan készített robbanószerkezetek kialakítására

The impact of Chinese products onto the evolving of improvised explosive devices on the international theater of war

István Ember, Zoltán Kovács

90

Drony nad EOD operátori počas ich verejnej služby

Drones above EOD operators during their public duty

Lóránd Kugyela

98

Skúšobné metódy pre bezdymné prachy, The test methods for smokeless powders

PL

Krzysztof Barański, Ryszard Morawa

104

Výskum a environmentálne zhodnotenie pyrotechnických "zelených" oneskorovacích zloží použitých v rozbuškách

Badania i ocena środowiskowa pirotechnicznych „zielonych” mieszanin opóźniających stosowanych w zapalnikach

Research and environmental assessment of pyrotechnic "green" delay compositions used in detonators

Obsah – Contens

Autori – Authors

Zoznam prednášok – List of Papers

Strana - Page

PL

Andrzej Maranda, Karolina Nikolczuk, Mateusz Polis, Piotr Košík

116

Modifikácia detonačnej rýchlosťi banských skalných trhavín príďavkom hliníkového prášku

Modyfikowanie prędkości detonacji górniczych materiałów wybuchowych dodatkiem pyłu aluminiowego

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

Mateusz Polis, Karolina Nikolczuk, Tomasz Jarosz

125

Možnosti použitia Si/Fe₂O₃ systémov ako "zelených" oneskorovačov

Possibilities of using Si/Fe₂O₃ systems as a "green" delaying mass

SK

Viliam Bauer

133

Trhacia technika v študijných programoch na Fakulte BERG, Technickej univerzity v Košiciach

Blasting technique in mining study programmes at Faculty BERG, Technical University of Košice

Ján Baulovič, Blažej Pandula, Julián Kondela, Ján Šimo, Vladimír Budinský

141

Optimalizácia milisekundového časovania trhacích prác v lome Mníchova Lehota pomocou elektronických rozbušiek

Optimization millisecond timing delay of blasting in Mníchova Lehota quarry with electronic detonators

Eduard Jakubček, Viliam Bauer, Ján Lokaj

156

Vplyv technologických procesov výroby a používania výbušní na pracovné a životné prostredie

Influence of technological production processes of explosives and their application on both - the working and human environment

Martin Konček, Marian Šofranko, Jozef Čambál, Ján Fehér, Martin Šuver

167

Optimalizácia trhacích prác v lome Sedlice

Optimization of blasting works in Sedlice quarry

Vladimír Novotný

175

Nové trendy pri vykonávaní trhacích prác v spoločnosti Austin Powder

New trends in Austin's blasting services

Blažej Pandula, Julián Kondela

182

História seismiky trhacích prác na Fakulte BERG Technickej univerzity v Košiciach

History of seismicity of blasting techniques at Faculty BERG Technical University of Košice

UA

Tatiana O. Liunenko, Viktoriia V. Vapnichna

194

Optimalizácia použitia blokového kameňa na dokončovacie práce

Optimizing the use of block stone for finishing works

Významné projevy trhacích prací v bulletinech seismických stanic provozovaných Ústavem geoniky AVČR

Kaláb Zdeněk

Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava-Poruba, Česká republika

Abstrakt

Jednou ze seismologických aktivit pracovníků Ústavu geoniky AVČR, v.v.i., je kontinuální monitorování seismického zatížení severní části moravsko-slezské oblasti. Interpretovaná data jsou dávkově umisťována na web (lokální bulletiny na webu ÚGN) a využívána v dalších národních seismologických centrech (Česká regionální seismická síť - ČRSS, Lokální seismická síť severní Morava - MONET). Stanice provozované ÚGN byly v rámci projektu CzechGeo/EPOS modernizovány, aktuálně jsou provozovány 4 stanice. V rámci ČRSS je on-line provozována stanice Ostrava-Krásné Pole, v rámci sítě MONET je on-line provozována stanice Stěbořice. Off-line jsou provozovány stanice Klokočov a Zlaté Hory.

Seismické záznamy reprezentují přirozená zemětřesení z monitorované oblasti, záznamy důlně indukovaných seismických jevů z českých a polských důlních oblastí a technickou seismicitu, zvláště trhací práce z okolních lomů s významnými vibračními projevy. Pro vybrané kategorie dat byly vytvořeny informace o metadatech podle směrnice INSPIRE.

V souvislosti s výzkumnými záměry, vázanými na technickou seismicitu, se považuje za velmi účelné a užitečné sledování clonových odstřelů v lomech. Při znalosti místa a času provedeného clonového odstřelu je možno jednoznačně odlišit přirozené zemětřesení od odstřelu, jednak při určení přesného času odstřelu na dané lokalitě lze testovat a zpřesňovat stávající rychlostní model (3D model zemské kůry v moravsko-slezské oblasti) pro lokalizaci místa odstřelu při jeho opakování a konečně lze vlastních záznamů odstřelů použít při detailním studiu vlastností seismických vln generovaných clonovými odstřely. Proto také budou všechny dostupné poznatky o odstřelech zahrnuty do lokálních staničních bulletinů ÚGN,

Significant effect of blasts in bulletins of seismic stations performed by Institute of Geonics CAS

Kaláb Zdeněk

Institute of Geonics of the Czech Academy of Sciences, Ostrava-Poruba, Czech Republic

Abstract

Continuous monitoring of the seismic load on the northern part of the Moravian-Silesian region is one of the seismological activities of the employees of the Institute of Geonics of the CAS. Interpreted data are placed in batches on the website (local bulletins on the IGN website) and data are used in other national seismological centers (Czech Regional Seismic Network - CRSN, Local Seismic Network of Northern Moravia - MONET). Within the CRSN, the Ostrava-Krásné Pole station is operated on-line, and the Stěborice station is operated on-line within the MONET network. Stations Klokočov and Zlaté Hory are operated off-line.

Seismic records represent natural earthquakes from the monitored area, records of mining induced seismic events from Czech and Polish mining areas, and technical seismicity, especially blasts from quarries in the surroundings. New information on metadata according to the INSPIRE directive has been created for selected categories.

As for research objectives relating to the technical seismicity, observations of quarry blasts are considered very purposeful and useful. The knowledge of a quarry position and the firing time of explosions make the unambiguous discrimination between an explosion and a tectonic microearthquake easier. And, the knowledge of the exact time of a quarry blast also enables to test and operate a precise current velocity model (3D regional velocity model) in order to check the accuracy of the quarry localization. Moreover, records from a quarry blast can be used in research of the properties of seismic waves generated by the explosion. Overall available information will, therefore, be continuously put into the local bulletin of the IGN.

Key words: vibration, quarry blast, seismological measurement

Úvod

V roce 2010 byla zahájena účelová podpora vědecko-výzkumných infrastruktur (dále VVI) českých geovědních ústavů s názvem CzechGeo/EPOS. Konsorcium je v současnosti tvořeno těmito institucemi:

- Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
- Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR
- Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.
- Ústav fyziky Země Masarykovy Univerzity
- Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy
- Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
- Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
- Česká geologická služba

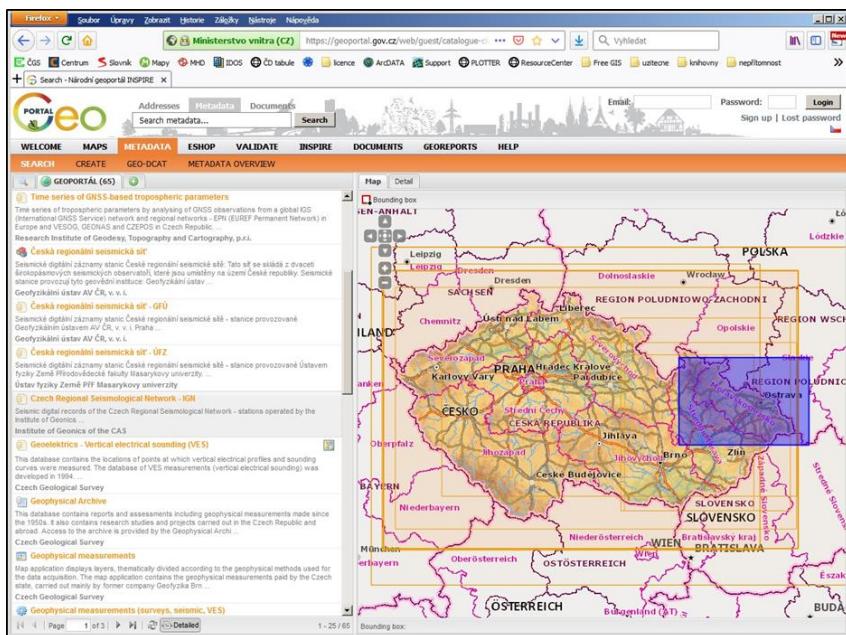
Cílem infrastruktury bylo vytvoření vícevrstvé, mnohaoborové a spolupracující vědecké struktury, která je založena na sběru dat z geofyzikálních monitorovacích sítí. Tato data a jejich metadata jsou zpřístupňována vědecké i laické veřejnosti. Vytvořená webová platforma poskytuje větší prostor pro geovědní výzkumy, analýzy primárních i odvozených dat a moderní vizualizaci poznatků (např. Hejda et al., 2016, www.czechgeo.cz).

Hlavním cílem pracovníků ÚGN v rámci VVI byl sběr, archivace a analýza seismologických dat, která jsou pořizována na stanicích v severní části moravsko-slezského regionu. Tato aktivita spadá do sekce seismologického monitoringu. V rámci České regionální seismické sítě – ČRSS - (<https://www.ig.cas.cz/vyzkum-a-vyuka/oddeleni/seismika/seismicka-sluzba/>) je ve spolupráci s dalšími institucemi on-line provozována stanice Ostrava-Krásné Pole. ČRSS je provozována Geofyzikálním ústavem AVČR, v.v.i. Seismická služba seismického oddělení Geofyzikálního ústavu provádí detailní analýzu digitálních seismogramů stanic ČRSS, lokalizaci zemětřesení na území České republiky a ve střední Evropě, mezinárodní výměnu seismických dat a jejich archivaci. Tato regionální síť se skládá z dvaceti stálých širokopásmových seismologických observatoří rozmištěných v zájmových oblastech v České republice. Pro účely VVI doplnily naše stanice Lokální seismickou síť severní Morava – MONET - provozovanou Ústavem fyziky Země

Masarykovy univerzity Brno (<https://www.ipe.muni.cz/monitoring/stations/monet>). Lokální síť MONET slouží k monitorování seismické aktivity severovýchodní části ČR, která je charakteristická výskytem silnějších historických zemětřesení, regionálně anomální úrovní mikroseismicity a dalšími projevy zvýšené geodynamické aktivity (zóna Nysa-Morava). V rámci sítě MONET je on-line provozována stanice Stěbořice. Dále jsou v této síti off-line provozovány stanice Klokočov a Zlaté Hory. V rámci testování byly hledány vhodné lokality ve východní části regionu (Čeladná – Bařiny, Čeladná - Rakové, Markvartovice, Pražmo). Hardware seismických stanovišť byl částečně modernizován díky projektu CzechGeo/EPOS Sci (OPVVV). Výsledky primární interpretace jsou konzultovány s dalšími monitorovacími centry a umísťovány na web (<http://ugn.cas.cz/?l=en&a=&v=&p=bulletin/bulletin.php>). Primární data jsou k dispozici na vyžádání. Článek shrnuje informace o interpretaci projevů trhacích prací registrovaných stanicemi provozovanými ÚGN.

Metadata seismologických dat spravovaných Ústavem geoniky

Seismologická měření prováděná zaměstnanci ÚGN lze rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinu představují stálá a dočasná seismologická měření, která slouží k hodnocení seismické aktivity na území severní Moravy (viz výše ČRSS a MONET). Obecně lze uvést, že seismickita severovýchodní části České republiky je způsobena přírodními zemětřeseními a důlně indukovanými seismickými jevy (např. Holub et al., 2009, Pazdírková et al., 2013, Špaček et al., 2014). ÚGN odpovídá za vytvoření a aktualizaci dvou záznamů metadat: seismických stanic zahrnutých do MONET a seismických stanic zahrnutých do ČRSS. Relevantní datové zdroje jsou popsány strukturovanými metadaty podle požadavků INSPIRE (např. Kaláb et al., 2009), které jsou přístupné prostřednictvím českého národního INSPIRE Geoportalu (<https://geoportal.gov.cz/>, obr. 1). Každý záznam metadat obsahuje základní informace o datech (například abstrakt, typ a formát dat, geografické ohraničení, možná omezení použití a omezení přístupu, kontakt atd.) a také informace o možných způsobech přístupu k těmto datům, tj. odkazy na web stránky, služby nebo aplikace. V současné době je do inventáře zdrojů geofyzikálních dat konsorcia CzechGeo zařazeno asi sto položek metadat (aktuální i archivní měření).



Obr. 1: Příklad záznamu metadat části České regionální seismologické sítě (stanice provozované ÚGN) v českém národním INSPIRE Geoportálu

Druhou skupinou seismologických měření jsou různé druhy krátkodobých měření. Tato data jsou obvykle tematicky zaměřena, např. vibrace v různé pod povrchové geologii (Kaláb, 2018) a vliv vibrací na podzemní struktury (Kaláb, Štemon, 2017), změna hodnot vibrací vlivem hloubky (Lednická, Kaláb, 2016), interpretace okolního seismického hluku (Szanyi et al., 2016), mapování rezonančních frekvencí horních geologických vrstev (Lednická et al., 2015), vyhodnocení vibrací vyvolaných dopravou (Kaláb, Hruběšová, 2015) a další. Tyto záznamy nemají významnou vědeckou hodnotu; proto není efektivní archivovat tato data v rámci struktury INSPIRE.

Seismické záznamy trhacích prací

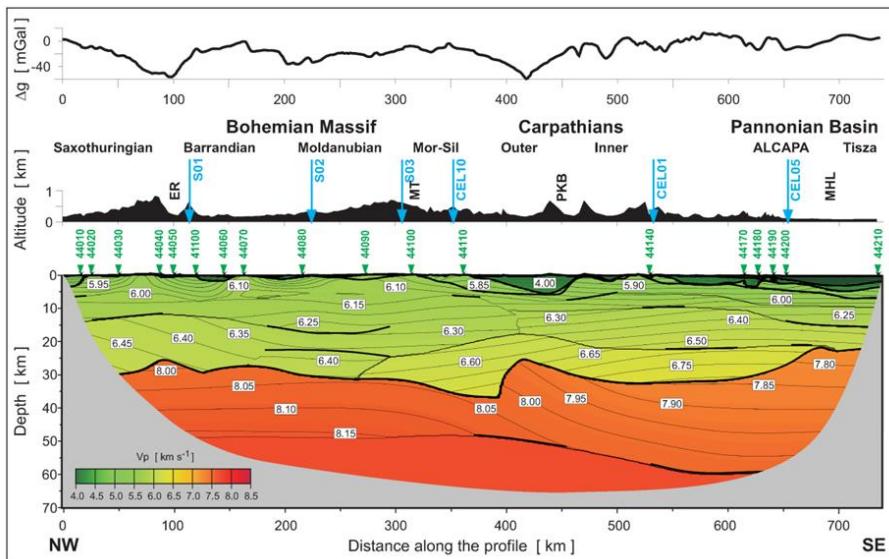
Seismické záznamy trhacích prací tvoří „přechodnou skupiny“ mezi výše uvedenými měřeními. Pro účely posouzení seismického zatížení sledované oblasti nejsou tato data uvažována, neboť patří do skupiny technické seismicity (vibrace vyvolané uměle). Proto data nejsou součástí datových zdrojů vkládaných do INSPIRE Geoportálu, a zpravidla nejsou ani vkládána do národních bulletinů a katalogů.

Z druhé strany, detekování a analýza vibrací od clonových odstřelů v lomech jsou velmi užitečné informace, a to z několika důvodů. Jednak při znalosti místa a času provedeného clonového odstřelu je možno jednoznačně odlišit přirozené zemětřesení od odstřelu, jednak při určení přesného času odstřelu na dané lokalitě lze testovat a zpřesňovat stávající rychlostní model pro lokalizaci místa odstřelu při jeho opakování a konečně lze vlastních záznamů odstřelu použít při detailním studiu vlastností seismických vln generovaných clonovými odstřely (podle <http://ugn.cas.cz/?l=en&a=&v=&p=bulletin/bulletin.php>). Zaznamenané seismické jevy ze skupiny technické seismicity, včetně trhacích prací, které nejsou součástí bulletinu regionální sítě, jsou zahrnuty jako doplňkové informace v lokálním bulletinu sítě stanic provozovaných ÚGN (obr. 2). Tento bulletin je průběžně doplňován a může tak sloužit jako podklad při interpretaci seismologických pozorování i dalších institucí. Stejně jako pro přirozenou seismicitu interpretace důlně indukované seismicity a technické seismicity umožňuje získat nové seismické charakteristiky studované oblasti.

V rámci diskuze o vibracích vyvolaných při odstřelu trhavin je vhodné zmínit využití vibrací při refrakčních seismických měření. Jde především o evropská experimentální měření, například rozsáhlá profilová měření nazvaná CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003 (Guterch et al., 2003, Hrubcová et al., 2008). Jako příklad laterálně nehomogenních modelů pro Český masív a jeho okolí, zkonztruovaných na základě inverze dat z uvedených experimentů uvádíme seismický rychlostní model z P-vln pro kůru a svrchní plášť podél profilu S04 (Hrubcová a kol., 2010). Tento profil protíná Český masív ve směru SZ-JV a pokračuje dále do Karpatské soustavy. Rychlostní model vymezuje jednotlivé dílčí jednotky Českého masívu stejně jako kontakt s Karpatským orogénem (obr. 3).

station KLOK			
1.8.	Pg 11:50:23.483	Sg 11:50:30.801	Poland
1.8.	Pg 13:31:19.850	Sg 13:31:32.131	Poland
1.8.	Pg 16:08:38.035	Sg 16:08:45.769	Poland
1.8.	Pg 17:32:29.391	Sg 17:32:36.319	OKCB
1.8.		Sg 20:27:29.525	Poland
1.8.		Sg 21:06:28.913	Poland
2.8.	Pg 01:05:32.559	Sg 01:05:39.500	OKCB
2.8.	Pg 02:02:56.051	Sg 02:03:03.114	Poland
2.8.	Pg 08:00:44.855	Sg 08:00:47.761	EXP
2.8.	Pg 09:01:23.145	Sg 09:01:25.160	EXP
2.8.	Pg 10:40:39.696	Sg 10:40:52.454	Poland
2.8.	Pg 14:47:45.720	Sg 14:47:53.107	OKCB
2.8.	Pg 15:02:01.931	Sg 15:02:13.463	Poland
2.8.		Sg 17:40:47.845	OKCB
2.8.	Pg 18:45:00.466	Sg 18:45:07.468	OKCB
3.8.		Sg 01:15:01.487	Poland
3.8.	Pg 02:00:19.258	Sg 02:00:26.400	Poland
3.8.		Sg 02:01:07.852	Poland
3.8.	Pg 02:27:19.549	Sg 02:27:26.642	Poland
3.8.	Pg 06:44:38.601	Sg 06:44:46.101	Poland
3.8.	Pg 08:34:25.561	Sg 08:34:36.771	Poland
3.8.	Pg 09:01:11.944	Sg 09:01:22.718	Poland
3.8.		Sg 09:41:55.662	Poland
3.8.	Pg 10:01:50.576	Sg 10:01:58.096	Poland
3.8.		Sg 10:14:07.948	Poland
3.8.		Sg 14:39:27.094	Poland
3.8.	Pg 15:32:01.911	Sg 15:32:28.825	Poland - Lubin
3.8.	Pg 23:14:51.800	Sg 23:14:53.905	tectonic event
3.8.	Pg 23:44:14.750	Sg 23:44:18.311	tectonic event

Obr. 2 Příklad lokálního bulletinu stanice Klokočov provozované ÚGN (<http://ugn.cas.cz/?l=en&a=&v=&p=bulletin/bulletin.php>). Vysvětlivky: Poland – důlně indukovaný jev z polské části Hornoslezské pánve, lubinské oblasti, případně dalších důlních oblastí; OKCB – důlně indukovaný jev z české části Hornoslezské pánve; EXP – trhací práce z povrchového lomu; tectonic event – přirozené zemětřesení.



Obr. 3 Interpretace seismických refrakčních dat z projektu SUDETES 2003 v Českém masívu a na jeho kontaktu s okolními jednotkami: seismický rychlostní model z P-vln pro kůru a svrchní plášť podél profilu S04 (Hrubcová a kol., 2010).

Závěr

Seismické vlny vyvolané odstřelem trhavin jsou z pohledu přirozeného seismického zatížení oblasti nezajímavou složkou. Z tohoto důvodu proto zpravidla nejsou tyto vibrace uváděny v regionálních bulletinech, metadata nejsou součástí záznamů v INSPIRE Geoportálu. Avšak, informace o trhacích pracích slouží jako pomocné kritérium například při rozlišení těchto vyvolaných vibrací od zemětřesení. Dále je vhodné zmínit využití informací o vibračních projevech trhacích prací při různých experimentech pro různé účely. Jako příklad je v článku zmíněno využití při tvorbě seismických rychlostních modelů dané oblasti.

V rámci projektů CzechGeo byly seismické bulletiny v České republice doplněny, případně revidovány. To platí i pro další geofyzikální měření realizovaná členy konsorcia, projekty také umožnily inovaci aparaturního vybavení na řadě monitorovacích stanovišť. Popíšeme-li stav na pracovišti autora článku (Ústav geoniky AVČR, v.v.i.), byla modernizována tři seismická stanoviště, seismické bulletiny na webu ÚGN) byly po reinterpretaci dat doplněny o slabší seismické jevy. Kromě parametrů přirozených zemětřesení jsou uváděny informace o důlně indukovaných seismických jevech z české i polské části Hornoslezské pánve a dalších důlních oblastí v Polsku a trhacích pracích z povrchových lomů.

Poděkování

Výzkum byl podporován projektem CzechGeo/EPOS-Sci (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_013/0001800, OP RDE) financovaným z OP VVV a projektem CzechGeo/EPOS LM2015079 (dříve LM2010008). Příspěvek byl zpracován za finanční podpory výzkumného programu Akademie věd České republiky, RVO:68145535.

Literatura

- Guterch, A., Grad, M., Špičák, A., Brückl, E., Hegedűs, E., Keller, G. R., Thybo, H. and CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003 Working Groups: An overview of recent seismic refraction experiments in central Europe, *Stud. Geophys. Geod.*, 47, 2003, 651–657. DOI: 10.1023/A:1024775921231
- Hejda, P., Čárová, D., Fischer, T., Kaláb, Z., Kostelecký, J., Plicka, V., Stemberk, J., Špaček, P.: CzechGeo/EPOS - Distributed system of permanent observatory measurements and temporary monitoring of geophysical fields. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU 2016-5960, 2016.
- Holub, K., Kaláb, Z., Knejzlík, J., Rušajová, J.: Contribution of the Institute of Geonics of the ASCR Ostrava to seismological monitoring in Silesia and Northern Moravia. *Acta Geodyn. et Geomater.*, Vol. 6, No. 3(155), 2009, 391-398.
- Hrubcová, P., Šroda, P. and CELEBRATION 2000 Working Group: Crustal structure at the easternmost termination of the Variscan belt based on CELEBRATION 2000 and ALP 2002 data. *Tectonophysics*, 460, 2008, 55-75. DOI:10.1016/j.tecto.2008.07.009

Hrubcová, P., Šroda, P., Grad, M., Geissler, W.H., Guterch, A., Vozár, J., Hegedüs, E., SUDETES 2003 Working Group: From the Variscan to the Alpine Orogeny – Crustal structure of the Bohemian Massif and Western Carpathians in the light of the SUDETES 2003 seismic data. *Geophys. J. Int.*, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04766.x

Kaláb, Z.: Influence of vibrations on structures. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 23, No. 3, 2018, 293-311. <https://actamont.tuke.sk/pdf/2018/n3/6kalab.pdf>

Kaláb, Z., Čárová, D., Moravcová, O., Kondrová, L.: Metadata of the geophysical data sources in the Czech Republic: Case study in the IGN. Proceedings of XVIIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects". 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine, paper No. 15738.

Kaláb, Z., Hrubešová, E.: Evaluation of seismic effect of traffic-induced vibrations. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 20, No. 1, 2015, 33-37. <http://actamont.tuke.sk/pdf/2015/n1/5kalab.pdf>

Kaláb, Z., Štemon, P.: Influence of seismic events on shallow geotechnical structures. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 22, No. 4, 2017, 412-421.

<https://actamont.tuke.sk/pdf/2017/n4/9kalab.pdf>

Lednická, M., Kaláb, Z.: Vibration effect of near earthquakes at different depths in a shallow medieval mine. *Acta Geophysica*, Vol. 64, No. 6, 2016, 2244-2263. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0085

Lednická, M., Kaláb, Z., Győri, E.: Mapping the resonant frequencies of upper geological layers in the vicinity of abandoned mining pit at the Zlaté Hory locality, Northern Moravia. *Acta Geodyn. Geomater.*, No. 2(178), 2015, 157–167. DOI: 10.13168/AGG.2015.0013

Pazdírková, J., Zedník, J., Špaček, P., Pecina, V., Sýkorová, Z.: Earthquake in the Hrubý Jeseník Mts. on 14.6.2012. *Geol. Výzk. Mor. Slez.*, Brno, 2013, 205-209. (in Czech)

Špaček, P., Bábek, O., Štěpančíková, P., Švancara, J., Pazdírková, J., Sedláček, J.: The Nysa-Morava Zone: An active tectonic domain with Late Cenozoic sedimentary grabens in the Western Carpathians' foreland (NE Bohemian Massif). *International Journal of Earth Sciences*, 2014. DOI: 10.1007/s00531-014-1121-7

Szanyi, G., Gráczer, Z., Győri, E., Kaláb, Z., Lednická, M.: Ambient seismic noise tomography of a loess high bank at Dunaszekcsö (Hungary). *Pure Appl. Geophys.*, No. 173(8), 2016, 2913-2928. DOI: 10.1007/s00024-016-1304-1

Spektrální studie seismických záznamů trhacích prací

Spectral study of seismic records of quarry blasts

Kaláb Zdeněk¹, Alexey A. Lyubushin²

¹ Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava-Poruba, Česká republika

² Ústav fyziky Země, Ruská akademie věd, Moskva, Rusko

Abstrakt

Tento článek představuje přístup k hodnocení srovnávacích měření vibrací vyvolaných odstřelem trhavin v povrchových lomech. Na zvoleném místě byly použity dvě identické seismické aparatury. Jedna seismická stanice byla umístěna v budově na povrchu, druhá v opuštěném dole Jeroným v hloubce asi 30 metrů. Důl Jeroným v Čisté (Česká republika) je významným dědictvím dokladujícím středověkou těžbu cínu. Studie pro hodnocení stability dolu v podzemních prostorách byly zahájeny v roce 2001 mimo jiné v rámci přípravy otevření tohoto dolu pro veřejnost. Proto je velmi důležité podrobné vyhodnocení vibrací v podzemních prostorách. Tato studie popisuje využití spektrální analýzy vertikálních složek seismických záznamů. Byly použity vlnové obrazy trhacích prací z povrchových lomů; vzdálenost mezi nejbližším lomem Krásno (těžba živců) a Dolem Jeroným je 4,7 km východně, granitový lom Vítkov se nachází severně ve vzdálenosti 6,3 km. Maximální hodnoty z nejbližšího lomu Krásno se obvykle pohybují v rozmezí 10^{-3} - 10^{-2} mm.s⁻¹ (hodnoty nejsou příliš významné pro hodnocení stability). Převažující frekvenční rozsah zaznamenaných vibrací je 1 - 6 Hz pro oba lomy. K rozlišení záznamů z povrchu a v dole lze použít výkonová spektra, rozdíl ve tvaru spekter je poměrně zřejmý. Rozdíl je nejvýznamnější pro frekvenční rozsah 70 - 100 Hz. Pro uvedený kmitočtový rozsah výkonových spekter byly vypočteny trendové závislosti. Byly také definovány spektrální časově-frekvenční diagramy, to znamená vyhodnocení logaritmů výkonových spekter v přesouvajícím se časovém okně o délce 1 sekundy se vzájemným posunem 0,1 sekundy. I zde existuje jasný rozdíl mezi časově-frekvenčními spektory pro povrchové a podzemní záznamy.

Abstract

This paper presents an approach that describes the comparative measurements of vibrations from blasting generated in open pit mines. Two identical instrumentations were used in one location. One

seismic station was placed in the building on the surface, the second one in abandoned Jeroným Mine at a depth of about 30 meters. Jeroným Mine in Čistá (Czech Republic) is significant heritage site of medieval tin mining. Studies for evaluation of underground spaces stability of the mine were started in 2001 among others in frame to open this mine for public. Therefore, detailed evaluation of vibrations on underground spaces is very important.

This study describes using of spectral analysis of vertical components of the seismic records. Wave patterns of blasting were used; the distance between the nearest feldspathic quarry named Krásno and the Jeroným Mine is 4.7 km east, Vítkov quarries (granite) is located north in the distance of 6.3 km. Maximum values from the nearest quarry Krásno are usually within the range of $10^{-3} - 10^{-2}$ mm.s⁻¹ (not too significant for stability assessment). Prevailing frequency range of recorded waves is 1 - 6 Hz for both quarries. Power spectra could be used for distinguishing but the difference in spectra shapes is rather evident. Especially the difference is most explicit for frequency range 70 - 100 Hz between power spectra of surface and underground records. Fitted trends were calculated for mentioned frequency range of power spectra. Spectral time-frequency diagrams were also defined; it means evaluation of logarithm of power spectra within moving time window of 1 second length taken with mutual shift of 0.1 second. There is also a clear difference between time-frequency structure of power spectra for surface and underground records.

Key words: quarry blast, spectral analysis, surface and underground record

Úvod

Stručně lze konstatovat, že vibrace vyvolané trhacími pracemi mají nejintenzivnější projevy ze všech druhů technické seismicity. Mezinárodní norma ISO 4866:2010 „Mechanical vibration and shock — Vibration of fixed structures — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures“ uvádí rozsah maximálních vyvolaných amplitud pohybu po odstřelu nálože 1 až 200 µm (tj. cca 0,2 až 50 mm.s⁻¹ nebo 0,02 až 1 m.s⁻²). Základními charakteristikami seismického záznamu trhacích prací jsou neperiodické kmitání s nepravidelným průběhem a rázovitým charakterem. Před vlastním měřením projevu trhacích prací je nutno provést kvalifikovaný odhad jak maximálních hodnot amplitud, tak i frekvenčního rozsahu měřeného

kmitání. Lze též provést orientační měření a podle toho zvolit optimální parametry aparatury pro měření i stanovení seismického zatížení.

Problematika trhacích prací je podrobně studována řadou autorů, a to z různých hledisek, především fyzikální a chemické vlastnostmi výbušnin, procesy v ohnisku trhací práce, šíření seismických vln horninovým masivem, vliv na povrchové a další stavební objekty, numerické modelování projevů vibrací, vyvolaná rezonance objektu nebo jeho konstrukčních prvků ... (např. Dojčár et al., 1996, Pijush, 2005, Pandula a Jelšovská, 2008, Pandula a Kondela, 2010, Kondela a Pandula, 2012, Ainalis et al., 2017, Kaláb a Štemon, 2017, Kaláb, 2018, Zeigler, 2018).

Výbuch nálože trhavin generuje krátký intenzívni impulz. Jeho spektrum je spojité a obsahuje frekvence od nižších hodnot až po velmi vysoké hodnoty – zpravidla 1 až 300 Hz. Pro stanovení maximálních hodnot rychlosti kmitání ve vzdálené zóně se používá empirický vztah, tzv. Langeforsův (např. Bongiovanni et al., 1991, Dojčár et al., 1996, Kaláb, 2008, Kaláb et al., 2013). Tento vztah, který se používá především pro hodnocení seismického efektu trhacích prací v lomech, se často uvádí ve tvaru

$$V_{max} = K \cdot Q^m \cdot l^n, \quad (1)$$

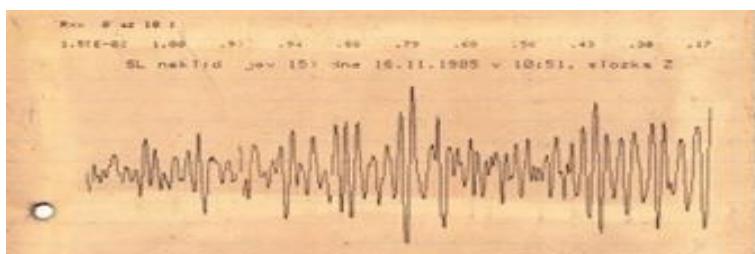
kde V_{max} - maximální rychlosť kmitání (mm/s), Q - hmotnosť nálože (kg), l - vzdáenosť od těžiště trhací práce (m), K , m a n jsou empirické parametry. Grafy jsou sestavovány buď jako závislost maximální rychlosť kmitání V_{max} na vzdáenosťi l , nebo na tzv. redukované vzdáenosťi l_{red} , což je poměr vzdáenosťi l a druhé odmocninu hmotnosti odpálené nálože Q ($l_{red} = l/Q^{0.5}$). Tento vztah může být velmi dobře definovaný, pro složité geologické pomery však může mít velmi nízkou korelací (např. Pijush, 2005, Pandula a Lešo, 2005, Pandula et al., 2007, Kaláb et al. 2013). Vyjdeme-li z normy ČSN 73 0040 (resp. Eurokód 8, dříve STN 73 0036), pak jsou hodnoty empirických konstant doporučovány ve velikostech $m=0,5$ a $n=1$. Vztah (1) přechází na tvar

$$V_{max} = K \cdot \frac{\sqrt{Q}}{l}. \quad (2)$$

Článek shrnuje základní poznatky o seismickém záznamu – seismogramu – a jeho vlastnostech. Vlastní přínos příspěvku spočívá v ukázce zpracování seismického záznamu trhací práce ve frekvenční oblasti. Na zvoleném místě v historickém Dole Jeroným byly použity dvě identické seismické aparatury. Jedna seismická stanice byla umístěna v budově na povrchu, druhá v hloubce asi 30 metrů. Tato studie popisuje využití spektrální analýzy vertikálních složek seismických záznamů. Byly použity vlnové obrazy trhacích prací z povrchových lomů; vzdálenost mezi nejbližším lomem Krásno (těžba živců) a Dolem Jeroným je 4,7 km východně, granitový lom Vítkov se nachází severně ve vzdálenosti 6,3 km. Maximální hodnoty z nejbližšího lomu Krásno se obvykle pohybují v rozmezí 10^{-3} - 10^{-2} mm.s⁻¹ (hodnoty nejsou příliš významné pro hodnocení stability). Převažující frekvenční rozsah zaznamenaných vibrací je 1 - 6 Hz pro oba lomy. Jsou představena výkonová spektra a je proveden výpočet spektrálních časově-frekvenčních diagramů.

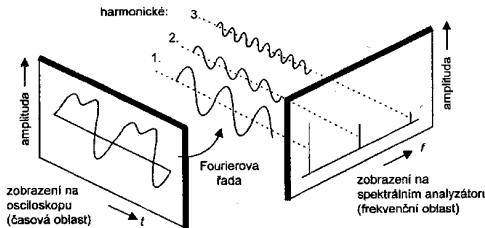
Seismogram

Seismogramy byly původně zaznamenány na list papíru (obr. 1), aktuálně na počítačový disk: analogový seismogram je definován jako souvislá stopa, digitální seismogram jako řada číselných hodnot, oba typy seismogramů jsou funkce závislé na čase. Frekvenční obsah vlnění v daném místě se vyšetřuje pomocí běžně užívané Fourierovy transformace, která reprezentuje převod signálu z časové oblasti do oblasti frekvenční. Princip transformace je založen na předpokladu, že všechna vlnění se dají rozepsat jako součet jednoduchých harmonických vln (obr. 2).

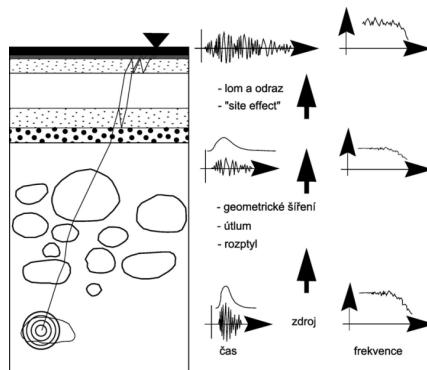


Obr. 1 Příklad analogového záznamu na teplocitlivém papíře slabé trhací práce v prostředí s velkým seismickým šumem

Na obrázku 3 (Podle Scherbaum, 1994) je schematicky znázorněn vliv geologického prostředí, kterým se vibrace šíří, na seismický záznam. Je uveden vliv na záznam v časové i frekvenční oblasti.



Obr. 2 Grafické znázornění principu frekvenční analýzy (převzato z Dobeš a Žalud, 2006)



Obr. 3 Schematická znázornění vlivu geologické prostředí na seismický záznam (podle Scherbaum, 1994)

Důl Jeroným v Čisté

Důl Jeroným v Čisté u Sokolova (Česká republika) je významným dědictvím dokladujícím středověkou těžbu cínu (obr. 4). Studie pro hodnocení stability dolu v podzemních prostorách byly zahájeny v roce 2001 mimo jiné v rámci přípravy otevření tohoto dolu pro veřejnost. Proto je velmi důležité podrobné vyhodnocení vibrací v podzemních prostorách.



Obr. 4 Fotografie ručního dobývání a sázení ohně v historickém Dole Jeroným (foto: Lednická)

Důl Jeroným se z části Starých důlních děl – SDD a komplexu Opuštěných důlních děl – ODD. Tato památka doplňuje fond evropských montánních památek zejména v oblasti těžby a zpracování cínu za období druhé poloviny 16. století v části SDD a za období téměř přes 400 let průzkumu a těžby v části ODD. Důl Jeroným byl v roce 1990 prohlášen Ministerstvem kultury ČR „kulturní památkou“, v současnosti je již část prostor v SDD zpřístupněna veřejnosti. Historie a geologie tohoto ložiska byla publikována např. Beranem et al. (1995) nebo Žürkem a Kořínkem (2003). První kroky směřující k zachování komplexu důlních děl Jeroným byly učiněny v 90-tých letech. V roce 2000 byly vypracovány detailní studie zpřístupnění tohoto historického objektu a byly zahájeny sanační práce. Při pracích je věnována pozornost zabezpečení důlních děl i vlastních památek před poškozením. Účelem stávajícího geomechanického a seismologického monitoringu je posouzení geomechanické stability části ODD, kontrola dopadu prováděných hornických prací na historické důlní prostory a vliv dopravy ze silnice procházející nad důlním dílem, jehož některé prostory se nachází mělké pod povrchem terénu (např. Kaláb, 2003, Kaláb a Lednická, 2016, Kaláb et al., 2010, Lednická a Kaláb, 2013, 2016a, 2016b).

Posouzení seismického zatížení historických prostor Dolu Jeroným vychází ze seismologického monitoringu vlastní aparaturou EPC3 se spouštěným záznamem dat. Nejvýznamnějším seismickým zatížením Dolu Jeroným po dobu monitoringu byly seismické roje s ohnisky v okolí Nového Kostela. Seismické zatížení historických prostor Dolu Jeroným umožňuje nejen průběžně sledovat možný negativní dopad vibrací na historické části dolu, ale především správně stanovit kritické

hodnoty zatížení při provádění rekonstrukčních prací v dole a jeho okolí. Při níže popsaném testu byly použity seismické aparatury typu BR32 se senzory Lennartz Le3D-1s s vlastní frekvencí 1 Hz a rozsahem do 100 Hz. Nastavena byla vzorkovací frekvence 250 Hz, $LSB = 1,4552 \cdot 10^{-9} \text{ mm.s}^{-1}$.

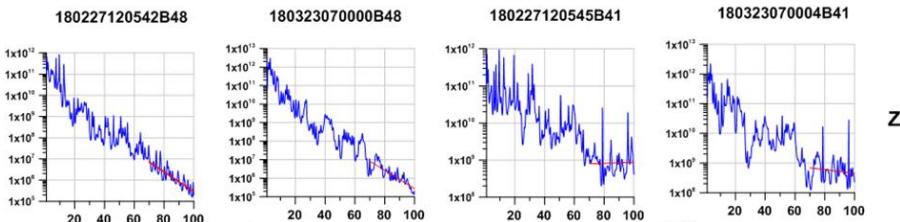
Spektrální analýza záznamů trhacích prací

Aparatura s označením B41 byla umístěna v nejnižším podlaží správní budovy Dolu Jeroným, druhá s označením B48 měla senzor umístěn v hloubce cca 30 pod úrovní terénu v důlní prostoroč. K prezentaci vlivu umístění senzoru v různých hloubkových úrovních byly zvoleny záznamy dvou trhacích prací z nedalekých povrchových lomů (viz výše). Studie zabývající se detailní analýzou seismických záznamů jsou známy z řady článků i knih, např. Kulhánek, 1990, Shearer, 2009, Udáš a Buforn, 2017. V článku představujeme výsledky výpočtu výkonových spekter a spektrálních časově-frekvenčních diagramů. Popis metodiky zpracování dat je uveden v článcích (Lyubushin, 2001, 2007, Lyubushin et al., 2012, 2013, 2014).

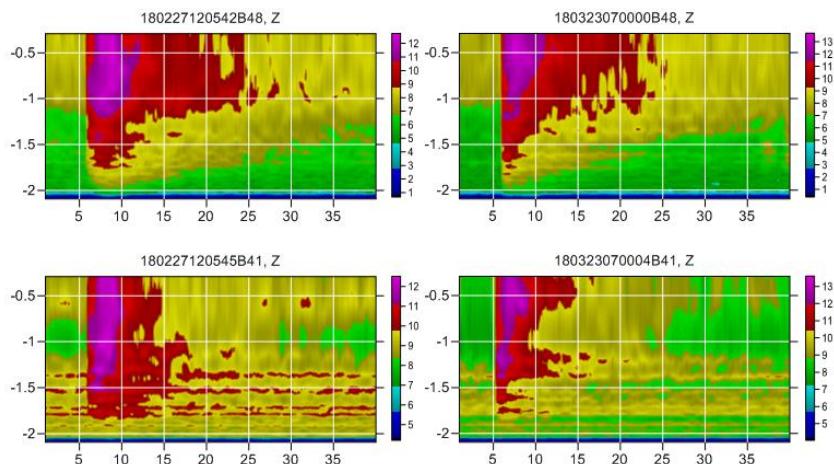
Na obr. 5 jsou spektra záznamů svislých složek, první dvě spektra $S(f)$ zleva představují výsledek z povrchové stanice, další dvě spektra jsou z důlní stanice. Červená přímka ukazuje trend spektrální čáry v oblasti 70 – 100 Hz ve tvaru $\log(S(f)) \sim f$. Charakter spekter z povrchové a důlní stanice je významně rozdílný:

- Rozsah hodnot $S(f)$ je pro záznam z důlní stanice o několik řádů vyšší
- Variabilita spektrální čáry je pro záznam z důlní stanice významně nižší
- Trend spektrální čáry v oblasti 70 – 100 Hz je významně odlišný

Stejný charakter lze definovat také pro obě vodorovné složky záznamů. Výše uvedené rozdíly v charakteristikách spekter mj. jednoznačně umožňují rozlišení spekter/záznamů pořízených na povrchu a v důlním díle. Výsledek z výpočtu časově frekvenčních spekter je opět prezentován na záznamech svislých složek (obr. 6). Výsledek vychází z výpočtu rozvoje logaritmu spektra s pohybujícím se oknem (right-hand of moving time window) o délce 250 s (tj. 1 s) s krokem 25 vzorků (tj. 0,1 s). Na vodorovné ose je relativní čas, barevná škála představuje pravděpodobnostní přírůstek spektrální funkce (log-likelihood function increment with respect to a pure random model). Také tento výsledek ukazuje zřetelný rozdíl mezi časově-frekvenční strukturou spekter pro záznamy důlních a povrchových stanic.



Obr. 5 Spektra záznamů trhacích prací z důlní (B48) a povrchové (B41) seismické stanice, na vodorovné ose je frekvence v Hz (komentář v textu)



Obr. 6 Časově- frekvenční spektra trhacích prací z důlní (B48) a povrchové (B41) seismické stanice, na vodorovné ose je relativní čas v s (komentář v textu)

Závěr

Představené výpočty ukazují významný přínos různých metod spektrálních analýz digitálních záznamů pro získání nových informací o signálu, speciálně jde o frekvenční stavbu signálu, zřetelné či „neviditelné“ harmonické složky signálu nebo dynamickou strukturu signálu.

Poděkování: Příspěvek byl zpracován za finanční podpory výzkumného programu Akademie věd České republiky, RVO:68145535.

Literatura

- Ainalis, D., Kaufmann, O., Tshibangu, J.P., Verlinden, O., Kouroussis, G. (2017): Modelling the source of blasting for the numerical simulation of blast-induced ground vibrations: A review. *Rock Mech Rock Eng*, Vol. 50, p. 171–193. DOI 10.1007/s00603-016-1101-2
- Beran, P., Jangl, L., Majer, J., Suček, P. a Otfried, W. (1995): 1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese. Okresní muzeum Sokolov.
- Dobeš, J., Žalud, V. (2006): Moderní radiotechnika. BEN – technická literatura, Praha, ISBN 80-7300-132.2, 767 stran.
- Dojčár, O., Horký, J. a Kořínek, R. (1996): Trhacia technika. MONTANEX, a.s., ISBN 80-85780-69-0, Ostrava, 421 stran.
- Kaláb, Z. (2003): Posouzení seismického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*. Roč. 8, č.1, s. 36-41.
- Kaláb, Z. (2008): Seismická měření v geotechnice. VŠB-TU Ostrava.
- Kaláb, Z. (2018): Influence of vibrations on structures. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 23, No. 3., p. 293-311. <https://actamont.tuke.sk/pdf/2018/n3/6kalab.pdf>
- Kaláb, Z., Lednická, M. (2016): Long-term geomechanical observation in the Jeroným Mine. *Acta Geophysica*, Vol. 64, No. 5, p. 1513-1524. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0054
- Kaláb, Z., Štemon, P. (2017): Influence of seismic events on shallow geotechnical structures. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 22, No. 4, p. 412-421. <https://actamont.tuke.sk/pdf/2017/n4/9kalab.pdf>
- Kaláb, Z., Lednická, M., Knejzlík, J., Telesca, L. (2010): First results from long-term monitoring of distance using a laser distance meter in shallow medieval mine. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 7, Issue 4, p. 469-475.
- Kaláb, Z., Pandula, B., Stolárik, M., Kondela, J. (2013): Examples of law of seismic wave attenuation. *Metalurgija*, No. 52/3, p. 387-390.
- Kondela, J., Pandula, B. (2012): Timing of quarry blasts and its impact on seismic effects. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 9, Issue 2, p. 155-
- Kulhánek, O. (1990): Anatomy of Seismograms. Elsevier Science, Amsterdam.

- Lednická, M., Kaláb, Z. (2013): Vibration effect of earthquakes in abandoned medieval mine. *Acta Geod Geophys.*, Vol. 48, Issue 3, s. 221-234. DOI 10.1007/s40328-013-0018-4.
- Lednická, M., Kaláb, Z. (2016a): Vibration effect of near earthquakes at different depths in a shallow medieval mine. *Acta Geophysica*, Vol. 64, No. 6, p. 2244-2263. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0085
- Lednická, M., Kaláb, Z. (2016b): Determination of granite rock massif weathering and cracking of surface layers in the oldest parts of medieval mine depending on used mining method. *Arch. Min. Sci.*, Vol. 61, No. 2, p. 381-395. DOI 10.1515/amsc-2016-0028.
- Lyubushin Jr., A.A. (2001): Multidimensional Wavelet Analysis of Geophysical Monitoring Time.. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth, Series A.*, Vol. 37, No. 6, p. 474–483.
- Lyubushin, Jr., A.A. (2007): Data analysis of geophysical and ecological monitoring. Nauka, 228p.
- Lyubushin Jr., A.A, Kaláb, Z., Lednická, M. (2012): Geomechanical time series and its singularity spectrum analysis. *Acta Geod Geophys Hung*, Vol. 47(1), p. 69–77.
- Lyubushin Jr., A.A, Kaláb, Z., Lednická, M., Haggag, H.M. (2013): Discrimination of earthquakes and explosions using multi-fractal singularity spectrums properties. *J Seismol*, Vol. 17(3), p. 975–983.
- Lyubushin Jr., A.A, Kaláb, Z., Lednická, M. (2014): Statistical properties of seismic noise measured in underground spaces during seismic swarm. *Acta Geodaetica et Geophysica*, Vol. 49, Issue 2, p. 209-224.
- Pandula, B., Kondela, J. (2010): Metodológia seismiky trhacích prác. SSTVP, Banská Bystrica.
- Pandula, B., Jelšovská, K. (2008): New criterion for estimate of ground vibrations during blasting operations in quarries. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 5, Issue 2, p. 147-152.
- Pijush, P. R. (2005): Rock blasting: Effects and operations. A.A. Balkema Publishers.
- Shearer P.M. (2009) Introduction to seismology. Cambridge University Press, Cambridge, second edition.
- Scherbaum, F. 1994): Basic concepts in digital signal processing for seismologists. Lecture Notes in Earth Sciences, 53, Springer-Verlag.
- Udfas, A., Buforn, E. (2017): Principles of Seismology. Cambridge University Press, 525 p.
- Zeigler, J.M. (2018): http://vibrationanddamage.com/vibration_and_damage.htm
- Žurek, P., Kořínek, R. (2003): Zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 8, č.2-3, 96-10.

Abstrakt přednášky

Nové trendy trhavin 100leté společnosti Explosia, ekologické aspekty

Autoři: Mgr. Radovan Skácel Ph.D., Ing. Petr Tužil, Ing. Pavel Diviš

Prezentace společnosti Explosia a.s. se zabývá ekologickými aspekty v nových trendech výroby trhavin. Součástí prezentace je náhled do historie společnosti, která v roce 2020 slaví stoleté výročí své existence, ale také informace o aktuální nabídce produktového portfolia a posledních novinkách v oblasti výroby výbušnin. Hlavní část přednášky se zabývá vývojem nových ekologicky přijatelných průmyslových trhavin a vývojem želatinových trhavin ve společnosti Explosia a.s. Posluchači se dozví například informace o novém Permonu R, který využívá málo těkavých netoxických rozpouštědel, nebo budou moci porovnat parametry známého Permonexu V 19 a nového Permonu RNp.

Abstract of the lecture

New trends of explosives of 100-year-old company Explosia, ecological aspects

Authors: Mgr. Radovan Skácel Ph.D., Ing. Petr Tužil, Ing. Pavel Diviš

Explosia a.s. presentation deals with ecological aspects in new trends of explosives production. Part of the presentation is an insight into the history of the company, which in 2020 celebrates the 100th anniversary of its existence, but also information about the current product portfolio and the latest news in the field of explosives production. The main part of the lecture deals with the development of new ecologically acceptable industrial explosives and the development of gelatin explosives in Explosia a.s. For example, listeners will learn about the new Permon R, which uses low volatile non-toxic solvents, or will be able to compare the parameters of the well-known Permonex V 19 and the new Permon RNp.



Nové trendy trhavin 100leté společnosti Explosia ekologické aspekty



1920-2020 | EXPLOSIA a.s.

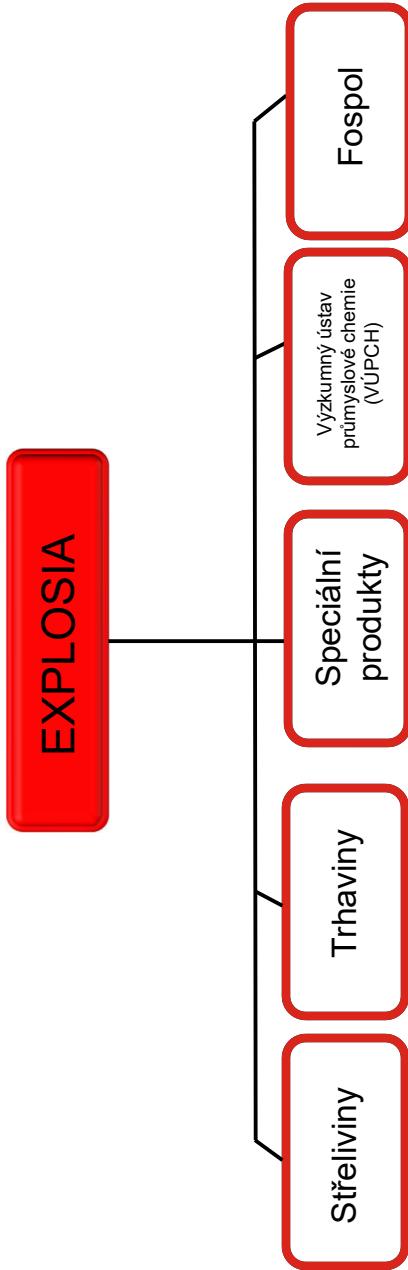
100 LET NA TRHU S VÝBUŽNINAMI

- založena roku 1920 v Semtíni
- 100% vlastněná státem (MPO ČR)
- 600 zaměstnanců
- roční obrat cca 40 mil. EUR
- ISO 9001:2008,
ISO 14001:2004, AQAP 2110



www.explosia.cz

Organizační struktura společnosti k datu 1. 5. 2020



Trhaviny

Civillní použití

Průmyslové trhaviny
práškové trhaviny/amonledky, ANFO, důlně
bezpečné trhaviny, emulzní trhaviny, Dynamity,
černý prach nebo bleskovicé

Plastické trhaviny

Semtex 1A, 10, listová trhavina Semtex 10-SE

Vojenské použití

Semtex® C-4, PE4, 1H, PI Np 10, PI Hx 30,
Plu E-P 14, PI D-E 12



Střeliviny

Jednosložkové prachy (S)

Dvousložkové prachy (D)

Bezdýmné prachy pro vojenské aplikace a munice



1920-2020 | EXPLOZIA a.s.
100 LET NA TRHU S VÝBUŠNINAMI



www.explosia.cz

Hnací náplň pro 155mm KH (BMCS)



www.explosia.cz

Fospol

- nakládka
- vrtací práce
- trhací práce
- nabíjecí servis
- ADR doprava



FOSPOL



www.explosia.cz

Výzkumný ústav průmyslové chemie (R&D)

založen 1954



Externí služby

- likvidace airbagů
- zkoušky trhavin, střelivin
- analytické služby

Interní služby

- analytické služby
- akreditovaná balistická zkušebna
- a laboratoř bezpečnostního inženýrství
- zkušebna trhavin
- výzkum a vývoj trhavin a střelivin



www.explosia.cz

Speciální výrobky

- energetické materiály
- speciální produkty
- pyrotechnické předměty
- letecké záchranné prostředky
- služby akreditovaných zkušeben



Vývoj nových ekologicky přijatelných průmyslových trhavin v rámci projektu TAČR v Explosia a.s.

T A
Č R

2. výzvou soutěž Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON

TH02010417

Vývoj výrobních technologií perspektivních energetických materiálů

Program: TH - Program na podporu výzkumu a experimentálního vývoje
EPSILON

Podprogram: Podprogram 1 - Znalostní ekonomika

Doba řešení: 01/2017 - 06/2020

- Využití druhohrných surovin z výroby hexogenu a pentritu.
- Trhavy z roztoků brizantních trhavin na porézním prilováreném dusičnanu amonnému (DA)



Náhrada průmyslových trhavin s obsahem toxického TNT

Zkoušky na balistickém kryadle:

Požadovaná hodnota RPS pro Permonex V 19 (16-19% TNT) je minimálně 85% trhací želatiny (dosahováno 90-94%).

Požadovaná hodnota pro DAP je 65% (dosahováno asi 70%).

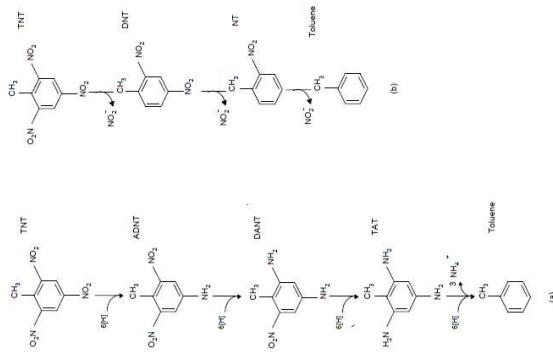
Je třeba použít nové nebo málo toxické energetické materiály, případně kalorické kovy ke zvýšení výkonu.



Látky znečišťující podzemní vody

TNT - kontaminace povrchové i spodní vody, půdy a sedimentu

DNT - (potenciálně DBV) obsažené v delaborovaných bezdýmých praších



Permon R

- využití málo těkavých netoxických rozpouštědel
- použití druhotné suroviny ze zpracování hexogenových (RDX) delaborátů
- malé množství hexogenu a vosku, lze dobře nasáknout do přilovaného dusičnanu amonného
- blízkost intermolekulární energetickým materiálům
- trhavina je spolehlivě citlivá k rozbušce č. 8 i k bleskovici, zároveň bezpečná
- výkonnostní parametry jsou vyšší než u trhaviny DAP, výpočtově dosahuje úrovně Permonexu V 19



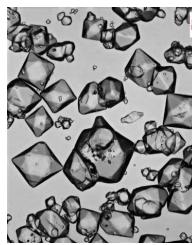
Schéma získávání RDX z delaborátu

RCOOR



+

delaborát nebo
roztok po výrobě



Permon R

RPS

měření	výchylka [mm]	průměrná výchylka [mm]	RPS [%]	datum zkoušky
1	1120			
2	1132			
3	1120	1130	87	17. 6. 2019
4	1141			
5	1138			



1920-2020 | EXPLOSLA a.s.

100 LET NA TRHU S VÝBUŠNINAMI

DETONAČNÍ RYCHLOST

A) ocelová trubka vnitřní průměr 42 mm					
měření	ρ [kg/cm^3]	B [mm]	t [ms]	DR [m/s]	DR průměr [m/s]
1	0,82	200	60,6	3300	
2	0,84	200	60,5	3306	
3	0,82	200	60,7	3295	6. 6. 2019

B) plastová trubka vnitřní průměr 42 mm					
měření	ρ [kg/cm^3]	B [mm]	t [ms]	DR [m/s]	DR průměr [m/s]
1	0,85	219	85,7	2555	
2	0,86	219	83,2	2632	
3	0,83	219	83,3	2629	6. 6. 2019

INICIACE OD BLESKOVICE 12 g/m

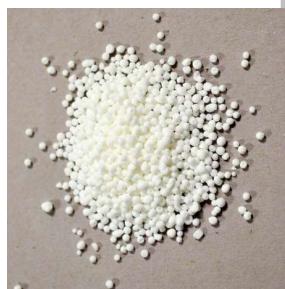
způsob	výsledek	datum zkoušky
příčné protážená zakončená užlem	detonuje	5. 6. 2019
podélně přiložená	detonuje	5. 6. 2019

Použitá rozbúška: Austin Detonator Shockstar PD (720 mg PETN)

www.explosia.cz



Permon RNp („rozbuškový pentritový“)

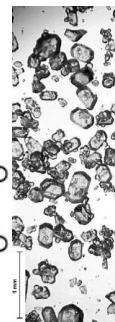
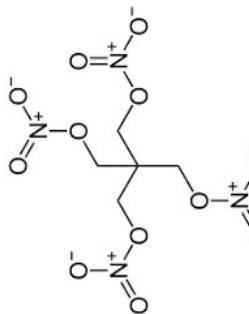


+



RCOOR

+



Permon RNp

RPS

měření	výchylka [mm]	průměrná výchylka [mm]	RPS [%]	datum zkoušky
1	1170			
2	1165			
3	1158			
4	1150			28. 6. 2019
5	1163			

DETONAČNÍ RYCHLOST



DETONAČNÍ SCHOPNOST

ocelová trubka vnější průměr 42 mm					
měření	ρ [g/cm ³]	B [mm]	t [ms]	DR [m/s]	DR průměr [m/s]
1	0,81	200	55,3	3617	
2	0,81	200	54,0	3704	
3	0,80	200	57,1	3503	

Měření číslo 3 bylo iniciováno od počátku 50 g Semtexu 1 A.

DETONAČNÍ SCHOPNOST

initiator	rozbuška	výsledek	konečný výsledek	datum zkoušky
měření	výsledek jednotlivých zkoušek			
1	+			
2	+			
3	+			
		výhovuje		28. 6. 2019

INICIACE OD BLESKOVICE 12 g/m

zpisob	výsledek	datum zkoušky
příčné protážená zakončená uzel	detonuje	28. 6. 2019
podélné přiložena	detonuje	28. 6. 2019

Použitá rozbuška: Austin Detonator Shockstar PD (720 mg PETN)

1920-2020 | EXPLOZIA a.s.

100 LET NA TRHU S VÝBUŠNINAMI

www.explosia.cz

Vypočtené parametry



Permonex V 19

Kyslíková bilance:	-0,56 %
Výbuchové teplo:	4 250,41 kJ.kg ⁻¹
Výbuchová teplota:	2 890,20 °C
Objem plynu 0°C:	907,61 dm ³
Maximální hustota (TMD):	1,646 g.cm ⁻³
Maximální detonační rychlosť:	5 636,40 m.s ⁻¹
Maximální detonační tlak:	13,97 GPa
% z TMD:	60,00 %
Reálná hustota:	0,988 g.cm ⁻³
Reálná detonační rychlosť:	3 981,84 m.s ⁻¹
Reálný detonační tlak:	3,91 GPa

Objem plynu při výbuchové teplotě: 9 603,05 dm³
Tlak plynu při výbuchové teplotě: 0,95 Gpa
Gurney-ho rychlosť: 2 239,63 m.s⁻¹

Permon R Np

Kyslíková bilance:	-0,13 %
Výbuchové teplo:	4 449,48 kJ.kg ⁻¹
Výbuchová teplota:	2 859,85 °C
Objem plynu 0°C:	931,79 dm ³
Maximální hustota (TMD):	1,632 g.cm ⁻³
Maximální detonační rychlosť:	5 368,58 m.s ⁻¹
Maximální detonační tlak:	11,72 GPa
% z TMD:	58,00 %
Reálná hustota:	0,947 g.cm ⁻³
Reálná detonační rychlosť:	3 737,98 m.s ⁻¹
Reálný detonační tlak:	3,31 GPa

Objem plynu při výbuchové teplotě: 9 755,34 dm³
Tlak plynu při výbuchové teplotě: 0,92 Gpa
Gurney-ho rychlosť: 2 215,55 m.s⁻¹

Závěr

- během projektu TAČR vyvinuty nové trhaviny na bázi prilovaného DA
- trhaviny jsou citlivé k rozbušce, bleskovici nebo malým počinovým náložím
- trhaviny jsou necitlivé ke tření a velmi málo citlivé k nárazu
- Permony R budou dodávány pouze v pytlované variantě
- výkonnost, detonační rychlosť
- trhaviny pro český a slovenský trh
- možnost zkoušení trhavin předpokládána v průběhu roku 2020



1920-2020 | EXPLOSAIA a.s.
100 LET NA TRHU S VÝBUŠNINAMI

www.explosia.cz



Nové trendy vývoje želatinovaných trhavin v Explosia a.s.

Výhody používání želatinovaných trhavin



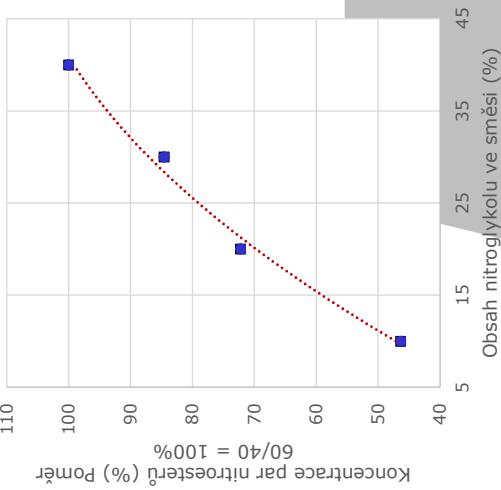
Nevýhody použití želatinovaných trhavin

Snižení toxicity želatinovaných trhavin

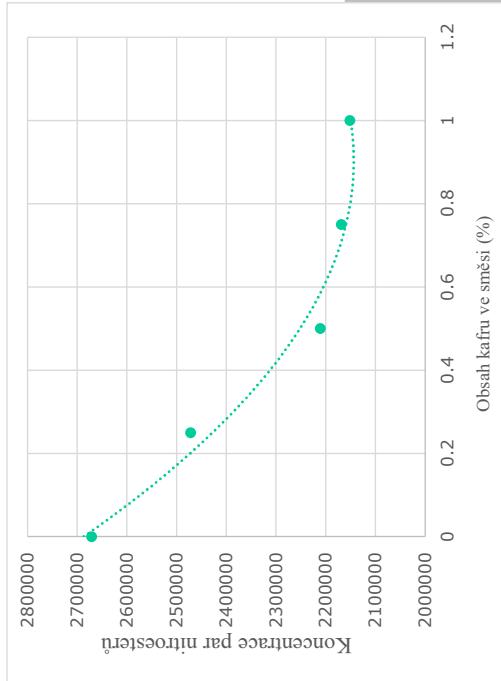
1920-2020 | EXPLOZIA a.s.
100 LET NA TRHU S VÝBUŠNINAMI

www.explosia.cz

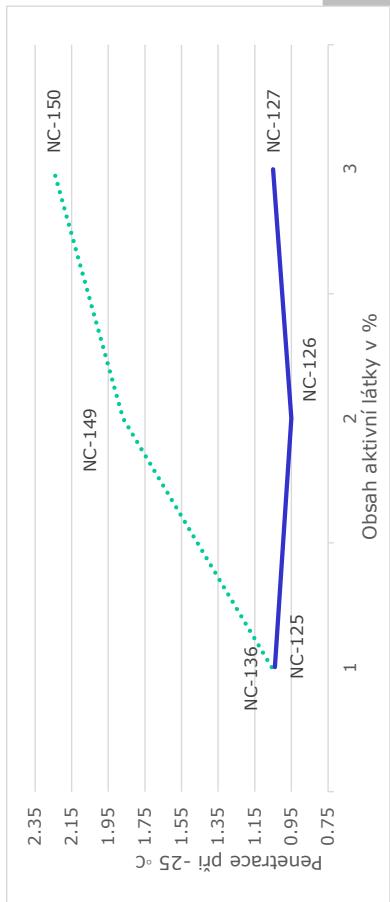
Snižení vlivu nitroesterů v želatinovaných trhavinách na zdraví uživatelů



Snížení vlivu nitroesterů v želatinovaných trhavinách na zdraví uživatelů



Ovlivnění konzistence želatinovaných trhavin



Závěr

Přes tvrzení některých výrobců trhavin dosud neexistuje plnohodnotná náhrada průmyslových želatinovaných trhavin!

Explosia a.s. sleduje nové trendy ve vývoji želatinovaných trhavin a je v této oblasti schopna vyhovět požadavkům svých zákazníků.



1920-2020 | EXPLOSIA a.s.
100 LET NA TRHU S VÝBUŠNINAMI

www.explosia.cz



T A
Č R

Tento projekt je spolufinancován se státní
podporou Technologické agentury ČR v rámci
Programu EPSILON.

www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost.

www.explosia.cz

EXPLOSIA a.s.

Semtíñ 107
530 02 Pardubice
Česká republika
E-mail: explosia@explosia.cz
Tel.: +420 466 825 227

Přednášel:
Ing. Pavel Diviš

Autoři:

Mgr. Radovan Skácel Ph.D.
Ing. Petr Tužil
Ing. Pavel Diviš



Problematika úředního měření seismických účinků podle zákona 505/1990,89/2012 ve znění pozdějších úprav a novelizované ČSN 730040

(Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva).

**RNDr Bohumil Svoboda CSc
(Geodyn s.r.o, Bajkonurská 736/4 14900 Praha 4)**

1. Úvod

Hodnocení seismických účinků trhacích a stavebních prací je nutno provádět ze dvou hledisek:

- a) velikost seismických účinků nejčastěji uváděna v mm/s
- b) povolená hodnota při níž nedojde k prvním známkám škod

2. Seismické měření

Podle tohoto zákona (§3) se měřidla rozlišují na:

- a) etalony
- b) pracovní měřidla stanovená - např. tlukoměry
- c) pracovní měřidla nestanovená – např. seismografy
- d) referenční materiály

Ověřování a kalibrace

Při kalibraci (§9) se pracovního měřidla se jeho metrologické vlastnosti porovnávají zpravidla s etalonem, není-li etalon k dispozici, lze použít certifikovaný, nebo ostatní referenční materiál za předpokladu dodržení zásad návaznosti měřidel. U seismografů se kalibrace provádí 1x za 4 roky.

Úřední měření (§21)

Úřad může v případech hodných zvláštního zřetele autorizovat subjekt na jeho žádost k výkonu úředního měření ve stanoveném oboru měření po prověření úrovně technického a metrologického vybavení. Podmínkou výkonu je:

- a) používání měřidel , u nichž je zajištěna metrologická návaznost.
- b) certifikát odborné způsobilosti úředního měřiče vydaný akreditovanou osobou
- c) nebo osvědčení o odborné způsobilosti vydané Úřadem a dohled prováděný Českým metrologickým institutem

Úředním měřením se rozumí metrologický výkon o jehož výsledku vydává autorizovaný subjekt doklad, který má charakter **veřejné listinu. Jeho náležitosti stanoví ministerstvo vyhláškou.**

Podle přílohy č.9. k vyhlášce 262/200 Sb. platí:

Doklad o úředním měření je veřejnou listinou a obsahuje tyto náležitosti:

1. Záhlaví obsahuje název a sídlo autorizovaného subjektu s textem:
2. Subjekt autorizovaný k výkonu úředního měření rozhodnutím ÚNMZ č.j.... ze dne ...
3. Nadpis Doklad o úředním měření č.../... (letopočet)
4. Objednatel úředního měření č.j. (značka) žádost nebo smlouvy.
5. Předmět měření
6. Popis a identifikační údaje předmětu měření
7. Datum měření
8. Ovlivňující okolnosti nebo podmínky měření
9. Měřidlo nebo měřidla použíta pro úřední měření (druh ,typ, rozsah, metrologická návaznost)
10. Použitá měřicí metoda
11. Výsledky měření
12. Ostatní potřebné údaje o měření (např. o odběru vzorků)
13. Místo a datum vydání dokladu o úředním měření
14. Jméno a podpis úředního měřiče
15. Otisk razítka subjektu autorizovaného k úřednímu měření

Úřad může ve zvláštních případech schválit doplnění dokladu o potřebné body.

3. Veřejná a soukromá listina

3.1 Veřejná listina

Rozlišování listin na veřejné a soukromé je významné z hlediska hodnocení důkazů v **občanském soudním řízení**.

Občanský soudní řád vymezuje v ust. § 134 pojem veřejné listiny tak, že veřejnými listinami jsou:

1. listiny vydané soudy České republiky nebo jinými státními orgány v mezích jejich pravomoci,
2. listiny, které zvláštními předpisy prohlašuje za veřejné (v našem případě doklad o úředním měření)

Ostatní listiny, které nesplňují uvedené znaky jsou listinami soukromými

U veřejných listin, které mají charakter osvědčení nebo potvrzení orgánu, hodnotí nejen jejich pravost, ale i správnost obsahu.

Veřejná listina, která byla uznána za pravou, a o jejímž obsahu nevešly v řízení pochybnosti, může být zba-vena své důkazní síly jen tak, že účastník popírající její pravdivost uvede skutečnosti a navrhe důkazy o tom, že veřejná listina je nepravdivá. Důkaz opaku tíží tedy účastníka, který její pravdivost popírá.

3.2 Soukromá listina

Naproti tomu u soukromé listiny stačí pouhé zpochybnění jejího obsahu druhým účastníkem a je na účastní-kovi, který se jejího obsahu dovolává, aby prokázal její správnost a pravdivost.

U listin soukromých pak soud vždy zkoumá jak jejich pravost, tak i správnost obsahu. Soukromé listiny jsou například různé stížnosti.

Lze tedy rozlišit dva druhy měření seismických účinků trhacích nebo stavebních prací:

1. Úřední, jehož výsledky jsou veřejnou listinou a lze je použít v případných soudních příp-
ech
2. Kontrolní, jehož výsledky jsou soukromou listinou a sloužící pouze pro orientaci společnosti provádějící trhací práce.

Poznámka:

Seznam úředních měřičů je na webové adrese www.unmz.cz

4. Vyhodnocení seismického měření

Vyhodnocení se provádí podle platné ČSN 730040 následujícím způsobem.

4.1 Stanovení přípustných hodnot IMPULSÍNÍHO seismického zatížení.

- Reakce objektu na seismických účincích závisí na geologickém složení základové půdy.
- Kategorie geotechnických vlastností horninového prostředí v místě ohrožených objektů (druh základové půdy ohroženého objektu) jsou zatřízeny podle ČSN 730040 dle tab. 1
- Mezní rychlosti kmitání, při nichž nedojde ke vzniku prvních známek škod závisí na druhu objektu podle tab. 2.
- Dále závisí na frekvenci kmitání.
- Obě tato kritéria jsou stanovena v tabulce 3 pro impulsní vibrace (odstřely)

TAB.1

Kategorie horniny	Tabulková výpočtová únosnost R_{dt} (MPa)	Hladina podzemní vody pod základovou spárou (m)
a	$\leq 0,15$	1-3
b	$\leq 0,15$	> 3
b	$\geq 0,15$	1-3
c	$\geq 0,15$	> 3
c	$\geq 0,6$	> 1

Třídy odolnosti pro jednotlivé objekty, při nichž nedojde ke vzniku prvních známek škod (škody 0) jsou stanoveny dle ČSN 730040 v Tab. 2

TAB.2

Třída odolnosti objektu	Objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské	Objekty inženýrské	Objekty podzemní	Podzemní inženýrské sítě a kably
A	Chatné stavby, neodpovídající stavebním předpisům, zříceniny; historické budovy z neopracovaného kamene nebo cihel s klenutými překlady, průvlyky a plošnými klenbami nad místnostmi v přízemí a suterénu; kamenné a zděné pomníky a kašny; budovy s rozsáhlou plastickou výzdobou; budovy ve zvláště památkové péči;archeologické objekty			
B	Běžné cihelné stavby, izolované nebo řadové domky s půdorysnou plochou do 200 m ² , nejméně o 3 podlažích			
C	Veliké budovy z cihel a tvarnic, dobré ztužené stavby panelové a montované z betonových prvků; zdvoj na cementovou maltu	Kamenné mosty (sochy a ozdoby) opěrné a ochranné zdi z kamene a cihel, zděné vodojemy	Keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemních objektech metra v podchodech	Potrubí osinkrementové, kameninové, kabelové spojky, Pupinovy skříně na sdělovacích kabelech

D	Budovy ze skeletu ocelového nebo betonového, dřevěné a hrazené stavby s dobrým ztužením, prostý beton	Opěry mostů z opracovaného kamene, monolitické vodojemy	Cihelné, kamenné a tvárnicové vyzdívky v podzemních objektech	Potrubí litinové, betonové, potrubí z umělých hmot
E	Železobetonové a ocelové konstrukce, výrobní a provozní objekty, železobetonová síla a zásobníky	Železobetonové inženýrské stavby, ocelové stožáry	Betonové monolitické konstrukce podzemních objektů; vyzdíváné a monolitické stoly kruhového a vejčitého tvaru; stoky a technologické tunely z dílů a trub o průměru větším než 800 mm; podzemní železobetonové stěny, kotvení, kořeny kotev	Kabely žilové a koaxiální sdělovací kably
F			Železobetonové a ocelové ostění tunelu metra a kolektoru; úkryty civilní obrany	Potrubí ocelové

Pro posuzování všech nově vzniklých škod srovnáním stávajících s novými bylo požito kritérii dle ČSN 730040 kde jsou škody od dynamických účinků rozdělovány následovně:

- Bez poškození.** Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěnost nádrží apod., jsou plně zachovány.
- Prvě známky poškození.** Trhliny šířky do 1 mm na styku stavebních prvků (ve stropních fabionech).
- Lehké rozrušení s malými škodami.** Trhliny šířky do 5 mm v omítce, příčkách, v komínovém zdívu, opadávání omítky, uvolnění krytiny.
- Sřední rozrušení s vážnými škodami.** Stabilita není ohrožena. Trhliny šířší než 5 mm v příčkách i nosných zdech. Opadávání krytiny a částí komínů.
- Značné rozrušení s vážnými škodami.** Trhliny v nosných zdech a překladech, ohrožujících jejich statickou funkci. Zřícení příček, výplňového zdíva a komínů. Trhliny v prostém betonu. Poništění stability.
- Uplné rozrušení a destrukce.** Zřícení cihelných staveb nebo jejich částí s hlavními nosnými prvky. Trhliny i v železobetonu.

Třídy odolnosti pro jednotlivé objekty, při nichž nedojde ke vzniku prvních známek škod se stanovují dle ČSN 730040 v tab. 3

TAB. 3

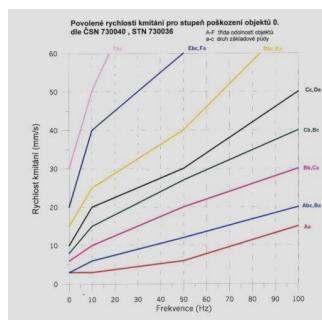
Třída odolnosti objektu	Objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské	Objekty inženýrské	Objekty podzemní	Podzemní inženýrské sítě a kably
A	Chatrné stavby, neodpovídající stavebním předpisům, zříceniny; historické budovy z neopracovaného kamene nebo cihel s klenutými překlady, půrvalky a plošnými klenbami nad místnostmi v přízemí a suterénu; kamenné a zděné pomníky a kašny; budovy s rozsáhlou plastickou výzdobou; budovy ve zvláštní památkové péči; archeologické objekty			
B	Běžné cihelné stavby, izolované nebo řadové domky s půdorysnou plochou do 200 m ² , nejvyšše o 3 podlažích			
C	Velké budovy z cihel a tvárnice, dobytek ztužené stavby panelové a montované z betonových prvků; zdíva na cementovou maltu	Kamenné mosty (sochy a ozdob) opěrné a ochranné zdi z kamene a cihel, zděné vodojemy	Keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemních objektech	Potrubí osinkocementové, kameninové, kabelové spojky, Pupinovy skříně na sdělovacích kabelech
D	Budovy ze skeletu ocelového nebo betonového, dřevěné a hrazené stavby s dobrým ztužením, prostý beton	Opěry mostů z opracovaného kamene, monolitické vodojemy	Cihelné, kamenné a tvárnicové vyzdívky v podzemních objektech	Potrubí litinové, betonové, potrubí z umělých hmot
E	Železobetonové a ocelové konstrukce, výrobní a provozní objekty, železobetonová síla a zásobníky	Železobetonové inženýrské stavby, ocelové stožáry	Betonové monolitické konstrukce podzemních objektů; vyzdíváné a monolitické stoly kruhového a vejčitého tvaru; stoky a technologické tunely z dílů a trub o průměru větším než 800 mm; podzemní železobetonové stěny, kotvení, kořeny kotev	Kabely žilové a koaxiální sdělovací kably
F			Železobetonové a ocelové ostění tunelu metra a kolektoru; úkryty civilní obrany	Potrubí ocelové

U ohrožených objektů, (určených pasportizaci) s předpokládanou dynamickou odezvou v okolí místa, kde lze očekávat impulsní vibrace nedojde ke vzniku prvních známek škod dle ČSN 730040 a v souladu se "Směrnicemi pro výstavbu Metra v Praze", RI 8507/1980 USA a ISO 4866 a DIN 4150, pokud nebude překročena následující rychlosť kmitání, v závislosti na frekvenci kmitání a stavebním stavu objektu dle tabulky č. 4:

TAB. 4

Rychlosť kmitáni pro obor frekvencí (mm/s)			Třída odolnosti objektu (tab.2)	Druh základové pôdy (tab.1)
f < 10 Hz	10 Hz ≤ f ≤ 50 Hz	f > 50 Hz		
do 3	3-6	6-15	A	a
3-6	6-12	12-20	A	b,c
6-10	10-20	15-30	B	a
8-15	15-30	20-40	C	b
10-20	20-30	30-50	B	c
15-25	25-40	40-70	C	a
20-40	40-60	60-100	D	b,c
30-50	50-100	100-150	E	a
			F	b,c

Tabuľka 4 je graficky vyjadrená na obr. 1, ktorý je rovnako na protokolech o mēření seismických účinků spoločnosti INSTANTEL.



Obr.1

4.2 Stanovení mezních hodnot pro dlouhodobé seismické účinky

U ohrozených objektů, (určených pasportizaci) s předpokládanou dynamickou odezvou v okolí místa zdroje vibrací nedojde ke vzniku prvních známek škod dle ČSN 730040, pokud nebude překročena následující rychlosť kmitáni, v závislosti na třídě objektu dle ČSN EN 1991-1-7 dle tabulky č. 5. V případě že není potřebný dynamický výpočet

TAB. 5 Vzniknou prvě známky poškození při následujících rychlostech kmitání

Třída odolnosti (dle TAB.2)	Charakteristika	Mezní rychlosť odezvy stavební konstrukce (mm/s)					
		Kategorizace odezvy konstrukce pro jednotlivé třídy objektů podle EN 1991—1-7					
		Třída CC3 Významné objekty	Třída CC2b Inženýrské stavby sloužící dopravě	Třída CC2a Objekty obytné a občanské	Třída CCI Objekty skladů	Možnost poruch	5% objektu je poškozeno
A	Staré chatréne nebo historické budovy	0,2	0,6	0,8	1,2	4,5	7,0
B	Běžné cihlové řadové domky bez věnce	0,4	1,0	1,4	2,0	9,0	14,0
C	Běžné cihlové řadové domky rádně postavené s věncem	0,95	1,8	2,4	3,0	25,0	50,0
D	Velké budovy z cihel a tvárnice panelové a montované	1,1	2,4	2,8	4,0	40,0	80,0
E	Budovy z monolitickou kostrou z oceli nebo železobetonu	1	3,0	4,0	6,0	60,0	100,0
F	Dto výrobní objekty, sila	2,0	4,0	6,0	8,0	70,0	120,0

Mezní rychlosti kmitání, při nichž nedojde ke vzniku prvních známek škod si může každý střelmistr stanovit orientačně sám ale toto stanovení má charakter soukromé listiny.

Závazné stanovisko může vydat pouze **soudní znalec** a toto stanovení (návrh trhacích prací) má charakter veřejné listiny. Závěry stanovené znalcem může být zbavena své důkazní sily jen tak, že účastník popírající její pravdivost uvede skutečnosti a navrhně důkazy o tom, že veřejná listina je nepravdivá. Důkaz opaku tíží tedy účastníka, který její pravdivost popírá.

Soudní znalec tedy stanoví mezní rychlosť kmitání, při niž nedojde v objektu ke vzniku prvních známek škod podle tab. 4 nebo 5.

Protokol o úředním měření pouze konstatuje jaká rychlosť kmitání byla na dané lokalitě naměřena.

Změna i ČSN 73040 po vstupu do EU

Novela ČSN 73040 pouze odstranila odkazy na ČSN 731001 (Základová půda pod plošnými základy), která byla, bohužel, nahrazena filosofickou eseji Evropské unie ČSN EN 1997 Eurokod 7 Navrhování geotechnických konstrukcí, která je pro praxi bohužel nepoužitelná. Totéž se stalo i s ČSN 73040 po její novele, která odstranila odkazy na starou kvalitní ČSN 731001 ve všech tabulkách

5. Přístroje (seismografy) používané k měření účinků trhacích prací.

Obecně se používají seismografy s indukčními snímači rychlosti kmitání v rozsahu 3-100 Hz. Snímače, pokud se s nimi provádí úřední měření se musí pravidelně kalibrovat v českém metrologickém institutu, nebo na vlastní kalibrační stolici (obr.2,3), která musí být kalibrována v Českém metrologickém institutu. Pokud jsou používány snímače zrychlení kmitání s integrátorem, stává se že měří spolu s vibracemi i hluk, neboť tyto snímače jsou mikrofoničné.



Obr. 2



Obr.3

Seismografy zaznamenávají průběh rychlosti kmitání a provádějí frekvenční analýzu. Pokud se v lomu provádějí trhací práce části je možno seismografy ovládat pomocí modemu. Např. u Instantelu Minimate plus modemem Fastrag. (obr.4) Toto řešení má často problémy se spojením přes telefonní síť, které mají v ČR bohužel nízkou přenosovou rychlosť.

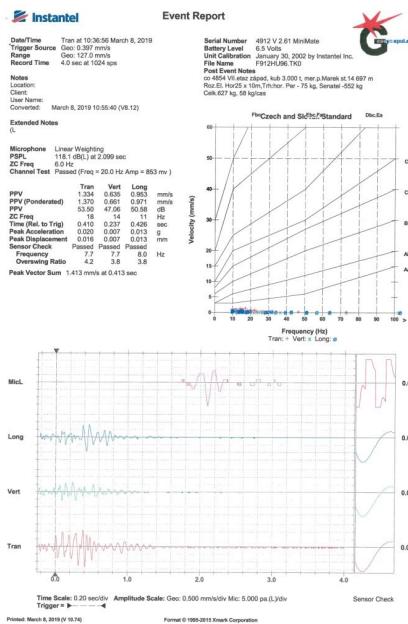


Obr.4



Obr.5

Novější seismografy s velkou pamětí jako Instantel Micromate mají velkou paměť a dají se naprogramovat tak, že měří jen v určitém časovém období. Naměřené výsledky lze velmi rychle přenést flash pamětí (obr.5). Výhodou přístrojů Instantel je, že autor tohoto článku předal společnosti grafické vyhodnocení ČSN 730040 a přístroj v protokolu o seismickém měření rovnou vyhodnocuje naměřené výsledky podle této normy (obr.6) Snímače rychlosti kmitání mají zabudovaný elektronický filtr, který minimalizuje rezonanční frekvenci snímače rychlosti kmitání.



Obr.6.

Použitá literatura:

1. Metrologický zákon 505/90
2. Oběanský zákon 89/12
3. ČSN 730040 novela
4. EN 1991-2 (736203) Zatížení konstrukci -Část 2 Zatížení mostů dopravou
5. ČSN EN 1997 Eurokód 7 Navrhování geotechnických konstrukcí,

Destrukce komínu „STRAKÁČ“, vysoký 101m, aglomerace: Vítkovice CZ**Petr Šobíšek, Zdeněk Šobíšek****Úvod**

Začátkem roku 2018 byla naše firma MITAL s.r.o. poptána o cenovou nabídku na destrukci komínu bývalé spékárny Aglomerace – Vítkovice. Spékárna byla v provozu od roku 1961 do roku 1998. K ukončení celého provozu došlo v roce 2000. Vzhledem ke kontaminaci celého prostoru bylo rozhodnuto o jeho asanaci a tím pádem k odstranění všech kontaminovaných staveb včetně komínu H = 101 m, který je pro své denní letecké zbarvení nazýván „Strakáč“. Povolení k odstranění stavby ze dne 16.6.2016.

Obr.2: komín „Strakáč“ Vítkovice CZ

Obr.1: Ing. Marián Beňovský, PhD., Petr Šobíšek

Parametry komínu

Jednalo se o cihelný komín se železobetonovou podstavou. Celková výška komínu byla 101,3 m z toho 4 m tvořila železobetonová komínová podstava. Průměr v patě byl 15,1 m a tloušťka stěny 2 m, z toho 0,3 m tvořila tepelně izolační vložka, průměr v koruně činil 8,6 m o tloušťce stěny 0,5 m.

Do komínu vedly pod úrovni země celkem čtyři kouřovody, které byly zaústěny do vlastního dříku ve dvou vstupech o průřezu 3,5 x 3,5m. Dále byl komín vybaven dvěma



manipulačními plošinami, dvěma bleskosvody, vnějším a vnitřním lezením (2x). Celkový stav komínu nebyl dobrý, zejména v koruně a těsně pod ní (15 m) byl silně popraskán a docházelo k uvolňování cihel. Komínový dřík se v místě destrukčního řezu jevil v pořádku, ale během vrtání vývrtů, kdy docházelo k vyfukování sazí ze sousedního vývrtu bylo zjištěno že je v podstatě celý dřík popraskaný.

Vyřízení povolení

Po získání zakázky jsme koncem dubna 2018 začali zpracovávat finální verzi projektu, dále byl stavební úřad požádán o povolení odstranění stavby „za použití výbušnin“. Proti odstranění stavby se okamžitě zvedla vlna odpor různých spolků, které žádali o prohlášení komínu kulturní památkou (první povolení k odstranění stavby 16.6.2016).

Dne 4.9.2018 vydalo Ministerstvo kultury rozhodnutí, že „neprohlašuje komín kulturní památkou“. Spolek sv. Václav spolu s dalšími subjekty podali podnět k provedení přezkumného řízení, toto bylo 29.1.2019 ministrem kultury zamítnuto. Mezi tím byla již na místně příslušný obvodní báňský úřad podána žádost o povolení trhacích prací velkého rozsahu, dne 29.4.2019 vydal obvodní báňský úřad „rozhodnutí o povolení trhacích prací velkého rozsahu při destrukci komínu Aglomerace – Vítkovice. Proti tomuto rozhodnutí se výše zmíněné spolky opět odvolaly (prašnost, kontaminace okolí nebezpečnými látkami apod.), odvolání bylo postoupeno Českému báňskému úřadu, který je jako neodůvodněné 16.7.2019 zamítl. Konečně jsme mohli začít pracovat.

Přípravné práce

Během povolovacích procesů bylo provedeno zaměření objektu, vytyčení ohrožených sítí, určení směru pádu. Vzhledem k neustálé se měnícím podmínkám (postupné odstraňování okolních budov) během povolování se měnil i směr pádu komínu. Další velmi důležitou a nebezpečnou prací bylo odstranění uvolněných ocelových pásnic z komínového dříku.



Obr.3: vrací práce – komín „Strakáč“

Jednalo se o celkem 7 kusů pásnic o průřezu 10 x 120 mm původně obepínajících komínový dřík, nejvýše uvolněná pásnice byla cca 97 m na zemí (o přibližné váze 500 kg). Tuto operaci zajistil objednatel.



Technologie destrukce komínu

S ohledem na okolní objekty, komunikace (Místecká, Rudná) a kanalizační stoku, která vede v souběhu s pádem komínového dříku byl stanoven pro pád trosek směr SV s tím, že se bude mírně cca o 15° odchylkovat od směru vedení kanalizace k SSV (vzdálenost od dopadu trosek 50 m).

Pro odstřel byl zvolen čtyřřadý destrukční řez rozvinutý na $\frac{1}{2}$ obvodu komínového dříku s klínovým zálomem. První řada destrukčního řezu byla umístěna ve výšce 4,8m na úrovni terénu, vzdálenost řad byla zvolena 1 m, rozteč vývrtů 0,8 m a hloubka 1,5 m.

Obr.4: Ing. Zdeněk Šobíšek, Ing. Marián Beňovský, PhD.

Celkem bylo vyvrtáno 120 vývrtů pro uložení náloží. Pro výpočet náloží byl použit vztaž pro soustřednou nálož (Jurajda – Voda) korigován dle „SPRENGTECHNIK LIPSKO 1985“

Vzhledem k ročnímu období (31.7. – 3.8.2019) s častým výskytem bouřkové činnosti, byl jako nejvhodnější a nejbezpečnější zvolen neelektrický roznět. K roznětu byly použity neelektrické rozbušky SHOCKSTAR MS 475MS a časování provedeno za použití SHOCKSTAR SURFACE 9MS s aktivací 1ks el. rozbušky DEM S AL.

Krytí destrukčního řezu bylo zhotoveno pomocí plotového pletiva a plachet.

Průběh prací

Po nabytí právní moci povolení, bylo přistoupeno k vlastní přípravě a provedení odstřelu. Dne 31.7.2019 v e 14:00 byly zahájeny vrtací práce za pomoci mobilnej hydraulickej plošiny. Vývrtby byly vrtány ručně pomocí vzduchových vrtacích kladiv VK -17, VK – 22 a vzduchové podpěry. V průběhu vrtacích prací byla provedena pasportizace ohroženého objektu „Český dům“ za ulicí Místecká. Vrtací práce byly ukončeny 2.8.2019, kdy ve 21:30 hod. proběhl návoz výbušnin a bylo zahájeno nabíjení, které ukončilo ve 4:00 hod. zakrývání destrukčního řezu. V 5:00 dne

3.8.2019 po náležitém poučení odešli bylo provedeno rozmístění hlídek na určená stanoviště, instalováno zařízení na měření seismických, akustických účinků odstřelu a pádu trosek. V 6:20 hod. byl uzavřen bezpečnostní okruh, za pomoci PČR též přidržen provoz na blízkých komunikacích Místecká a Rudná. Hasičský sbor zahájil v 6:30 hod. kropení místa předpokládaného dopadu trosek a po vyhlášení druhého signálu byl 3.8.2019 v 6:33 proveden odstřel.



Obr.5: Zdeněk Šobišek, Marián Beňovský



Obr.6: Ing. Zdeněk Šobišek, Ing. Luděk Bartoš, Ing. Marián Beňovský, PhD.

Obr.7: komín „Strakáč“ po odstřelu

Souhrn

celková spotřeba výbušnin:	AUSTROGEL P 28/200	100 kg
spotřeba rozbušek:	SHOCKSTAR MS 475MS	120 ks
	SHOCKSTAR SURFACE 9MS	30 ks
	DEM-S-AL	1 ks

Závěr

Po dopadu trosek komínového dříku a eliminaci prachu pomocí kropení, byla provedena prohlídka místa odstřelu a byl uvolněn bezpečnostní okruh. Provedené prohlídky ani následné vyhodnocení naměřených hodnot seismických a akustických účinků neodhalily žádné vzniklé škody v souvislosti s destrukcí komínu ani překročení max povolených hodnot. Objekty „Český dům“ a kanalizační stoka nebyly též provedenou destrukcí dotčeny.

Abstract

Title of the paper: Gun arming reloaded

Name of presenter: Csaba Bagi

Name(s) of co-author(s):

Contact details of presenter:

Company name: Geoinform Ltd.

Address: 5000 Szolnok, Körösi út 43.

Tel. number: +36 70 373 8806

E-mail: bagi.csaba@geoinform.hu

Aim of the paper:

Demonstrate Geoinform Ltd.'s new Electrically Armed before Ballistically Arming (EBBA) method implemented in 2016.

Abstract of the paper (max.: 2000 characters):

A wide range of incredible engineering methods have been settled to help the carbon hydrogen exploration and production. Of these methods, the widely applied blasting technology is one of the main stands in the service portfolio of Geoinform Ltd.

Even though we have outstanding HSE performance both generally, and in the field of perforation/blasting operations, Geoinform is committed to improve its technology and HSE systems in accordance with the latest industrial developments. Arming procedure is the final and most crucial step to complete a blasting device, before it runs into the well. During this step, any failure may occur a fatal accident. Thanks to the so far applied arming technology/method and trainings, there were no failure during/or due to arming in Geoinform. But even in arming, the probability is never zero for a human error or hidden technical problems, and such casualty can seriously deteriorate the reputation of Geoinform and MOL. With this EBBA method Geoinform could further decrease the probability of such fatality.

Keywords: wireline, perforation, arming, EBBA.

Gun arming - reloaded

32nd International Blasting
Technology Conference

Stará Lesná
20-22th of May, 2020



GEOINFORM

Contents

- Our company
- Introduction of well perforation and gun arming
- Description of non EBBA systems
- Description of old and new EBBA system
- Typical benefits and disadvantages of both EBBA systems
- Case histories
- Summary

64

Motto: Everybody can do blasting... once!

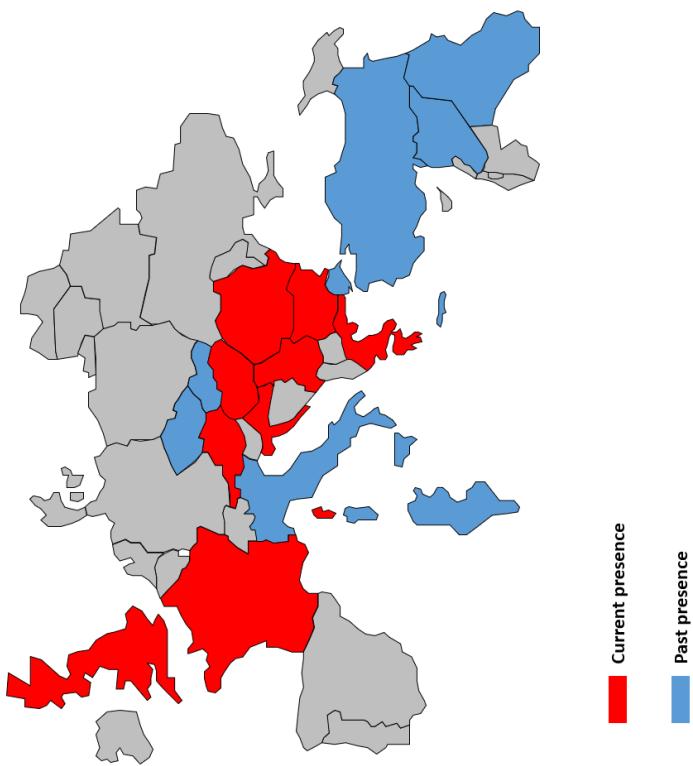


Picture: www.blog.delphianballistics.com

Our company

Available services

- mud logging
- open-, and cased hole logging, perforation
- vertical seismic profile
- surface / extended well testing, slickline
- seismic data processing / reprocessing

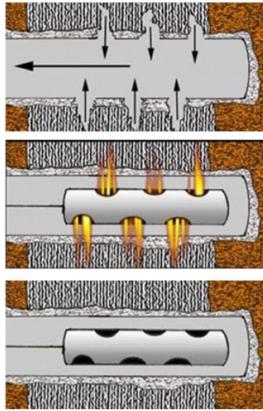


Introduction of well perforating and gun arming

Purpose and methods of well perforating

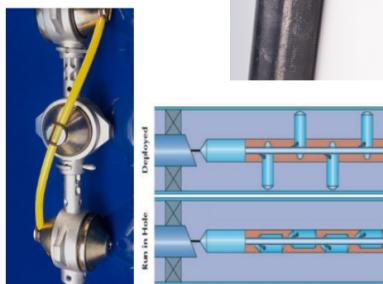
Applications

- Activating reservoirs or production zones
- Re-perforating of opened formations
- Technical targets – tubing punch, channels for re-cementing, well abandonment



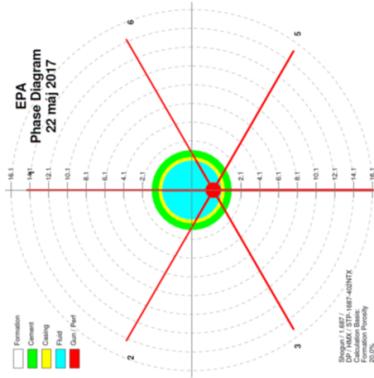
66 Construction

- Link
- Strip
- Pivot
- Hollow Carrier



Pictures: www.dynamenergetics.com, www.slideshare.net, www.hunting-ind.com

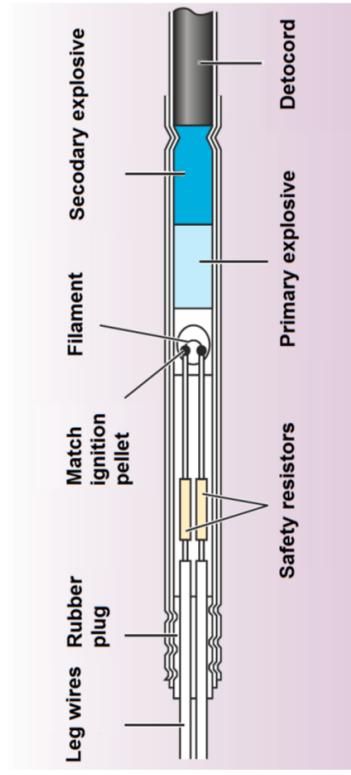
Gun arming - reloaded



Introduction of well perforating and gun arming

Arming

The electrical and ballistical attachment of an electro-explosive device to a source of electrical power, in order to energizing the circuit.

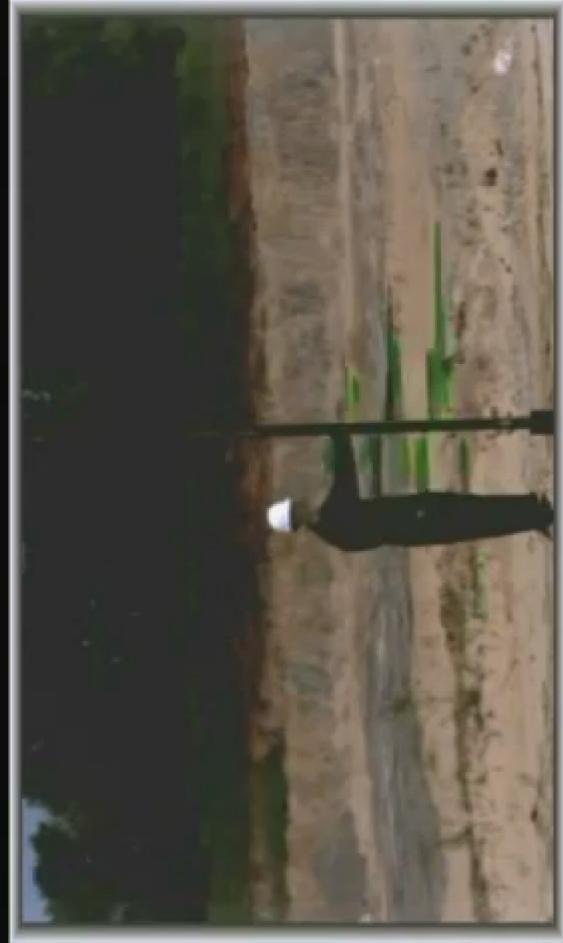


Introduction of well perforating and gun arming

Arming

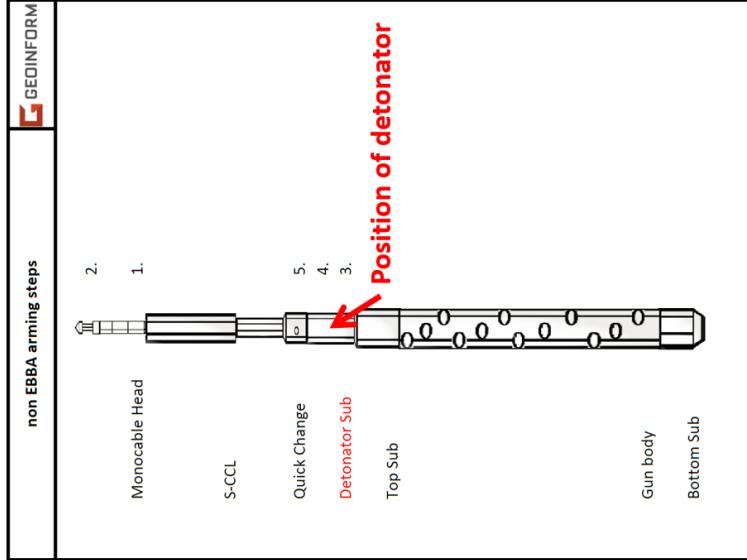
„Failure is not an option.”

(John Glenn)



Perforating Systems

Description of non EBBA systems



Traditional arming method, where the accidental explosion can be caused by human fault, because the only protection is provided by the 50 ohmm safety resistance of the detonator. If the operator does not follow the strict regulations, it may occur serious disaster.

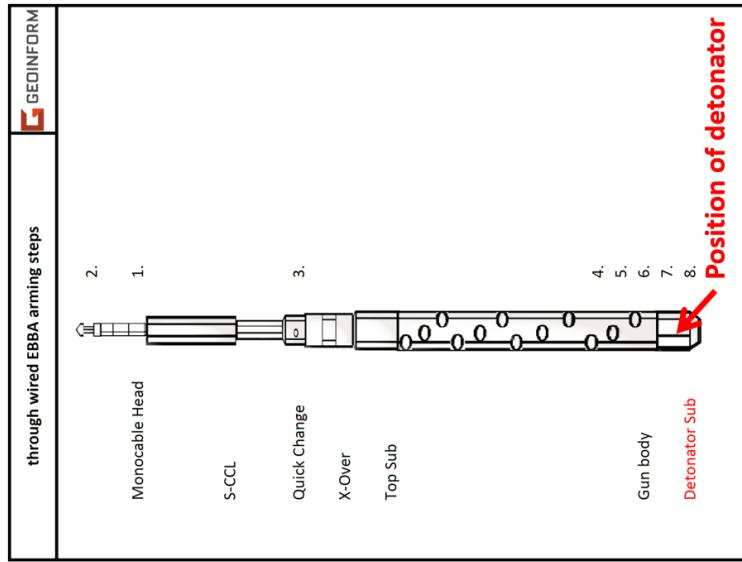
Common arming steps:

1. Connect S-CCL to cable head – Hotcheck
2. Cable conductors shorted by safety switch
3. Ballistical connection to detonating cord
4. Electrical connection to top x-over
- 5. Connect the armed gun to the cablehead or S-CCL**

Description of old, through wired EBBA system

The detonator connected to the bottom of the through wired gun assembly first, than ballistically to the detonating cord. During the electrical arming process the operator keeps the detonator in the Safety Tube.

70



Common arming steps:

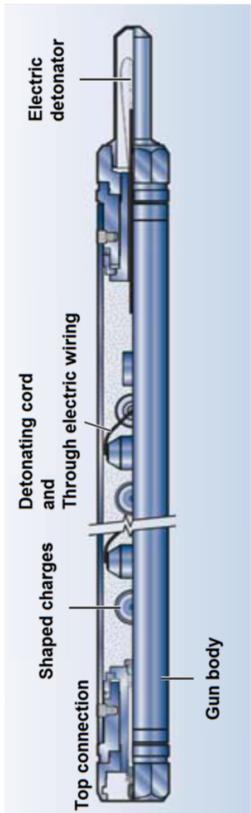
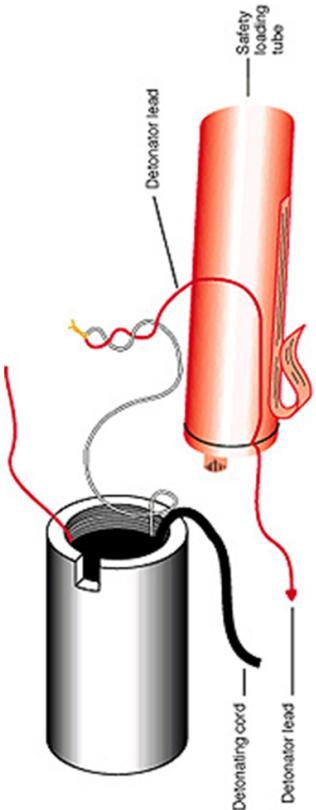
1. Connect S-CCL to cable head – Hotcheck
2. Cable conductors shorted by safety switch
3. Connect the unarmed gun to the cablehead
4. Put detonator into safety tube
- 5. Electrical connection to through wiring**
6. Remove detonator from safety tube
7. Ballistical connection to detonating cord
8. Close the gun bottom

Description of old, through wired EBBA system

The detonator electrically connected to the bottom of the through wired gun assembly first, than ballistically to the detonating cord. During the electrical arming process the operator keeps the detonator in the Safety Tube.

Common arming steps:

1. Connect S-CCL to cable head – Hotcheck
2. Cable conductors shorted by safety switch
3. Connect the unarmed gun to the cablehead
4. Put detonator into safety tube
- 5. Electrical connection to through wiring**
6. Remove detonator from safety tube
7. Ballistical connection to detonating cord
8. Close the gun bottom

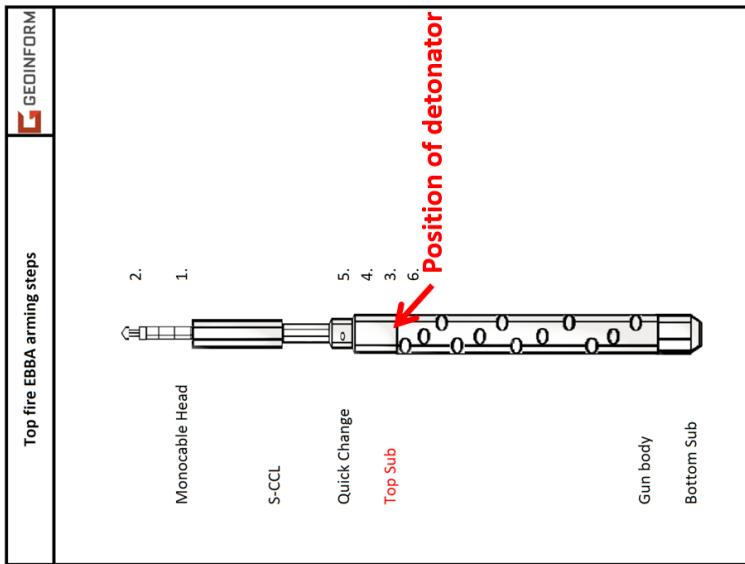


Pictures: www.corelab.com

Description of new, top fire EBBA system

The special top fire detonators with a contact spring stud allows the upper arming. The top sub (detonator block) has double application: ensure the mechanical connection and working as Safety Tube during the electrical arming.

72

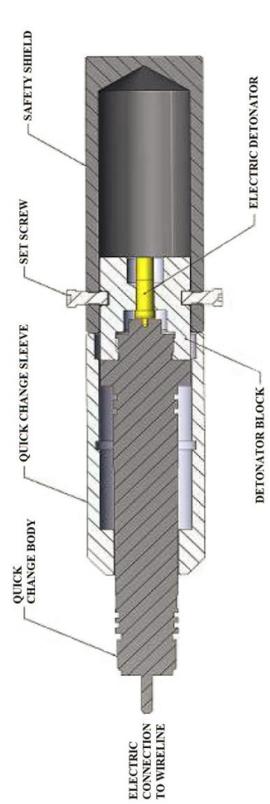


Common arming steps:

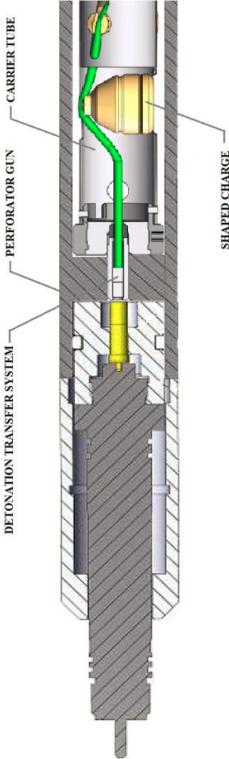
1. Connect S-CCL to cable head – Hotcheck
2. Cable conductors shorted by safety switch
3. Connect the safety shield to firing head
4. Put detonator into firing head
5. Electrical connection to cable head
6. Ballistical connection to gun

Description of new, top fire EBBA system

ELECTRICALLY ARMED DETONATOR



BALLISTICALLY ARMED GUN



The special top fire detonators with a contact spring stud allows the upper arming. The top sub (detonator block) has double application: ensure the mechanical connection and working as Safety Tube during the electrical arming.

Common arming steps:

1. Connect S-CCL to cable head – Hotcheck
2. Cable conductors shorted by safety switch
3. Connect the safety shield to firing head
4. Put detonator into firing head
5. Electrical connection to cable head
6. Ballistical connection to gun

Typical benefits and disadvantages of both EBBA systems

Through wired

- Complicated and vulnerable through wiring
- Higher chance for missrun
- Indirect electrical connection to QC sub
- Many sealed connections
- More hardware components
- Slower gun loading
- No gun splicing possibility
- Slow arming
- Easy detonator resistance pre-check
- Low electrical detonator price
- No additional explosives requirements

Top fire

- No wiring
- Low missrun chance
- Direct electrical connection to QC sub
- Minimized sealed connections
- Less hardware components
- Normal gun loading
- Spliceable guns
- Fast arming
- Easy detonator resistance pre-check
- High electrical detonator price
- Needs one more bi-directional booster

Comparison of both EBBA systems

System	Electrical connection	Sealed connection	Missrun possibility	Gun splicing	Extra explosives	Detonator cost [USD]	Arming time	recommended API
Through wired	spliced	4	high	no	no	26,90	60 mins	yes
Top fire	direct	2	very low	yes	1 pcs bi-directional booster	71,30	20 mins	yes

Geoinform Case histories

Place	Gun type: Tubing OD: Well fluid: WHP: BHT: TD: DEV:	Case: Cause: Lesson:
Place	Gun type: Tubing OD: Well fluid: WHP: BHT: TD: DEV:	Case: Cause: Lesson:
Place	Gun type: Tubing OD: Well fluid: WHP: BHT: TD: DEV:	Case: Cause: Lesson:

NO CASE!

100% SUCCESS

Author

Csaba Bagi

Wireline Service Leader



cell: +36 70 373 8806
email: bogi.csaba@geoinform.hu

Thank you for the attention!

**Köszönöm
a figyelmet!**



THE IMPACT OF CHINESE PRODUCTS ONTO THE EVOLVING OF IMPROVISED EXPLOSIVE DEVICES ON THE INTERNATIONAL THEATER OF WAR¹

A KÍNAI TERMÉKEK HATÁSA A NEMZETKÖZI HADSZÍNTÉREN FELBUKKANÓ HÁZILAGOSAN KÉSZÍTETT ROBBANÓSZERKEZETEK KIALAKÍTÁSÁRA

Dr. Daruka Norbert²; Kocsi János Gyula³

Abstract

The essence of terrorism is that everyone should be afraid of being targeted. Dozens of terrorist attacks have taken place in recent years, triggered by improvised explosive devices. Explosive devices may be territorially specific and in the Middle East in most cases made of Chinese junk or trumpery materials, but they are nonetheless functional. Therefore, cheap Chinese products have a significant influence on the creation of explosive devices with criminal intent in theaters of war and materially complicate the work of experts in detecting explosive devices.

Keywords: Improvised Explosive Device, blast, junk Chienese products.

Összefoglalás

A terrorizmus lényege, hogy mindenki féljen, rettegjen attól, hogy célpont. Az elmúlt években több tucat terrortámadás történt, melyeket házikészítésű robbanószerkezetekkel hajtottak végre. A robbanószerkezetek területileg jellegzetes kialakításuk lehetnek és elsősorban a közel keleten többnyire kínai bővli kategóriájú alapanyagokból készülnek, de működőképesek. Az olcsó kínai termékek ebből adódóan jelentősen befolyásolják a hadszíntereken felbukkanó robbanószerkezetek kialakítási lehetőségeit és jelentősen megnehezítik a búnöös szándékkal kialakított robbanóeszközök felderítésén dolgozó szakemberek munkáját.

Kulcsszavak: házikészítésű robbanószerkezet, robbanás, bővli kínai termékek.

BEVEZETÉS

A kínai gazdasági szektor az elmúlt évszázad jelentős részében a tervgazdálkodásra épült, vagyis az állam, illetve a kormány irányította a gazdaságot. A 80-as évek elején ez a felfogás meg változott és a piacgazdaság kezdte el formálni a gazdaságot. A Teng-Hsziao-Ping(Deng Xiaoping) által 1978-ban indított fokozatos gazdasági reformok és a piacnyitás következtében Kína hihetetlen mértékű fejlődést produkált, ami egyes elemző cégek információi szerint „a világ legnagyobb gazdasága”⁴ rangsorában emelte. Mára szinte eldönteni sem lehet, hogy az Amerikai Egyesült Államok, vagy Kína a világ elsőszámú gazdasága, de az tény, hogy a kínai termékek

¹ Lektoroval a preložil: LÓRINCZ Árpád.

² Magyar Honvédség 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred, Hungarian Defence Forces 1st „Honvéd” Explosive ordnance disposal and Warship Regiment; daruka.norbi@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7102-1787

³ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, egyetemi tanársegéd, doktorandusz – National University of Public Service, assistant professor, doctorandus; kocsi.janos.gyula@uni-nke.hu; ORCID: 000-0002-9174-1466

⁴ Forrás: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20141204/eddig-senki-sem-vette-eszre-amerika-a-masodik-helyre-csuszott-207455>; Letöltés: 2016. május 07.

megjelenésének gyakorisága egyes országokban, vagy régiókban egyszerűen egyedülálló. Sajnos az is tény, hogy egyes termékeknek a minősége gyakran megkérőjelezhető⁵, de az ár-érték arány miatt a szegényebb rétegek körében ezek a termékek is óriási keresletnek örvendenek.

Sajnálatos tény, hogy a kínai termékek nem csak a békés, minden nap életben segítik, illetve nehezítik meg az emberek életét, de ezek a termékek felbukkannak a háborús övezetekben is és számos esetben alkotórészét képezik egy-egy bűnös szándékkal kialakított, házilagosan készített robbanószerkezetek. Feltehetnék a kérdést: Mi köze a kínai gazdaság termékeinek a különböző hadszíntereken megjelenő házikészítésű robbanószerkezetekhez? Nos, a válasz egyszerű.

Azok a többségében keleti régióból származó és nem a minőségi kategóriába tartozó termékek (elektronikai, kémiai, mechanikai, stb.), amelyek alkotórészét képezik egyes improvizált, vagyis házilagosan készített robbanószerkezet indító mechanizmusának, töltetének, késleltetőjének, vagy vezérlójének nem könnyen azonosíthatóak. Ez azt jelenti, hogy egy sikeres felderítés és hatástanítás következtében a nyomozó hatóságok egyszerűen nem tudják, vagy csak részben tudják visszakövetni a termékek származását. Ha nem lehet az adott termék felhasználási útját beazonosítani, akkor arra sem marad esély, hogy a bűnös szándékú felhasználás esélyét csökkenteni tudjuk. Az említett problémát és Kínai közelű lokációjának előnyeit kihasználva alkalmaznak a terrorista csoportok elsősorban könnyen beszerezhető és nehezen azonosítható termékeket, vagyis a keleti piac olcsó és úgynevezett „bóví” kategóriába sorolható végtermékeit.

A modernkori terrorizmus a technikai haladással lépést tartó és annak vívmányait kihasználva, egyre váratlanabb és pusztítóbb hatású akciókra képes. A korábban csak katonai célokra alkalmazott robbanóanyagok is elérhetőbbé váltak a civilek számára. Ezzel szinte egyidejűleg megjelentek a bombák házi előállítását leíró „szakácskönyvek”, szerelési útmutatók. A jelenséget csak elősegíti, hogy vannak területek, ahol az elmúlt évtizedekben folyamatosan háborúk zajlottak és az ott alkalmazott harcanyagok: rakéták, gránátok, bombák, löszerek és még hosszan sorolhatnám, minden rendelkezésre állnak. A globalizáció technikai tényerését kihasználva már minden adott, hogy egy bűnös szándékú csoport vallási, faji, etnikai-, vagy bármely más indok alapján hozzájusson és kialakíthasson emberek pusztítására alkalmas eszközöket, fegyvereket. A terrorfenyegetés már nem csak néhány országot vagy bizonyos köröket érintő kérdés, hanem határozottan világjelenség.

MODERNKORI TERRORIZMUS

A fegyveres összeütközések évről évre változtak a történelem folyamán. Már nem csak a hagyományos szimmetrikus harcérintkezés a legfőbb harci stratégia, egyre ritkábban lehet találkozni a mai hadszínterek területén a hagyományos két oldalra felvonuló csapatok ütközetével. Az úgynevezett aszimmetrikus harcmodorban a támadó - aki szinte elérhetetlen, megfoghatatlan, láthatatlan - nehezíti a dolgot azzal is, hogy nem csak a hagyományos fegyverekkel harcol, hanem az egyszerűen előállítható, házi készítésű robbanószerkezeteket is alkalmaz. Az aszimmetrikus hadviselés az

⁵ Bővebben lásd: <https://www.portfolio.hu/gazdasaq/20190405/elaraszt-a-kinai-gagyi-rengetege-a-veszelyes-termek-magyarorszagon-320045>; Letöltés: 2019. december 19.

aszimmetrikus kihívásokhoz kapcsolható tevékenység, amikor a nem reguláris haderő harcosai – legtöbbször öngyilkos merénylők – hajtanak végre katonai akciókat, általában a magasabb technikai színvonalon álló féllel szemben.

Az aszimmetrikus felépítésből adódóan a szervezet tagjai nem szemtől szemben veszik fel a harcot, az aktuális ellenséggel, mivel nem rendelkeznek kellő katonai képességekkel. A tapasztalatok alapján a fegyveres konfliktusok, háborúk elhúzódásával nő az aszimmetrikus hadviselés bekövetkezésének valószínűsége. Nem véletlen, hogy napjainkban is az alacsony gazdasági potenciállal rendelkező területek kapcsán találkozunk ezzel a hadviselési formával. „*A NATO afganisztáni és iraki műveletek tapasztalatai azt mutatják, hogy az aszimmetrikus hadviselésben a harcos katona és a kiszolgáló katona közötti különbségek eltűntek. mindenki mindenhol célpont, nemcsak a harc járműben tevékenykedő lövész katona, hanem a műtőben dolgozó orvos, vagy éppen a tanácsadást végző jogász katona is...⁶*”

Ez a hadviselési forma a nem költséges, egyszerű eszközökkel és módszerekkel végrehajtott – gyakran önfeláldozó – gerilla, partizán jellegű rajtaütéseket és egyéb akciókat magában foglaló tevékenységek köre. Igy a „gyengébb” technikai felszereltségű, a kevesebb kiképzést végrehajtó, általában a megszállt területeken harcoló fél fegyvere, módszere a megszállókkal szemben. Ebbe a körbe tartoznak: öngyilkos merényletek, bombatámadások, utánpótlási vonalak, szállítási útvonalak rombolása, valamint az ellenség ellátásának, utánpótlásának akadályozása egyéb akciókkal. Legtöbbször nagyon nehéz a felderítése, illetve alkalmazói nem tartják be a hadviselés előírásait.

A robbanószerkezetek változatos kialakítása, alkalmazásuk módja rohamos ütemben fejlődik, a terroristák közötti gyors információcsere lehetőségével megszüntek a fizikai korlátok, már nem területhez kötött egyes robbanószerkezetek fellehetősége, és a sikeres merényletek kivitelezésének lépései is szinte azonnal megjelennek más területeken, de hasonló cél által vezérelt terrorszervezetek tagjainál. Az „új” hadviselési formának, mely sok tekintetben a gerilla hadviselésre emlékeztet – utánpótlási vonalak, felvonulási útvonalak elsőszámú célpontként kerültek felrobbantásra –, mára az utánpótlási vonalak megsemmisítése mellett a katonák elpusztítása is a fő célkitűzések között szerepel. A támadások legelterjedtebb eszköze a házi készítésű/improvizált robbanóeszközök alkalmazása.

IMPROVIZÁLT ROBBANÓSZERKEZETEK

A terroristák által alkalmazott erőszakos eszközök közül a házilagosan készített robbanószerkezetek jelentik a legnagyobb kockázati tényezőt környezetünk biztonságára. Ezekre a robbanószerkezetekre már nem tekinthetünk úgy, mint a hagyományos értelemben vett katonai fegyverzetre, melyeket a hadszíntereken egymással szembenálló katonai egységek alkalmaznak céljaik elérése érdekében.

Az első improvizált robbanóeszközöt „Molotov-koktéln⁷” néven a spanyol polgárháborúban alkalmazták Franco tábornok erői egy szovjet harckocsioszlop

⁶ Forrás: PAPP Gyula: *A Magyar Honvédség békéfenntartó műveletekre kijelölt alegységeinek felkészítése; PhD értekezés*, Budapest, 2008., p. 40.

⁷ Molotov-koktél: egy egyszerű üvegpalackból, benne gyúlékony anyagból (benzin, gázolaj kátránnal és zsíradékkel keverve), egy fojtásból, valamint egy gyújtókanócból áll. A palackból kilógó kanocot alkalmazás előtt meggyűjtják, a kézigránáthoz hasonlóan elhajítva (ritkábban parityával kilőve) juttatják célba. Becsapódáskor az üveg összetörök, a palack tartalma a célon

ellen. Az improvizált eszközöket technikailag folyamatosan fejlesztették. Az eszközök hatóerejének növekedésével a biztonsági távolságot is folyamatosan növelni kellett, így létrejöttek a távirányítással működtetett eszközök, amelyek alkalmazásakor a támadónak már nem kellett dobótávolságra megközelítenie a célt. Az eszközök gyors fejlődéséhez és különböző módon történő alkalmazásához nagyban hozzájárult a vietnami háború, ahol a meglepő aknák „booby trap”⁸ használata alapvető harceljárás volt. Ez a fajta gerilla harcmódor nagyon gyorsan elterjedt az egész világon. Szélsőséges vallási és politikai terrorszervezetek, felkelő, lázadó erők és egyéni elkövetők alkalmazták céljaik elérése érdekében. A háborús területekről könnyen beszerezhető robbanóanyagok (több mint hétféle évtizeddel a II. világháború után Magyarországon évente még mindig több ezer robbanótestet hatástartalanítanak a tűzszerészek⁹) hatására még hatékonyabb robbanószerkezeteket lehetett előállítani. Az egyre hatékonyabb, nagy pusztítást végző szerkezetek alkalmazása is népszerűbb lett. Az „improvizált robbanóeszköz” mint kifejezés az angolok által az észak-ír konfliktus kapcsán került a közöւatba, amikor az IRA mezőgazdasági trágázo szerekből kezdett bombákat gyártani, majd széles körben alkalmazta az ezen eszközökhez szorosan kapcsolódó nem konvencionális eljárásokat.

Irakban és Afganisztánban az improvizált szerkezeteket sokáig a konvojok közelítését biztosító utak közelében helyezték el. Az ilyen eszközöket a média út menti bombáként említi, a szakirodalom az angol nyelv betűszó alapján IED¹⁰-nek nevezi ezeket az eszközöket. Az improvizált robbanóeszközök, vagy, ahogy a köznyelv ismeri, robbanó csapdák/pokolgépek „olyan, katonai robbanótestekből, katonai vagy ipari robbanóanyagokból, vagy detonáció kiváltására alkalmas házi készítésű anyagokból, illetve ezek közös alkalmazásával rögtönzött módon összeállított és/vagy elhelyezett, rombolásra, mozgásképtelennek tételere vagy zavarkeletre szánt szerkezet, amely halálos, egészségre ártalmas pirotechnikai vagy gyúlékony vegyi anyagokat és CRBN-alkotóelemekeket is tartalmazhat.”¹¹ Ezek az eszközök általában tűzérségi lövedékekéből, harckociaknákból (MILORD¹²) készülnek, de gyakran fel nem robbant robbanótesteket, UXO¹³-kat használnak, mert azokhoz könnyű hozzájutni, egyszerű a szállítása, és már rendelkezik a repeszkepző anyaggal is. Mivel az ilyen robbanótestek nagy mennyiségben tartalmaznak robbanóanyagot (MILEX¹⁴), a robbanás ereje és repeszthatása is igen nagy, de páncélátító képessége viszonylag kicsi.

szétfröccsenve meggyullad, majd magas hőmérsékleten ég, a hirtelen keletkezett tűz a járművet felgyújthatja. Elsősorban a célpont felgyújtására használható, de vannak robbanó változatai is.

⁸ Booby trap: meglepőakna. Egy robbanó vagy nem robbanó szerkezet, illetve más, veszélytelennel tűnő tárgy, melyet szándékosan úgy helyeznek el, hogy az akkor működjön és okozzon veszteséget, amikor egy látszólag ártalmatlannak látszó tárgyat megmozdítanak, vagy biztonságosnak tűnő tevékenységet folytatnak.

⁹ Forrás: Ember István: A dunai alacsony vízállások tűzszerész tapasztalatai 2018-ban. Műszaki Katonai Közlöny XXIX. évf., 2019/3. p. 69., 1. táblázat.

¹⁰ IED – Improvised Explosive Device – házilagos készítésű „improvizált” robbanószerkezet.

¹¹ Forrás: Daruka Norbert A bűnös célu/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tűzszerész feladatak ellátására. Doktori PhD értekezés, NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola. 2014.

¹² MILORD – Military Ordnance – katonai robbanótest, robbanóeszköz.

¹³ UXO – Unexploded Ordnance – fel nem robbant hadianyag.

¹⁴ MILEX – Military Explosive – katonai robbanóanyag.

A házi készítésű robbanószerkezetek alkalmazását a környezeti körülisének folyamatos változása és az alkalmazandó robbanószerkezet alkotóelemeinek hozzáférhetősége jelentősen befolyásolja. A szerkezetek tervezői és kivitelezői a kialakításnál a legegyszerűbben hozzáférhető és beszerezhető anyagokat használják, de csak az eszköz készítőjének kreativitása és a rendelkezésre álló (vagy beszerezhető) anyagok, alkotórészek mennyisége és technológiai színvonala határolja be a szerkezet bonyolultságát és korszerűségét. A szerkezetek felderítésében és ezáltal a terrorista sejtek felkutatásában is ezek az alkotóelemek jelenthetik szinte az egyetlen segítséget.

A kínai és elsősorban silány minőségű, azonosító nélküli termékekkel kapcsolatos gondok már ebben a szegmensben is megjelennek. A robbanószerkezetek összetevőit és alapanyagait beszerzők nem válogatnak-, a rendelkezésre álló anyagok és szerkezetek között, azt választják, ami a legkönyebbben elérhető és ebben az esetben nem számít a minőség, hiszen a robbanószerkezetek csak egyszer kell működnie. A silány és olcsó, könnyen hozzáférhető termékek a bűnözöi csoport számára előnyt, míg a felderítő hatóságok számára hátrányt jelentenek.

A robbanószerkezetek mérete a gyufásdoboznyitól akár a teherautó nagyságúig is terjedhet, a rombolni vagy megsemmisíteni kívánt célponttól és az elérődő hatástól függően. Egyetlen konkrét személy likvidálásához elegendő lehet egy „levélbomba” is, egy épület vagy komolyabb létesítmény elleni pusztítóbb merénylethez pedig akár többtonnás robbanótöltet szükséges.

Telepítését tekintve megkülönböztetünk helyhez kötött, illetve mobil improvizált robbanóeszközököt. A helyhez kötött telepítésű robbanószerkezettel, melyek többnyire megfigyelt szerkezetek, a merénlyő által indítva akkor következik be a detonáció, amikor a mozgó célpont (pl. egy katonai konvoj járműve) ideális távolságra közelítette meg a szerkezetet. A mobil eszközökönél a robbanószerkezetet juttatják el valamilyen módon a statikus célponthoz (pl. egy épület), vagy a célpont közelébe.

A töltet kialakításánál beszélhetünk irányított hatású töltetről, mint az EFP¹⁵, vagy a repesz-romboló hatásról, mint az IRAM¹⁶.

Az IED-k alakjukat és formájukat tekintve változatosak lehetnek, de valamennyi szerkezet alapvető részét képezi a *robbanóanyag-töltet*, a töltet iniciálását biztosító *detonátor* és a detonátor működését kiváltó *indítómechanizmus*. Az alapvető alkotórészeken túl a robbanóeszköz kiegészítő részeit képezheti még az áramforrás, az időzítő berendezés vagy a *hatásnövelő burkolatok*, repeszek, illetve a rejtést biztosító valamelyen *álcázó burkolat*. A legtöbb IED tartalmaz egy *biztosítószerkezetet*, melynek célja, hogy megvéde az elkövetőt a szerelés, a szállítás és az elhelyezés ideje alatt a szerkezet véletlen elműködése ellen.

Robbanóanyag - töltet

A robbanószerkezetek fő alkotóelemei közül a robbanóanyagok jelentik a legnagyobb kihívást a védelmi szektorban tevékenykedő szakemberek számára. Az ipari robbantástechnikában elfogadott megfogalmazás szerint: a

¹⁵ EFP – Explosively Formed Projectiles – robbanással formált lövedék.

¹⁶ IRAM – Improvised Rocket Assisted Mortar – házilagosan készített rakétával továbbított robbanószerkezet. A 2007-es iraki háborúban elterjedt eszköz egy üres gázpalackba helyezett robbanóanyagból és srappalekből állt, amit akár egy teherautó platójáról általában rakétával lőnek ki. Tömege elérheti az 50–60 kilogrammot.

robbanóanyag folyékony vagy szilárd halmazállapotú anyag (vegyület vagy keverék), amely megfelelő iniciálás hatására öfennentartó, hő fejlesztő, legalább 1000 m/s sebességű kémiai átalakulásra képes, és ennek során túlnyomó részben gáz-halmazállapotú bomlástermékek képződnek belőle.¹⁷

Az ismertetett definíció, bár szabványban rögzített, a kor színvonalának megfelelő és a kémiai robbanás során végbemenő folyamatban meghatározó jelentőségű feltételeket a következő meghatározás összegzi. Robbanóanyagnak az olyan gyakorlatilag hasznosítható vegyületeket (elegyeket, olvadékokat) nevezik, amelyek a megfelelő kezdőgyűjtés (aktiválási energia) hatására bekövetkező öfennentartó (exoterm) kémiai átalakulás (reakció) során, hirtelen (százezred másodperc alatt) magas hőmérsékletű és igen nagy nyomású, főleg gáztermékké alakulnak át, melyek kiterjedésük közben rendkívül nagy teljesítményű munkát végeznek, és környezeti hatást váltanak ki.

A robbanóanyag átalakulása tehát egy kémiai reakció, egy nagyon gyors égési folyamat. Az égéshez pedig, ahogyan már elemi tanulmányainkban is megismertük, éghető anyagra és oxigénre van szükség. A robbanási folyamat reakciósebessége miatt a robbanóanyag az átalakulása során nem képes külső oxigén felvételére, ezért ezek az anyagok az égés összes elemét önmagukban tartalmazzák. Ez a tulajdonságuk különbözteti meg a robbanóanyagokat a tüzelő- és motorhajtó anyagok csoportjától.

A robbanóanyagok rendeltetését tekintve megállapítható, hogy a szakirodalom jól elkülöníti a polgári robbanástechnikában, illetve katonai műveletek során alkalmazott anyagokat, bár egyes esetekben vannak átfedések a két területen alkalmazott robbanóanyagok között. A katonai műveletek során a romboló hatás és szélsőséges körülmények között alkalmazhatóság elérése mellett a kezelésbiztoság a fő követelmény. A polgári robbantástechnikában viszont a biztonsági előírások és az anyag kimagasló munkavégző képessége az irányadó.

A terrorszervezetek előszeretettel alkalmazzák a különböző típusú robbanóanyagokat, illetve azok keverékeit búnös szándékuk elérése érdekében. Az anyagok alkalmazásának csak a hozzáférhetőség, illetve néhány esetben az előállíthatóság szab határt.

Robbanótölteként a legkönyebben beszerezhető anyagokat használják. Ezek lehetnek a katonai robbantástechnikában is használt préselt vagy plasztikus robbanóanyagok (pl. TNT¹⁸, RDX¹⁹, HMX²⁰, PETN²¹, Semtex²²), vagy

¹⁷ Forrás: Dr. Daruka Norbert Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek megjelenésének problematikája a házilagosan készített robbanószerkezetek kialakításának tekintetében. Szakdolgozat 2015. Pannon Egyetem Veszprém.

¹⁸ TNT – trinitrotoluol, ismertebb nevén trolit. $C_7H_5N_3O_6$ igen alacsony ütés- és dörzsérzékenységű brizáns robbanóanyag. Az első világháború alatt terjedt el, és akkora népszerűségre tett szert, hogy ezt az anyagot választották minden a kémiai, minden a nukleáris robbanás erejének viszonyítási alapjául.

¹⁹ RDX – Royal Demolition explosive (UK) vagy Research Department explosive (USA, CA) rövidítése, Európában hexogének, Amerikában ciklonitnak is hívják. $C_3H_6N_6O_6$ tiszta állapotában fehér, kristályos anyag. A gyutacsok fő töltete, ugyanakkor – más robbanóanyagokkal keverve – az egyik legelterjedtebben használt, főleg katonai robbanóanyag.

²⁰ HMX – High-velocity military explosive, ismertebb nevén oktogén. $C_4H_8N_8O_8$ alacsony ütésérzékenységű, fehér, kristályos anyag, nukleáris töltetekben, rakéta-hajtóműanyagként, illetve plasztikus robbanóanyagok, kumulatív töltetek készítésére használatos, igen drága robbanóanyag. A HMX az RDX-gyártás egyik mellékterméke.

²¹ PETN – Pentaeritrit-tetranitrit vagy más néven pentrit, nitropenta. $C_5H_8N_4O_{12}$, azaz egy robbanó salétromsav-észter, mely rendkívül brizáns, nagy erejű, nagyon nagy detonációs

polgári rendeltetésű bányászati vagy ipari robbanóanyagok²³ (pl. ANDO²⁴, Dinamit, Emulgit). Mivel a robbanóanyagokat nem könnyű feltünnéni nélkül még a feketepiacon sem beszerezni, ezért előtérbe kerültek a házilag készített, vegyszerek keverékéből előállított robbanószerek, HME²⁵-k (pl. TATP, HMTD). A házilag készített robbanószerek tekintetében fontos megjegyezni, hogy kimutatásuk, detektálásuk, felderítésük nehézkes vagy nem lehetséges az összetevők sokrétűsége miatt. Az említett anyagok mellett robbanótöltetként felhasználhatják a korábbi katonai cselekmények során visszamaradt robbanóeszközököt kinyert robbanóanyagot, de magát a robbanóeszközöt is. Ezek lehetnek tüzérségi lőszerek, rakéták és bombák, de ide sorolhatók a gyalogsági, valamint a harckociaknak is.

A kínai robbanóanyag és hadianyag gyártó üzemek termékeiről nem lehet sokat tudni, hiszen nem értek el olyan jelentős áttöréseket, mint például az elektronika területén. Természetesen vannak olyan komoly szakmai múlttal rendelkező gyártók, akik a nemzetközi tanúsítási lehetőségeket kihasználva az európai robbanóanyag piacra is szállítanak²⁶ robbanóanyag ipari termékeket, de ezek a termékek nyomon követhetők és szinte példa sincs a feketepiacon történő megjelenésükre. Teljesen más a megítélése a keverék és a házilagosan előállított robbanás kiváltására alkalmas anyagok tekintetében.

A robbantás-technika történetében rendkívül sok kísérletet folytattak le és folytatnak napjainkban is a homogén robbanóanyagokkal kapcsolatosan, a különböző keverékek összetételének és/vagy keverési arányainak megállapítása céljából. A kísérleteket többnyire egyes robbanóanyagok előnyös tulajdonságai, vagy valamilyen kedvezőtlen jellemzőjének csökkentési célja motiválta. Az improvizált robbanószerkezetek tölteteként gyakran alkalmaztak robbanóanyag keverékeket is „*indoka volt a különböző robbanóanyag-keverékek előállításának háborús időszakában az is, hogy az alap robbanóanyagként széles körben alkalmazott trolit gyártása alapanyaghiány, vagy a gyártáskapacitás korlátozottsága miatt behatárolt volt.*”²⁷ A robbanóanyag-keverékek széles palettáján elsősorban a háború hatását és szükségmegoldások lehetőségét megragadva hozták létre például a Composite B típusú robbanóanyag-keveréket, amely trolit, hexogén és viasz 36/63/1 keverékből került előállításra, és elsősorban harcjármű elleni aknáknál, vagy bombáknál alkalmazták az eszköz fő tölteteként.

A keverék robbanóanyagok előállíthatóságának lehetőségei végtelen variációk lehetőséget rejtenek magukban, és csak néhány, a keverékek előállításánál betartandó szabályt kell figyelembe venni. A teljesség igénye nélkül ilyen szabályok például:

sebességű robbanóanyag. Könnyű iniciálhatósága miatt folyadékkeveréken már többször próbálták robbantásos cselekmények során, repülőgép fedélzetére feljuttatva alkalmazni.

²² Semtex – egy nagy hatóerejű plasztik robbanószer, jó formázhatósága és hő- és vízálló tulajdonságai miatt nemcsak az ipari, hanem a hadi felhasználásban is kedvelik. A semtexnek két fajtája létezik, az „A” típus, melyet a polgári robbantások során bontáshoz, romboláshoz használnak, valamint a „H” típus, melyet a hadiiparban használnak. 1991 óta a terméket olyan kémiai anyaggal keverik, ami megkönyíti a felderítését.

²³ CEX – Commercial Explosives – ipari eredetű robbanóanyag.

²⁴ ANDO – ammoniumnitrat-fuel vagy diesel oil, azaz gázolaj keveréke.

²⁵ HME – Home Made Explosive – házilag készített robbanóanyag.

²⁶ Bővebben lásd: Liaoning Huafeng Civil Chemicals Development Co., Ltd.

²⁷ Forrás: TÓTH József – Dr. LUKÁCS László – VOLSZKY Géza: *Akna kisenciklopédia*. Kiadta a Tudásmenedzsmentért, Tudás Alapú Technológiákért Alapítvány. p. 281., ISBN 978–963–08–5522–8.

- a keverék robbanóanyag más anyaggal, robbanó-, vagy inert anyaggal (anyagokkal) való kémiai összeférhetősége;
- az előállított robbanóanyag fizikai és kémiai stabilitása nem csökkenhet;
- a kevert robbanóanyag robbantástechnikai tulajdonságainak lehetőség szerint javulniuk kell, de legalábbis nem romolhatnak számottevően;
- öntéssel történő további feldolgozásra szánt kevert robbanóanyag bármely robbanóképes alkotójának elpuffanási hőmérséklete nem lehet alacsonyabb, mint a másik alkotórész olvadáspontja;
- nem célszerű olyan kevert robbanóanyagot előállítani, ahol a keverék egyik alkotórésze a másik alkotórész kémiai bomlását katalizálja.

A bűnös célú felhasználás még nem tart a szoftver alapú gyártástechnológiánál, de a különböző, elsősorban katonai robbanótestekből kinyert anyagok keverékei szinte minden napos jelenségnek tekinthetőek a hadszíntereken. Az is elgondolkodtatjó, hogy a keverési arányokat a megfigyelések alapján változtatják, így minden valós képet kapva a pusztító hatásról. Sajnos így fejlődött évről évre az a folyamat, amely napjainkban fő technikai eszközének a házilagosan előállított robbanószerkezetet tekinti.

Nem csak a robbanóanyagok, hanem a pirotechnikai anyagok és keverékek is jelentős veszélyt jelentenek. Számtalan pirotechnikai üzem, lerakat, illetve gyártóhely létezik kínai területen, amely a minimális biztonsági feltételeket sem képesek teljesíteni. Egy-egy baleset, illetve gyártási hiba esetén ezek a gyártóhelyek szinte teljesen megsemmisülnek és egy új területen kezdődik az egész folyamat elölről. Mivel a gyártás, vagy előállítás nem ellenőrzött, így azt sem lehet tudni, hogy éppen miből és mennyi kerül a feketepiacra. Az iraki, illetve afganisztáni területen megjelenő pirotechnikai anyagok több mint 90%-a Kínából származik.²⁸

Detonátor és indítómechanizmus

A töltet iniciálása különböző katonai vagy bányászatban is használt gyutacsokkal, detonátorokkal valósulhat meg. A harcanyagokból kinyert gyújtáslánci elemek alkalmazása a leggyakoribb, azonban néha házilagosan készített „improvizált” gyutacsot is használnak erre a cérla.

Az improvizált robbanószerkezetek működésbe hozásának alapvető csoportosítása az indítási mód szerinti felosztás. Általánosságban elmondható, hogy a leggyakrabban alkalmazott IED-k az olyan mechanikus szerkezetek, amelyek húzásra, teherelvételre, nyomásra, elmozdításra reagálnak, tehát a célpont, az „áldozat” valamelyen közvetlen behatására – fizikai behatás útján – működtetik a robbanóeszközt. Ezek az eszközök általában nyomólapokkal, illetve valamelyen vezetékrendszer elmozdítására reagálva hozzák működésbe a gyutacsot és a detonátort. Maga a detonátor többnyire egy előre legyártott szerkezet és kínai termékek megjelenése inkább az indítómechanizmusok kialakításánál valószínű.

Az irányított működtetésű improvizált robbanószerkezetek általában elektromos vezetéken keresztül vagy vezeték nélküli rádióvezérléssel, a merénylő által a legalkalmasabb időpontban kiadott indítójelre reagálnak. A merénylőnek így van némi mozgásterre az optimális célpont kiválasztását illetően, és lehetősége nyílik a legnagyobb pusztító hatás elérésére. Az irányított működtetés speciális változata, amikor a merénylő önmagát is felaldozva „öngyilkos merénylőkén” indítja el a robbanóeszközt.

²⁸ Forrás: TAAC-WEST tájékoztató 2019.

A vezetékrendszerek a keleti hadszíntereket illetően szinte kivétel nélkül kínai gyártmányúak, legalábbis az iraki, afganisztáni tapasztalatok ezt sugallják.

Az irányított működésű eszközökkel ellentétben az időzítő szerkezetekkel (mechanikus, elektronikus, biológiai, kémiai időzítők) működésbe hozott robbanószerkezetek a korábban meghatározott és beállított időtartam elteltével, a célpont behatásától, közelségétől függetlenül, önállóan működtetik el a robbanóeszközt. A késleltetett indítás biztosítja, hogy a merénylő máshol tartózkodjon az eszköz működésekor, ezzel jelentősen megnehezíti a felderítetőségeket. A működtető szerkezet tekintetében megkülönböztetünk pillanathatású szerkezeteket, valamint késleltetett hatású szerkezeteket. *Pillanathatású szerkezetek lehetnek:* mechanikus, húzásra, teherelvételre, nyomásra (lépésnél az ember tömege), vibrációs hatásra, golyós (tehetetlenségi) működésű, vegyi, elektronikai, légyomásra működő (barometrikus) szerkezetek és ezek kombinációi. *Késleltetett hatású szerkezetek lehetnek:* óraműves, vegyi reakció hatására működő, elektronikai, mechanikai, pirotechnikai szerkezetek és ezek kombinációi.

Áramforrás

Az áramforrás, mint kiegészítő szerkezeti egység is számos lehetőséget biztosít az alkalmazni kívánt mechanizmus működőképességének tekintetében. Az áramforrások mérete a legkisebb elemtől egészen az akkumulátorokig terjed, de akár napelemek használata is lehetséges. Szerencsére az alternatív energiaforrások kihasználása a többnyire alacsony technológiai fejlettségű területeken nem gyakori. Az áramforrások, mint a különböző teljesítményű elemek, akkumulátorok, már méretükönél és jellegükönél adódóan is a felderítések egyik célpontját képezik, hiszen ezeknek az alkotóelemeknek a detektálása lényegesen egyszerűbb, mint a többi alkotóelemé. Tapasztalatok azt mutatják, hogy bár Afganisztán és Irak is rendelkezik gyártó kapacitással, a merényleteknél előtalált áramforrások többsége kínai gyártmány volt.

Hatásnövelő burkolat

A hatásnövelő burkolatok, repeszek alkalmazása abban az esetben kerül előtérbe, amikor a robbantás arra irányul, hogy minél nagyobb legyen az emberáldozatok, sérültek száma. A kívánt hatás elérése érdekében felhasználható anyagok is sokrétűek lehetnek. Felhasználhatók erre a céllra különböző fémdarabok, szegek, csavarok, csapággyölyök és minden más, ami a robbanás hatására kisebb-nagyobb darabokban sérülések okozására alkalmas. Gyakran alkalmazznak olyan anyagokat, melyek az eszközök rejtésében is jelentős segítséget nyújtanak. Ilyen anyagok az út közelében található tájhoz illeszkedő kövek, hulladékhalmokban gyakran megjelenő fémtartalmú dobozok, de még az elhullott állatok csontvázai is.

A rombolóerő fokozására különféle elemekkel tarkíthatják a robbanószerkezeteket. Régen ismert, hogy a CBRN²⁹ támadásoknál a kémiai, biológiai, radioaktív, nukleáris fertőzést okozó elemeket tesznek a szerkezetbe. Nem új találmány a különféle gázok vagy a srapnelek alkalmazása sem. Ez utóbbihoz sorolhatnánk akár az épületszerkezetek rombolóképességét,

²⁹ CBRN – Chemical, biological, radiological and nuclear – vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris.

illetve repeszhatásait kihasználó HBIED³⁰ szerkezeteket is. Ilyenkor egyes kiszemelt épületekbe robbanószerkezeteket telepítnek, melyeket – amint a felderítő csapatok megérkeznek és elkezdik az épület átvizsgálását – működésbe hoznak.

Álcázó anyagok

A robbanóeszköz álcázása a „siker” szempontjából kulcsfontosságú is lehet, ezért a legtöbb esetben erre nagy figyelmet fordítanak az elkövetők. Az IED-t méretétől és az elhelyezésétől függően beépíthetik valamilyen ártalmatlannak tűnő tárgya, eszközbe, vagy pedig mindenféle álcázó burkolat nélkül egyszerűen csak elrejthetik azt a szemünk elől. Sok katona esett áldozatul az elhullott állatokba rejtett improvisált szerkezeteknek.³¹ Néhány esetben élő állatra, pl. egy számrára rögzítették a robbanószerkezetet.

A jó felderítési hatékonyság következtében a robbanószerkezeteket más módon kellett elhelyezni, szem előtt tartva, hogy az a közlekedési útvonal közelében maradjon. Az eszközöket előbb szemétkupacokba, majd elhullott állati tetemekbe rejtették, a robbantást távirányítással (pl. mobiltelefonnal vagy garázsajtó-nyitó távitávítójával) idézték elő. A rádiózavaró berendezések megjelenésével és működési hatékonyságuk figyelembevételével a merényletek elkövetőinek más megoldást kellett találni a rögtönzött robbanószerkezetek elműködtetésére. A robbantást infravörös és lézeres berendezésekkel kezdték inicialni, amelyekkel szemben az elektronikus zavaró berendezések többsége hatástan.

A modern berendezések alkalmazásával lehetőség nyílt az út melletti szemétkupacok átvizsgálására, ekkor a terroristák a szerkezeteket telefonoszlopokon, az út burkolata alá, illetve felüljárókon helyezték el.

Biztosítószerkezet

A biztosítószerkezetet, amely a robbanóeszköz készítőjének védelmét szolgálja, azért fontos megemlíteni, mert a legtöbb esetben a hatástanítás, valamint a működésképtelen állapot elérésében is jelentős funkciót töltet be. Ezek a szerkezetek sokfélék lehetnek, például áramkört megszakító kapcsolók, a mechanikus szerkezeteknél biztosítóhuzalok vagy biztosítószegek stb. Egyes robbanótestek tekintetében ebbe a kategoriába sorolhatók a működőképességet szabályozó mechanikus, illetve elektronikus, esetleg mágneses időzítők is. Ahogy a bevezetőben is említettem a kínai elektronikai cikkek szinte az egész világot elárasztották, így a hadszíntereken történő felbukkanásuk sem meglepő. Mivel rengeteg elektronikai eszköz kerül importálásra Kínából, ezek alkotóelemei is előkerülnek egy-egy robbanószerkezet alkotóelemeként.

ÖSSZEGZÉS

Az improvisált robbanóeszközök nem csak hadműveleti területeken fejlődtek. Az infrastruktúrák kritikus pontjai csábító célpontot jelentettek a terrorszervezetekbe tömörülő merénylők számára. Amíg egy hadműveleti területen végrehajtott sikeres robbantásos merénylettel általában 5–30 fő

³⁰ HBIED – House Borne Improvised Explosive Device – épületekbe rejtett házi készítésű robbanószerkezet.

³¹ DBIED – Donkey Borne Improvised Explosive Device – állatokra rögzített improvisált robbanószerkezet.

halálos áldozattal vagy súlyos sérülettel tudtak a média figyelem középpontjába kerülni, addig egy repülőgépen, illetve vonatszerelvényen az áldozatok száma a 150–300 főt is meghaladta, így még nagyobb „ismertséget” biztosítva a merénylők számára.

Az improvizált robbanószerkezetek kialakításánál nagy szerepe van az alkotóelemek beszerzésének. Mivel a kínai termékek jelentős mértékben elterjedtek a világban és értékük is jelentősen alulmarad más országok gyártmányaival szemben, a szegényebb anyagi környezetben elterjedtbe váltak. Az olcsó és gyakran bónyi, de működőképes elektronikai alkotóelemek, a pirotechnikai termékek és a keverék robbanóanyagok jelentősen befolyásolják a bűnös szándékkal létrehozott szerkezetek felderítésének folyamatát. Természetesen nem lehet általánosítani, de a világ egyik legnagyobb gazdaságának termékei jelentősen elősegítik az ártó szándékú felhasználó szervezetek munkáját és hozzájárulnak az improvizált robbanószerkezetek működőképes kialakításához.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy ez egy folyamatosan fejlődő, folyamatosan új eszközöket, új eljáráskat felmutató iparág, melynek maradéktalan felszámolására nincs lehetőség. „*Ez a jelentős probléma hosszú ideig el fog bennünket kísérni. Napjainkban az IED-ek ellen nincs megfelelő védekezés, és úgy tűnik, hogy abszolút megoldás nem is lesz*”³².

Szakirodalmi hivatkozások

DARUKA Norbert: *A bűnös célú/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tüzszerész feladatak ellátására*, p. 242 Doktori PhD értekezés, NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola. 2014.

Dr. KOVÁCS Zoltán: *Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai*; Műszaki Katonai Közlöny XXII. évfolyam, 2012. 2. szám, pp. 37–52., ISSN 2063-4986

Dr. DARUKA Norbert: *Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei*. Műszaki Katonai Közlöny, XXVI. évf. 2016/1.

EMBER István: *A dunai alacsony vízállások tüzszerész tapasztalatai 2018-ban*. Műszaki Katonai Közlöny XXIX. évf., 2019/3., pp. 65-77. oldal, ISSN 2063-4986.

MAKK László – HAJDÚ László: *Az improvizált robbanóeszközök alkalmazásáról*; Új Honvédségi Szemle 2007/3. p. 7.

TÓTH József – DR. LUKÁCS László – VOLSZKY Géza: *Akna kisenciklopédia*. Kiadta a Tudásmenedzsmentért, Tudás Alapú Technológiákért Alapítvány. p. 281., ISBN 978-963-08-5522-8.

³² Forrás: MAKK László – HAJDÚ László: *Az improvizált robbanóeszközök alkalmazásáról*; Új Honvédségi Szemle 2007/3. p. 7.

DRONES ABOVE EOD OPERATORS DURING THEIR PUBLIC DUTY

István EMBER¹ and Dr. Zoltán KOVÁCS²

The explosive ordnance disposal tasks always require considerable effort from experts. Research, deactivation and destruction of different explosive ordnances are extremely dangerous and requires outstanding technical background in addition to significant proficiency. Using drones nowadays seems prosy in a military operation and in everyday life, too. These technical devices should also be involved in EOD activities. By usage of drones may take few tasks more secure, effective and quicker, especially the destruction, blasting phase. Since the security is the first, all kinds of development might weight a lot and help EOD personnel executing their tasks.

Keywords: explosive ordnance disposal tasks, deactivation, search, blasting, explosive ordnance, drone

INTRODUCTION

During World War II Hungary had suffered the whole scale of destruction. Since duration of six months it was one of the main theatres of operations in Europe, the country suffered significant damages. [1, p. 5] Different explosive hazardous combat materials were used in huge numbers, some estimates a hundred million pieces, and it was justified by the air bombs and projectiles found and deactivated after the war was over.

Until today the numerous explosive remains of war expose a high danger, due to they can be found in any parts of the country. Because the last decades might cause meaningful deterioration in their condition, the regular deactivation methods and the application of equipment need a continuous revision. This revision provides those novel procedures and equipment accessories for explosive ordnance disposal experts which make their work safer.

Using drones is very common today, but all circumstances of application are not yet clarified. It is worth to have a look at the possibilities of using drones. Hopefully, it will be successful to identify more segments of explosive ordnance disposal (EOD) tasks which execution supported by drones become easier in the close future.

EXPLOSIVE ORDNANCE DISPOSAL IN PUBLIC SERVICE

The public service explosive ordnance disposal tasks in Hungary belong to Hungarian Defense Forces 1st EOD and Warship Regiment³ only if the discovered explosive device is military origin. Questions may raise: Is there a reason for the existence of this task after 70 years passed after the war? Are there any more projectiles and air bombs hidden in the soil and need to deactivate? The answer for both these questions is a strict yes.

Exemption in the country had started immediately after World War II. In the earlier times, mainly soviet engineer troops executed this job, because the restart of the economy was a common interest at that time. But it is impossible to till the soil, develop the industry or guarantee the people security in a country which is full of minefields and projectiles. The huge amount of explosive remains of war was justified by the soviet engineers, those found and deactivated approximately 1 million devices until August 10, 1946 [1, p. 7]. But this number is not the biggest in the statistics of this age. EOD personnel had deactivated approximately 38 million devices in the 6th Military District (surroundings of Debrecen, Hajdú-Bihar, Jász-Nagykun-Szolnok, Szabolcs-Szatmár-Bereg) until March 1946 [1, p.

¹ National University of Public Service, Faculty of Military Science and Officers Training, Department of Operations Support, PhD aspirant. E-mail: Ember.Istvan@uni-nke.hu ORCID: 0000-0002-9877-0366

² National University of Public Service, Faculty of Military Science and Officers Training, Department of Operations Support, associate professor, E-mail: Kovacs.Zoltan@uni-nke.hu ORCID: 0000-0001-9098-1997

³ Abbreviated as MH 1. HTHE

16]. This is a really shocking number and it is only a part of the explosive devices used during wartime operations, since some of them remained in a good state.

Of course, the amount of devices found in the country decreases year by year. EOD personnel was continuously working during last seven decades. Dozens of deactivation tasks were executed every day, and it is similar today, however statistics definitely shows decreasing tendency. This decreasing trend not so steep and quick therefor those devices remain for a while. Figure 1. shows the EOD alerts of the last twenty years, with approx. 2000 alerts as the minimum number in some years.

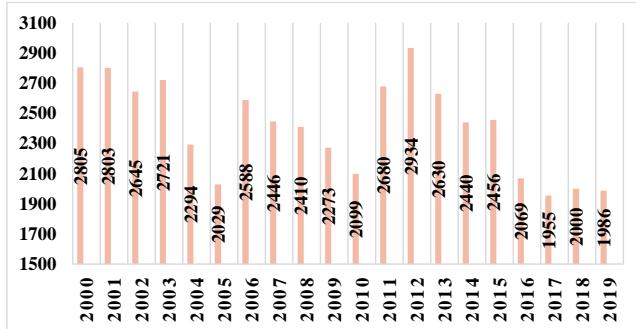


Figure 1. Annual alerts between 2000 and 2019 [2]

Beside the amount of alerts it is important that in 2019 almost 35.000 explosive devices⁴ of different types and only 3500 devices without explosive charge⁵ were found in 1986 separate locations. Small arms ammunitions were found in the greatest numbers, but the 2500 pieces of projectile also means a huge amount. As the numbers verify, the deactivation of minefields was more successful after the war, because only 16 mines were found whole last year. [2]

As the amount of EOD tasks shows, 5-6 alerts received on average every day. Of course, this is not a constant number. There are days when EOD officer on duty receives only 1-2 alerts, but may happen that more than 20 alerts arrive from different locations. These notifications are categorized by relating laws and rules, which may be out of turn or solved within 30 days. [3]

Every location means a challenge for the EOD personnel. It is not useful to make tasks after the same pattern, even with relatively frequent types of explosive devices. There are high quality military explosives in the projectiles and air bombs. Normally these explosives are specifically stable [4, p. 124], but environmental effects may cause some chemical modification in them. This modification might make the explosive charges of these devices much sensitive than ever before. Of course, this modification makes the easy-to-deactivate device to a very dangerous thing.

Sometimes the location of the device is more important than the device itself. It is often happen, that EOD personnel have to deactivate the device in an inhabited area. In these cases always necessary to establish special restrictions for civilians, because the EOD tasks are very dangerous even executed by highly qualified experts.

Unfortunately, lot of people have to leave their home for the duration of task, but their safety is the first. It is also very important that site of the evacuated security zone should carefully be selected, and

⁴ Types of explosive devices: landmines, artillery projectiles and munitions, aerial bombs, mortar shells, small arms ammunitions, hand grenades etc.

⁵ Non-explosive devices: they does not contain pyrotechnics or explosives (e.g. empty projectile case).

after evacuation only the EOD personnel should stay inside its limits. This evacuation usually arranged and coordinated by other, non-military organizations.⁶

Outside of the inhabited area it seems easier to solve the job, but sometimes it becomes even more difficult. It is very easy in a settlement to make the search for the supposed explosive devices⁷ because they related to an exact address. In an outside area sometimes it is very difficult to find the exact location of the dangerous device even with the assistance of the local police or the civilian person who discovered it primarily. It may be useful to have GPS coordinates, but in the absence of this difficulties may easily occur. Recognition of device might make heavier by grown vegetation or the missing marking sign that disappeared by some environmental reasons.

The deactivation or destruction of the identified explosive devices are very complicated and complex job. The EOD commander on site should control the general blasting works and adhere to the security measures. His rights only limited concerning the latter one, because other organizations (e.g. Police) responsible for that. Apart from this, the commander is responsible for determining the size of the security zone, and in case of local destruction of the device the commander has to select the closing points of the zone.

Another specifically important field for EOD personnel is the deactivation of the improvised explosive devices (IED), because nowadays “their usage for terrorist actions became nearly a daily routine in several countries” [5, p. 77]. This problem is not negligible at all, although Hungary today may classify as an IED-safe country.

In addition to this, the deactivation of NBC⁸ explosive devices makes the most complicated hazard. In such locations the members of EOD group should be familiar with not only the deactivation of explosive device but with chemical protection tasks, too [6, p. 25]. The EOD personnel of Hungarian Defense Forces have to cope with these explosive ordnances on different areas of operations during the asymmetric warfare [7]. The NBC deactivation job is especially complex, therefore we do not analyze it now in this short article.

Relying upon these findings there are two cases when technical equipment might necessary to support the reconnaissance:

- the survey of the supposed explosive devices;
- the destruction, deactivation and blasting tasks.

These two fields require special attention as like as the whole spectrum of the EOD job. Therefore it is essential that EOD group commander has to receive the maximum support by exploitation of the technical potential. Every technical support helps to optimize the available resources, to accelerate and to make safer the execution of tasks. In these cases drones may be the required technical background. Drones may give vast number of information during reconnaissance tasks and also might be a great appliance during surveying.

DRONES IN THE SKY

Nowadays the smallest drones able to make photos are bought for a few pennies, and they are just about pocketsize. These unmanned aerial vehicles become more and more popular. Industry, security, public health and transport of goods have greater pretensions to special equipment fulfil the new challenges. The manufacturing of these kind of vehicles under amazing improvement therefore the

⁶ Police, Disaster Relief Organization, Ambulance Service etc.

⁷ Until the correct type-identification it is just supposable that the device is an explosive device.

⁸ NBC: Nuclear, biological and chemical.

running development goes toward the new special types, the flying time increase in the air and the extension of the effective range. [8]

The lack of legal background may be the greatest retarding force of developments in the civilian sector. We do not deal with this question in this article, because police and military employment of these vehicles always require special legal background.

It is a highlighted field for manufacturers and users, as well as for armed bodies and governmental organizations. Using drones during military operations has a decade-long history. Drones may support soldiers during reconnaissance tasks and even can carry precision armaments to support missions. These vehicles might play significant role in all segment of combat fighting. [9]

The police units and groups also like to use them. Drones are very useful in search and rescue missions due to their excellent optical accessories which can detect disappeared people at great distances. Drones also capable to carry different gas detectors. With these various accessories the unmanned aerial vehicles might useful in the antiterrorist activities, crowd control, disaster relief tasks and on several other fields.

Unfortunately, they might be used for other purposes, too. They play role in terrorist actions more and more often. Drones are able to deliver the improvised explosive devices to the target, or the drone itself may become a weapon and can destroy even an airplane during its takeoff or landing. Nowadays drones become one of the greatest hazards and requires more resources to defend against them. [10]

As the usage is comprehensive, the available drones are various. This makes the customers easy to choose, and price of drones in a good quality is almost the same. Only the special quadcopter or octocopter may be more expensive than the others. Several manufacturer offer special types or packages for police, firefighters, disaster relief units or tactical groups. These models and accessories have top quality and fulfil specific requirements.

SUPPORTING THE EOD JOB BY DRONES

First, let us have a look at the possibilities of surveying the assumed explosive devices. As we mentioned earlier, problems essentially occur outside the inhabited area. Marking the location of the assumed explosive devices is an obligation, but sometimes it is very difficult to notice these markings. Approaching the location by the EOD vehicle on unpaved roads is not a question, but majority of explosive devices found far from the passable roads on ploughed fields and in forests.

The aerial survey is not the best choice in case of wooded terrain, but in case of ploughed fields and agricultural areas might has a good efficiency. The goal is to find the placed “Danger” sign or the explosive device itself. Usually the surface of the explosive devices are rusty and very hard to notice them on the cultivated soil, therefore high resolution cameras with zooming capability need for location. The notice of placed markings also requires high resolution and zooming capability, because they often placed in a great distance from the passable roads.

The survey time in many cases may greatly shorten with this method. On terrains passable on foot or suitable for tracked vehicles it might especially advantageous. However the approach does not, but the working phases of the survey might accelerate. Similar situation when marking signs hidden by the vegetation. In these cases easy to determine the direction of location and not necessary wasting resources to get over the vegetation.

Beside the survey procedures, the employment of drones may useful during deactivation and destruction job. In these cases always need a designated security zone, but inside the inhabited area it sometimes seems difficult. The size and shape of the security zone influenced by several factors. If

an aerial vehicle, a drone is available, the EOD personnel responsible for designation the evacuation area can estimate the surroundings and this working phase may be significantly reduced.

With a drone, we are capable to exactly identifying an object, a historic monument or other critical infrastructure hidden behind for instance a large building and this recognition may cause the revision and modification of the plan for the whole job. Outside the inhabited area it is also useful to have a quick aerial survey vehicle.

In many cases it is easier to identify a danger or dangerous object from the air.⁹ Rapid identification of these obstructive factors always increases the effectiveness and reduces the demands of time. Since this job should perform by night and day, there is a need to a visual reconnaissance vehicle equipped with a high resolution and zooming capability accessories and in case of need a night vision device, too.

During destruction jobs the situation is similar as written above. Inside the inhabited areas, these tasks are executable only with strict limitations, but sometimes no chance to avoid the blasting. The probable application of drones for designation of security zones is practically correspond to the situation mentioned above, but additional tasks may occur.

The designated security zone maintained basically by the fellow governmental services, but supported by a drone, the commander of EOD group may quickly convinced of the appropriate and correct location of all closing points of the security zone. He can also verify that the personnel involved into the closing activity located in the designated place and time, and wear the protective gears.

This feedback may greatly improve the concentration of the executive personnel, because not necessary to deal with incidental problems related to security. As this job might be also executed at night, the application of thermo-cameras may increase the early detection of vehicles, persons or animals approaching the security zone. This device also helps to prevent the hiking or walking people stray in the closed area during the execution of blasting tasks.

There is another application for drones in EOD job is to replace the body cameras. These cameras specifically important for investigation of an accident or other serious incident. Wearing a camera sometimes may irritating for soldiers. But this irritation might decreasing or completely terminating if the camera is in the sky at a relatively great distance.

By using the appropriate device, the pictures and records made by drones might also suitable for investigation the details and progression of incident. These information may distinctly important, especially about the spot of a blasting accident, because it could help to identify the wrong steps. After that the experiences may integrated into the future processes. Nevertheless, these tasks executable only with high-resolution camera and a drone with a long flying time!

After the blasting task, it is feasible to check the spot of blast with a drone, because different unhealthy gases and vapors may be found in the air. But with using a drone it is not necessary to wait the safety time to check the result of blast, so the job may be accelerated again.

The fields of applications show a wide spectrum, even in this article we did not mention the deactivation of improvised explosive devices or the CBRN EOD tasks. It can be laid down as a fact that support of EOD job requires an aerial vehicle which:

- remote controlled from a few kilometers as a minimum;
- may mounted by high resolution optical accessories those capable zooming;

⁹ This kind of object may be a dam or a warning sign of a gas pipeline, public utility, oil pipeline in the vicinity.

- has night vision function;
- may operate as a thermal camera;
- has a high battery capacity (long flying time) or the battery is easy to replace.

Not all these optical functions should be available in one drone at the same time. The replaceable onboard accessories are also suitable for this, if replacement does not difficult and takes a short time.

POTENTIAL ALTERNATIVES

Several web sites or stores offer devices those may fulfil the requirements mentioned above. There are various kinds of device-packages which are optimized for special tasks. The drones with different capabilities and size are equipped with several complementary parts and accessories which make them suitable for professional employment. The variants of drone type DJI Matrice 210 equipped with special accessories recommended for police tasks and may also be useful for EOD tasks in special circumstances. This drone can fly for more than 30 minutes, it takes only a few minutes to make it ready to fly, dust- and waterproof (IP43 category). May remote controlled from even 8 kilometers and its top speed is ~74 km/h. It may be used even in a 40 km/h strong wind and it has an advanced obstacle avoid system. Beyond all this, it can be equipped with more optical appliances at the same time, those can be a high resolution camera with 30x optical zooming, a thermal camera or an infrared camera. [11]



Figure 2. DJI Matrice 210 V2 drone equipped with two optical units [11]

There is another alternative, too. For example the drone type OnyxStar FOX-C8 XT model. This drone has four arms as a quadcopter, but it has eight rotors on the arms instead of four. It can fly even in a 50 km/h strong wind, its service time is 44 minutes and can be equipped with a high resolution camera or infrared camera. [12]



Figure 3. OnyxStar FOX-C8 XT equipped with a combined optical unit [12]

SUMMARY

It was successful to identify the areas of EOD tasks where application of drones might be distinctly useful during public services. These unmanned aerial vehicles might make deactivation, destruction or blasting tasks quicker and safer. Their usage does not require special and time consuming training however, the practice is indispensable.

We determined the conditions that drones are in service now have to fulfil in the future. These conditions are not unachievable at all, not only the two models we introduced in this article can fulfil them. Of course, the drone itself is not enough. Without complementary parts (optical units) of excellent quality, it is only a useless toy.

Hopefully this article may be an aid for a development project in the future, but some correction might be necessary after the field tests of drones.

BIBLIOGRAPHY

- [1] T. Gellért, Tűzszerészek és aknakutatók, L. Paréj, Ed., Budapest: Zrínyi Katonai Kiadó, 1981.
- [2] A szerző saját kutatása a MH 1. HTHE archívumában.
- [3] 142/1999. (IX. 8.) Kormány rendelet a tűzszerészeti mentesítési feladatok ellátásáról.
- [4] L. Lukács, "Bombafenyegetés – robbantószerek a honi katonai robbantástechnikában," *Repüléstudományi Közlemények*, pp. 123-143., 2013, 25. évf., 2. sz.
- [5] Z. Kovács and K. Dénes, "Létesítmények közműrendszereinek robbantásos cselekmények általi veszélyeztetettsége és védelme," *Hadtudományi Szemle*, pp. 77-85., 2019, 12. évf., ksz.
- [6] T. Berek, "ABV (CBRN) tűzszerészcsoporthoz, mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés," *Bolyai Szemle*, pp. 22-34., 2016, 25. évf., 4. sz.
- [7] T. Horváth, *A műveleti környezet műszaki támogatásának kihívásai*, Z. Krajnc and J. Csengeri, Eds., Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2016, pp. 256-300.
- [8] A. Németh, "UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során I.," *Hadmérnök*, pp. 37-60, 2018, 13. évf., 2. sz.

- [9] N. Daruka, "Kvadkopter, mint lehetséges felderítő eszköz, avagy a repülő polip visszatér," *Repüléstudományi Közlemények*, pp. 114-122, 2013, 25. évf., 2. sz.
- [10] N. Daruka, "Oktokopter a légi szállítás modernizációja, vagy a robbanószerkezetek célba juttatásának újabb lehetősége," *Repüléstudományi Közlemények*, pp. 247-256, 2014, 26. évf., 2. sz.
- [11] "DSLR Pros," [Online]. Available: <https://www.dslrpros.com/dji-matrice-210.html>. [Accessed 14. február 2020].
- [12] "OnyxStar Leading Edge Drones," [Online]. Available: <https://www.onyxstar.net/fox-c8-xt/>. [Accessed 15. február 2020].

The test methods for smokeless powders

Lorand Kugyela*

*Lead engineer of explosives, Certrust – Notified Body 2806

During the last couple years, the smokeless powders have their new renaissance due to reloading of ammunition. However, their contents and burning characteristics are well established, little background knowledge available about their testing especially obtaining the CE mark. Although the principal approach is same as for the high explosives some test is strictly gunpowder related. In my article these test are shown and described.

Keyword: smokeless powder; testing; harmonized standards; deflagration; initiation

1 Foreword

The smokeless powder, and even the black powder somehow stuck in a special position amongst the energetic materials. As they are used in ammunition, or in niche pyrotechnic applications (*airbags, pyrotechnic actuators*) they not considered as forceful as the other high explosives.

This misleading idea, shatters if someone see in real life, how powerful these materials are. Like burning of several kilograms in pile or see how the *burning – deflagration – detonation* builds up in a closed steel pipe loaded with a faster burning smokeless powder.

For the testing of these materials the EN 13938 and EN 13631 standard series are used. In my article I summarize the difficulties and the specialties of the testing of smokeless powders used for reloading ammunition, and which tests are needed to obtain CE mark, by a Notified Body.

2 General test

The following harmonized standards refer to the smokeless powders, and these standards are framing the type certification of the powders.

- EN13938-2: Determination of resistance to electrostatic energy.
- EN13938-3: Determination of deflagration to detonation transition.
- EN13938-4: Determination of burning rate under ambient conditions.
- EN 13631-2 Determination of thermal stability of explosives
- EN 13631-3 Determination of sensitiveness to friction of explosives
- EN 13631-4 Determination of sensitiveness to impact of explosives
- EN 13631-13 Determination of density

All test must be passed successfully.

3 Descriptions of test

Just to have a general overview a description will follow for elaborating their approach.

EN13938-2: Determination of resistance to electrostatic energy.[1]

This standard specifies a method for the determination of resistance to electrostatic energy for the smokeless powders and propellants, which are containing a mass fraction of at least 5 % of particles which pass through a 1 mm sieve. When tested, the sensitiveness to electrostatic energy shall not be less than 0,5 J.

This test generally needed in case of powders for rimfire cartridges where the particle size much smaller than powders for shotshell or for centerfire ammunition.

EN13938-3: Determination of deflagration to detonation transition. [2]

This test (DDT) is used to determine the tendency of smokeless powders to undergo transition from deflagration to detonation. When tested the length before detonation (LBD) shall not be less than 0,05 m. This test also can be found in the Manual of test and Criteria as the 5 b (ii) method. [3]

Seamless steel pipe loaded with the substance placed on lead sheet (*sheets*) onto a steel anvil. The ignition is a NiCr wire which is heated until the reaction begins. As from the initiation point as the pressure rises within the pipe the burning – deflagration – explosion – detonation occurs. From the depth change where the detonation starts (see: *Figure 4 red arrow*) shall be noted.



Figure 1. DDT setup



Figure 2. DDT lead anvil deformation results for shotshell powders (UN 0161 1.3C)



Figure 3. DDT results for rifle powders (UN0161; 1.4C)

EN13938-4: Determination of burning rate under ambient conditions. [4]

When tested, the burning rate shall be less than 400 mm/s. Standard specifies a method for the determination of burning rate under ambient conditions for propellants and black powder.

This test clearly shows the burning rates between different powders which value, is a basis for choosing the right one for reloading ammunition. It must be noted that for black powder this result gives quite hectic results. The cause of this is the burning behaviour of the powder itself.

During the burning phase the particles propels themselves and they light up the powder in front of the burning. This issue results fluctuations in the results.

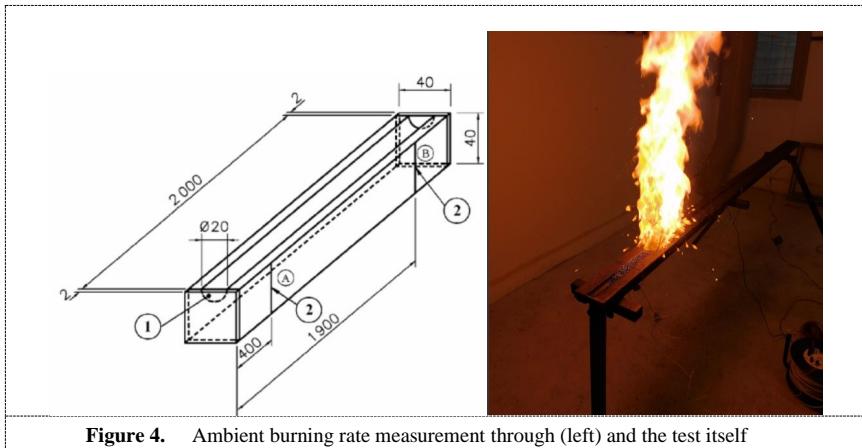


Figure 4. Ambient burning rate measurement through (left) and the test itself

EN 13631-2 Determination of thermal stability of explosives [5]

This test is used to measure the thermal stability of the substance when subjected to elevated thermal conditions, for a specified time. ($75^{\circ}\text{C}/48\text{H}$). This test also appears in the Manual of test and Criteria as the 3 c (i) test with such modification, that the pressure rises, and the onset must be monitored.

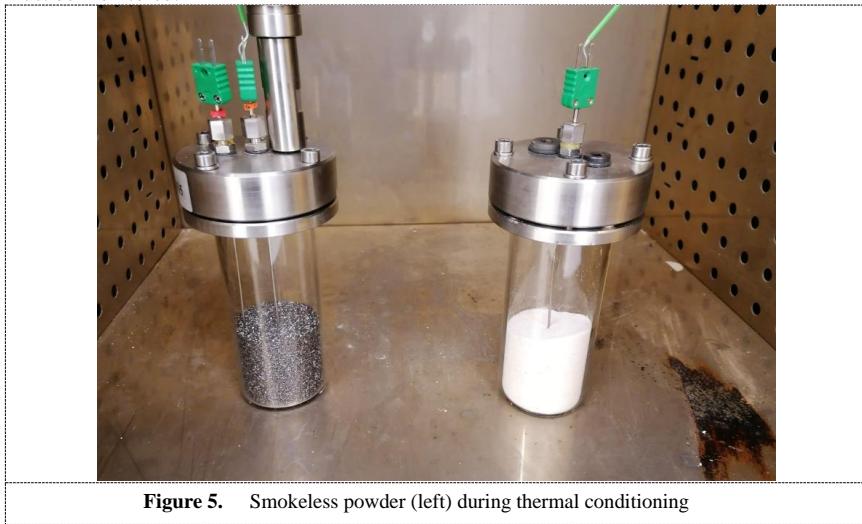


Figure 5. Smokeless powder (left) during thermal conditioning

EN 13631-3 Determination of sensitiveness to friction of explosives [6]

This test is used to measure the sensitiveness of the substance to frictional stimuli. Although the standard asks for the crushing of the samples the writer does not support this idea. Regarding to the crushing procedure the smokeless powder must be crushed and then sieved with 0,5 and 1,0mm sieve. The amount which is between 0,5-1,0 shall be used for the impact sensitivity testing and the rest is for friction sensitivity.

This procedure changes the physical appearance, which have remarkable impact on the sensitivity values. It also lack from the practical approach as for example the powders for magnum cartridges are mostly consist of bigger particles, covered with graphite. These hard particles are quite difficult to crush by hand. If special machinery used the specific appearance would be taken away.

It must be mentioned that the onset threshold levels are hard to observed, as the porcelain plate easily coloured by the nitrocellulose itself and the coating of the particles.



Figure 6. go/no-go results

EN 13631-4 Determination of sensitiveness to impact of explosives [7]

This test is used to measure the sensitiveness of powders to drop-weight impact. For this test, the same approach may be used, as no disintegrating of powder particles.



Figure 7. Impact sensitivity measurement results.

EN 13631-13 Determination of density [8]

This test is the far easiest of all, as with this the bulk density is measured.

4 Summary

As it has been shown, the smokeless powders have their unique certification system. This results from the simple fact that they are used since before the explosives were used. Obviously the beginnings were from the black powder.

Although it is well elaborated the standards must be developed to adjust the practical experience to the real life experiences.

References

- [1] EN13938-2:2005 - Determination of resistance to electrostatic energy.
- [2] EN13938-3:2003 - Determination of deflagration to detonation transition.
- [3] EN13938-4:2004 - Determination of burning rate under ambient conditions
- [4] UN: Manual of Tests and Criteria 87th revised edition 2019.
- [5] EN 13631-2:2003 - Determination of thermal stability of explosives
- [6] EN 13631-3:2005 - Determination of sensitiveness to friction of explosives
- [7] EN 13631-4:2005 - Determination of sensitiveness to impact of explosives
- [8] EN 13631-13:2003 - Determination of density

dr inż. Krzysztof Barański*

dr inż. Ryszard Morawa **

Badania i ocena środowiskowa pirotechnicznych „zielonych” mieszalin opóźniających stosowanych w zapalnikach

**Research and environmental assessment of pyrotechnic "green" delay
compositions used in detonators**

* Akademia Górnictwo - Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH)

University of Science and Technology (AGH-UST) baranski@agh.edu.pl

** Akademia Górnictwo - Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH)

University of Science and Technology (AGH-UST) morawa@agh.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono ogólny podział substancji pirotechnicznych. Omówiono rolę oraz sposób działania masy pirotechnicznej w zapalnikach górniczych, a także wymagania stawiane tego typu mieszaninom. Zaprezentowano eksperymentalne, nazywane mianem „zielonej pirotechniki” mieszaniny pirotechniczne oparte na bazie tlenku antymonu(III) oraz tlenku bismutu(III). Scharakteryzowano wskaźniki służące do oceny szkodliwości i toksyczności substancji chemicznych. Dokonano porównania toksyczności stosowanych obecnie w zapalnikach - ołowianych mieszanin pirotechnicznych do proponowanych kompozycji zawierających „zielone” utleniacze: Sb_2O_3 i Bi_2O_3 . Przedstawiono wyniki badań instrumentalnych produktów spalania wybranych mieszanin pirotechnicznych układu $\text{Si-Sb}_2\text{O}_3$, $\text{Si-Bi}_2\text{O}_3$ oraz $\text{Si-Pb}_3\text{O}_4$.

Przeprowadzone badania wykazały niższą szkodliwość produktów spalania mieszanin pirotechnicznych opartych na związkach bismutu i antymonu w porównaniu do produktów powstały z mieszanin zawierających jako utleniacz minię ołowianą.

Abstract

General division of pyrotechnic substances was presented. The importance and operation of pyrotechnic compositions in mining detonators and also the requirements for this type of mixtures were discussed. Experimental, called "green pyrotechnic" pyrotechnic compositions based on antimony (III) oxide and bismuth (III) oxide were presented. Indicators used to assess the harmfulness and toxicity of chemical substances have been characterized. A comparison was made of the toxicity currently used in detonators - lead pyrotechnic mixtures with the proposed compositions containing "green" oxidants: Sb_2O_3 and Bi_2O_3 . The results of instrumental research combustion products of selected pyrotechnic mixtures of the $\text{Si-Sb}_2\text{O}_3$, $\text{Si-Bi}_2\text{O}_3$ and $\text{Si-Pb}_3\text{O}_4$ systems were presented.

The research showed lower harmfulness of products of combustion of pyrotechnic mixtures based on bismuth and antimony compounds as compared to products resulting from mixtures containing as lead oxidant.

1. Wprowadzenie

Pojęcie substancji pirotechnicznych zostało zdefiniowane w polskim prawodawstwie w Ustawie z dnia 21 czerwca 2002 r. o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego (Dz. U. 2002 nr 117, poz. 1007) w art. 3 [14]. W rozumieniu ustawy jest to: „...każdy wyrob zawierający materiały pirotechniczne, które są jedną z odmian materiałów wybuchowych, będące materiałem lub mieszaniną materiałów przewidzianych do wytwarzania ciepła, światła, dźwięku, gazu, dymu lub kombinacji tych efektów w wyniku samopodtrzymującej, egzotermicznej reakcji chemicznej...”

Ze względu na rozmaite zastosowania istnieje wiele podziałów substancji pirotechnicznych. Poszczególne odmiany charakteryzują się różnymi właściwościami i sposobem działania. Znajdują zastosowanie zarówno do celów wojskowych jak i cywilnych. Zastosowania wojskowe to głównie pirotechnika zapalająca w postaci napalmu stosowanego podczas działań zbrojnych oraz masy smugowe służące do znakowania celów. W technice cywilnej wykorzystuje się masy dymne do zastosowań: widowiskowych, filmowych, teatralnych lub sygnalizacyjnych np. podczas ewakuacji albo oznaczania miejsca lądowania helikoptera a także do ograniczania widoczności (maskowania) celów bądź ludzi. Mieszaniny fotobłyskowe znajdują zastosowanie w granatach hukowo–błyskowych stosowanych przez policję lub wojsko do czasowego zneutralizowania zdolności bojowej oraz obronnej przeciwników poprzez zdezorientowanie ich zmysłów. Masy szybkopalne o wysokim potencjale energetycznym można wykorzystywać w konstrukcjach urządzeń służących do urabiania skał na bloki.

Przedmiotem artykułu są opóźniające mieszaniny palne stosowane w zapalnikach górniczych (elektrycznych i niespiektrycznych), których zadaniem jest nadawanie środkom inicjującym odpowiedniego czasu zadziałania. Są to mieszaniny wieloskładnikowe składające się co najmniej z dwóch grup komponentów: paliwa oraz utleniacza. Dodatkowo mogą w swoim składzie zawierać inne grupy związków takie jak lepiszcze, katalizator oraz substancje pomocnicze [4, 5, 10, 12]. Główną cechą tej grupy substancji pirotechnicznych jest zdolność do spalania ze stałą prędkością warunkującą stabilność działania zapalników. W wyniku ich spalania generowana jest bardzo mała ilość produktów gazowych lub są to tzw. masy bezgazowe. Inne wymagania stawiane mieszaninom pirotechnicznym to [2, 10, 12]:

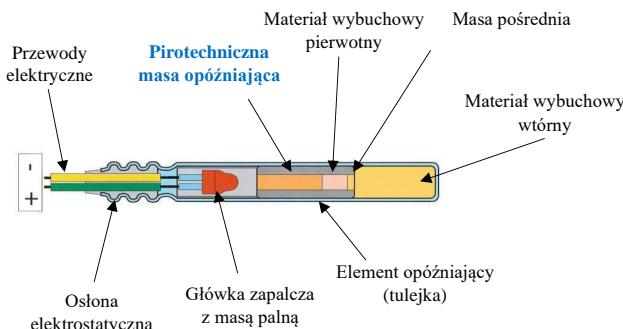
- niewielka zależność parametrów spalania od temperatury otoczenia,
- brak zdolności do detonacji podczas zainicjowania lub przejścia z procesu spalania do detonacji, reakcja spalania musi po jej zapoczątkowaniu zachodzić samoczynnie,
- bezpieczeństwo produkcji, używania i przechowywania,
- odpowiednia wrażliwość na uderzenie i tarcie oraz na bodźce termiczne,
- stabilność chemiczna oraz fizyczna podczas długiego okresu przechowywania – brak wpływu starzenia w okresie co najmniej 6 miesięcy,
- niska toksyczność i szkodliwość składników oraz samej masy wobec środowiska naturalnego, a także jej produktów spalania.

Uwzględniając potrzeby produkcyjne mieszaniny opóźniającej powinny również spełniać poniższe warunki:

- duża dostępność surowców potrzebnych do produkcji mieszanki,
- niski koszt produkcji,
- możliwość wytworzenia w wyniku stosowania prostej i niskoenergochłonnej technologii produkcji (co częściowo przekłada się na koszty),
- łatwość w unieszkodliwianiu i utylizacji w przypadku utraty pierwotnych właściwości lub przekroczenia terminu minimalnej trwałości.

2. Działanie mieszanin pirotechnicznych w zapalnikach górniczych

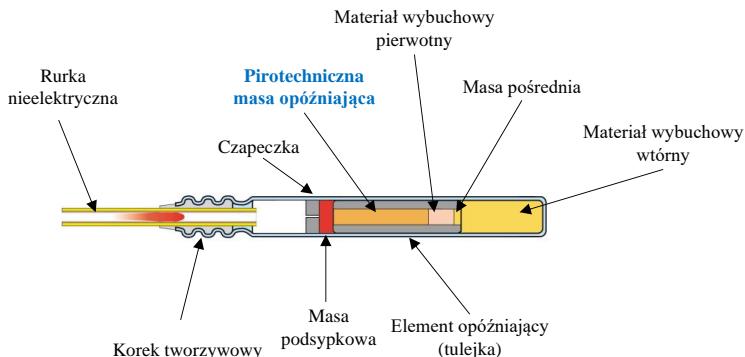
Zapalnik elektryczny jest urządzeniem, w którym energia elektryczna zostaje zamieniona na ciepło potrzebne do zapłonu niewielkiej ilości masy zapalczej. Uzyskany w ten sposób płomień powoduje detonację MW inicjującego [6]. Główne elementy budowy zapalnika elektrycznego zostały przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Budowa zapalnika elektrycznego [16 – zmodyfikowano]

Opóźniającą mieszaninę pirotechniczną umieszcza się w metalowej tulejce o długości uzależnionej od nominalnego czasu zadziałania zapalnika. Element ten umożliwia sterowanie czasem zadziałania zapalnika. Zastosowana mieszanina pirotechniczna jest przekaźnikiem impulsu cieplnego pomiędzy główką zapalczą, a materiałem wybuchowym pierwotnym. Nadanie czasu zadziałania zapalnika uzyskiwane jest dzięki stabilizacji procesu spalania mieszaniny poprzez dokładne zaprasowanie pod odpowiednim ciśnieniem określonej długości masy do tulejki.

Schemat budowy zapalnika nieelektrycznego został przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Schemat budowy zapalnika niesielektrycznego z czapeczką

[16 – zmodyfikowano]

W zapalniku niesielektrycznym impuls zapłonowy transmitowany jest za pomocą rurki niesielektrycznej. Podobnie jak w zapalniku elektrycznym mieszanina pirotechniczna opóźnia moment przekazania ciepła do materiału wybuchowego pierwotnego lub wtórnego (w przypadku zapalników typu NPED) co powoduje pożądane wydłużenie czasu zadziałania zapalnika.

3. Charakterystyka badanych „zielonych” mieszanin pirotechnicznych

Określenie „zielona pirotechnika” stanowi nawiązanie do koncepcji wprowadzonej przez amerykańskiego chemika Paula Anastasa dotyczącej „zielonej chemii”, która jest spójna z szeroko rozumowaną ideą „zrównoważonego rozwoju”. W 1991 r. Anastas przedstawił 12 zasad dotyczących syntezy i reakcji chemicznych. Zakładają one zmniejszanie ilości powstających na skutek reakcji chemicznych odpadów, minimalizację zużycia odczynników, przeprowadzanie bezpieczniejszych reakcji chemicznych, ograniczenie energochłonności procesów oraz ich kosztów [1]. Do pirotechnicznych mas opóźniających bezpośrednio odnoszą się zasady opisane w punktach 3 i 4, które nakładają wymóg prowadzenia mniej niebezpiecznych syntezy chemicznych czyli używania surowców nietoksycznych lub o nieznacznej toksyczności oraz tworzenia mas opóźniających spełniających te kryteria. Podobnie produkty powstałe na skutek spalania tych mieszanin oraz powstałe na skutek interakcji produktów spalania z otoczeniem nie powinny być toksyczne.

Powszechnie stosowane opóźniające masy pirotechniczne zawierają w swoim składzie związki toksycznego ołówku, głównie: tlenek diołowi(II) ołowiu(IV). Pomimo dobrych właściwości palnych ze względu na zawartość związków ołówku oddziałują negatywnie na środowisko. Szacuje się, że w wyniku działania zapalników górniczych w Polsce do środowiska emitowane jest od 4,9-8,6 ton ołówku rocznie [2].

Przedmiotem badań były układy pirotechniczne oparte na tlenku bizmutu(III) Bi_2O_3 , pełniącym rolę utleniacza oraz krzemie, oznaczone roboczo 0,5B - 5,0B

zawierające od 5-50% wagowy paliwa w postaci krzemu oraz od 50-95% utleniacza. Przeprowadzono również analizę środowiskową dla mieszanin pirotechnicznych układu Si-Sb₂O₃ oznaczonych 1,0A - 7,0A, u których w charakterze utleniacza zastosowano tlenek antymonu(III) w ilościach od 30-90% wagowych. Powyższe kompozycje zostały zakwalifikowane do wykonania oceny środowiskowej na podstawie pozytywnych wyników procesów spalania uzyskanych w badaniach wstępnych. Dokonano porównania toksyczności wytypowanych w ten sposób mieszanin i produkcyjnych mas pirotechnicznych zawierających od 50-85% Pb₃O₄ – oznaczonych roboczo Pb15-Pb50.

4. Wskaźniki stosowane do oceny toksyczności substancji chemicznych

Toksyczność definiowana jest jako „zdolność substancji chemicznej do wywołania uszkodzeń w organizmie”. Jest to cecha substancji chemicznych polegająca na powodowaniu zaburzeń funkcji lub śmierci komórek żywych, narządów lub całych organizmów w wyniku kontaktu z daną substancją [7-9, 11]. Charakter działania danej substancji jest uzależniony od wielu czynników m.in:

- sposobu jej wchłonięcia – droga pokarmowa, oddechowa, skóra,
- wielkości dawki,
- czasu ekspozycji na substancję szkodliwą,
- przyswajalności.

Toksyczność jest bardzo szeroko rozumianym zagadnieniem. Wskaźnikami służącymi do oceny toksyczności są m.in:

- wielkość dawki śmiertelnej LD₅₀ (ang. *lethal dose*).
- wielkość stężenia śmiertelnego LC₅₀ (ang. *lethal concentration*).
- stopień kancerogenności.

Dawka śmiertelna LD₅₀ jest określana jako minimalna dawka substancji wyrażona najczęściej w mg/kg masy ciała, która po wchłonięciu drogą pokarmową powoduje śmierć 50% zwierząt określonego gatunku. Wartość tego parametru najczęściej określana jest dla zwierząt laboratoryjnych: szczura lub myszy. Natomiast stężenie śmiertelne LC₅₀ to minimalna dawka substancji podawana najczęściej w mg/m³ lub ppm, która po wchłonięciu drogą oddechową poprzez inhalację powoduje śmierć 50% procent zwierząt określonego gatunku [11]. Wartości LD₅₀ i LC₅₀ podawane są dla różnych zwierząt ale wyników tych nie można przeliczać proporcjonalnie w celu oceny wielkości śmiertelnej dawki dla ludzi. Można natomiast porównywać wielkości dawek dla tych samych zwierząt dla różnych substancji. Uznaje się, że wyższa wartość LD₅₀/LC₅₀ oznacza niższą szkodliwość (toksyczność) dla organizmu. Kancerogenność to zdolność substancji do wywoływanego raka na skutek uszkodzenia genomu lub zakłócenia komórkowych procesów metabolicznych.

W Polsce do wyznaczenia klasy toksyczności często stosuje się skalę podaną w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 5 marca 2009 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji i preparatów chemicznych (Dz.U. 2009 nr 43 poz. 353) [15] - (tab. 1).

Tab. 1. Ocena toksyczności substancji na podstawie [15] – klasyfikacja 1

Przedział klasy (mg/kg masy ciała)	Klasa toksyczności
LD₅₀ < 25	Bardzo toksyczny
25 < LD₅₀ < 200	Toksyczny
200 < LD₅₀ < 2000	Szkodliwy
2000 < LD₅₀	Nieklasyfikowany

W Europie stosowana jest skala podana w Dyrektywie Komisji Europejskiej (2001/59/EC) [13] - (tab. 2).

Tab. 2. Ocena toksyczności substancji na podstawie [13] – klasyfikacja 2

Oznaczenie	Przedział klasy (mg/kg masy ciała)	Klasa toksyczności (w oryginalu)	Klasa toksyczności (tłumaczenie)
G1	LD₅₀ ≤ 5	G1 Very toxic	G1 Bardzo toksyczny
G2	5 ≤ LD₅₀ ≤ 50	G2 Toxic	G2 Toksyczny
G3	50 ≤ LD₅₀ ≤ 300	G3 Med toxic	G3 Umiarowanie toksyczny
G4	300 ≤ LD₅₀ ≤ 2000	G4 Low toxic	G4 Niska toksyczność
G5_NC	LD₅₀ ≥ 2 000	G5 No toxic	G5 Nieklasyfikowany

Do oceny kancerogenności stosuje się klasyfikację Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (ang. *International Agency for Research on Cancer*) - klasyfikacja 1 [18]. Powszechnie korzysta się również z klasyfikacji opracowanej przez Amerykańską Konferencję Rządowych Higienistów Przemysłowych (ang. *American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH*) - klasyfikacja 2 [17].

5. Ocena toksyczności mieszanin pirotechnicznych na bazie związków antymonu, bizmutu i ołowiu

Na podstawie danych literaturowych oraz informacji podanych w kartach charakterystyki substancji chemicznych dokonano oceny wartości wskaźnika LD₅₀ substratów mas pirotechnicznych (tab. 3.)

Tab. 3. Klasa toksyczności substratów mas pirotechnicznych na podstawie LD₅₀* [2]

Wzór chemiczny	Nazwa związku	Wartość wskaźnika LD ₅₀ [mg/kg]	Klasa toksyczności wg klasyfikacji 1	Klasa toksyczności wg klasyfikacji 2
Sb ₂ O ₃	Tlenek antymonu(III)	20000	Nieklasyfikowany	G5 Nieklasyfikowany
Bi ₂ O ₃	Tlenek bizmutu(III)	5000	Nieklasyfikowany	G5 Nieklasyfikowany
Pb ₂ O ₄	Minia ołowiana	500-630	Szkodliwy	G4 Niska toksyczność
Si	Krzem	3160	Nieklasyfikowany	G5 Nieklasyfikowany

* Wartości LD₅₀ podano dla szczury

Zarówno tlenek antymonu(III) oraz tlenek bizmutu(III) cechując się bardzo wysokimi wartościami wskaźnika LD₅₀ co świadczy o ich bardzo niskim poziomie toksyczności. W przypadku mini ołowianej w zależności od źródła wartość ta oceniana jest na ok. 0,5 grama co oznacza, że wg polskiej klasyfikacji jest ona szkodliwa. Według mnie rygorystycznej Dyrektywy UE toksyczność oceniono na niską (G4).

Na podstawie składu chemicznego analizowanych mieszanin pirotechnicznych oraz produkcyjnych mas ołowianych obliczono wypadkową wartość LD₅₀ dla poszczególnych mieszanin (tab. 4).

Tab. 4. Klasa toksyczności mas pirotechnicznych oszacowana na podstawie średniej ważonej wartości LD₅₀* substratów [2]

Rodzaj masy	Paliwo [%]	LD ₅₀ paliwa [mg/kg]	Uteniacz [%]	LD ₅₀ utleniacza [mg/kg]	Wypadkowa wartość LD ₅₀ [mg/kg]	Klasa toksyczności wg klas. 1	Klasa toksyczności wg klas. 2
Pb15-Pb50	15-50	3160,00	50-85	630,00	1009,5-1895	Szkodliwy	G4 Niska toksyczność
1,0A-7,0A	10-70	3160,00	30-90	34600,00	12592-31456	Niekłasy.	G5 Niekłasy.
0,5B-5,0B	5-50	3160,00	50-95	5000,00	4080-4908	Niekłasy.	G5 Niekłasy.

* Wartości LD₅₀ podano dla szczuра

Analizując wyniki z tab. 4 stwierdzono, że masy pirotechniczne zawierające w swoim składzie 50-85% Pb₃O₄ cechują się wypadkową wartością wskaźnika w przedziale 1009,5 – 1895,0 mg/kg co pozwala ocenić je jako szkodliwe (klasyfikacja nr 1), a w przypadku klasyfikacji 2 o niskiej toksyczności (G4). Dla proponowanych mas układu Si-Bi₂O₃ wartości LD₅₀ są kilkukrotnie, a w przypadku mieszanin Si-Sb₂O₃ kilkunastokrotnie wyższe w porównaniu do mas ołowianych.

W analizie uwzględniono także wartości LD₅₀ dla głównych produktów spalania mas pirotechnicznych układu: Si-Sb₂O₃, Si-Bi₂O₃ oraz Si-Pb₃O₄ oszacowanych na podstawie wyników analizy termodynamicznej (tab. 5).

Tab. 5. Klasa toksyczności głównych produktów spalania mas pirotechnicznych na podstawie LD₅₀* [2]

Wzór chemiczny	Nazwa związku	Wartość wskaźnika LD ₅₀ [mg/kg]	Klasa toksyczności wg klasyfikacji 1	Klasa toksyczności wg klasyfikacji 2
Pb	Ołów	90-300	Toksyczny/ Szkodliwy	G3 Umiarkowanie toksyczny
PbO	Tlenek ołowiu(II)	400-500	Szkodliwy	G4 Niska toksyczność
Bi	Bizmut	2000-5000	Niekłasyfikowany	G5 Niekłasyfikowany
SiO ₂	Tlenek krzemu(IV)	3000-5000	Niekłasyfikowany	G5 Niekłasyfikowany
Sb	Antymon	7000	Niekłasyfikowany	G5 Niekłasyfikowany

* Wartości LD₅₀ podane dla szczuра

Szkodliwość ołowiu - głównego produktu spalania mieszanin Si-Pb₃O₄ według klasyfikacji polskiej (klasyfikacja 1) została oceniona (w zależności od źródła danych) na toksyczną lub szkodliwą. Według klasyfikacji 2 wykazuje on umiarkowaną toksyczność (G3). Powstający w niewielkich ilościach tlenek ołowiu(II) jest klasyfikowany jako szkodliwy (wg klasyfikacji 1) oraz w niewielkim stopniu toksyczny (G4 – klasyfikacja 2). Pozostałe produkty powstałe w wyniku spalania mas pirotechnicznych na bazie związków bizmutu oraz antymonu cechują się wysokimi wartościami LD₅₀ przez co niezależnie od zastosowanej klasyfikacji można uznać, że są

nieszkodliwe. Zestawienie informacji na temat kancerogenności najważniejszych związków antymonu, bizmutu i ołowi przedstawiono w tab. 6.

Tab. 6. Klasyfikacja kancerogenności wybranych związków, antymonu, bizmutu i ołowi wg IARC i ACGIH [2, 17, 18]

Grupa związków	Klasa kancerogenności wg IARC	Klasa kancerogenności wg ACGIH
Tlenki antymonu Sb	G2B Podejrzewane o rakotwórcze działanie	A2 Podejrzewane o działanie rakotwórcze na ludzi
Antymon Sb	Brak wpisu	Brak wpisu
Tlenki ołowi Pb	G2A Prawdopodobnie rakotwórcze dla człowieka	A3 Potwierdzona rakotwórczość na zwierzętach nieznany wpływ na ludzi
Ołów Pb	G2B Podejrzewane o rakotwórcze działanie	A3 Potwierdzona rakotwórczość na zwierzętach nieznany wpływ na ludzi
Związki bizmutu Bi	G4 Prawdopodobnie nie są rakotwórcze dla ludzi	A5 Podgrupa związków, które nie są podejrzane o rakotwórcze działanie dla ludzi

Wyniki badań dotyczących kancerogenności tlenku antymonu(III) wskazują na możliwość wystąpienia ryzyka rozwoju chorób nowotworowych. Dane literaturowe wskazują, że w przypadku osób narażonych na kontakt ze związkami antymonu w postaci pyłów zwiększa się ryzyko wystąpienia chorób układu oddechowego przy długotrwałej ekspozycji (co najmniej kilka lat). Badania Health Canada sugerują, że Sb_2O_3 może być założkiem rakotwórczym ale nie powoduje uszkodzenia struktury DNA. Nie ma dowodów, które wskazywałyby na powiązanie wpływu tlenku antymonu(III) z powstawaniem innych typów nowotworów niż rak płuc [11]. W obu klasyfikacjach znajdują się wpisy dotyczące jedynie stopnia kancerogenności związków antymonu, co może wskazywać na brak dostatecznej wiedzy na temat kancerogenności tego półmetalu w postaci pierwiastkowej.

Tlenki ołowi klasyfikowane są według IARC jako silnie rakotwórcze (G2A) w porównaniu do tlenków antymonu (G2B). Według ACGIH tlenki ołowi są czynnikiem rakotwórczym u zwierząt (A3). Ołów jest uznawany za czynnik rakotwórczy na podstawie danych zebranych z doświadczeń na zwierzętach, które wykazały jego kancerogenne działanie oraz szeroki wachlarz chorób nowotworowych, które wywołuje. Przeprowadzono 20 niezależnych badań, które wykazały, że doustna ekspozycja na niektóre rozpuszczalne związki ołowi, wywołuje guzy w nerkach i mózgu szczurów oraz myszy [11]. Interakcje związków ołowi w organizmie mogą prowadzić do uszkodzeń struktury DNA [7]. Rakotwórcze działanie wykazuje także ołów w postaci pierwiastkowej.

Według Bismuth Institute Information Center wszystkie związki bizmutu są uważane za bezpieczne gdyż nie są toksyczne i rakotwórcze [9]. Mechanizm, odpowiedzialny za powstawanie toksyczności bizmutu nie został rozpoznany. Badania prowadzone na zwierzętach nie wykazały korelacji pomiędzy rozwojem nowotworów, a ekspozycją na związki bizmutu [11].

6. Analiza elementarna produktów spalania wybranych mieszanin pirotechnicznych

W celu oceny ilościowej i jakościowej produktów spalania mas pirotechnicznych wykonano badanie za pomocą fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii (EDXRF) [3]. Wykorzystano w tym celu spektrometr EDXRF, Epsilon 3 firmy Malvern PANalytica. Badaniu poddano trzy próbki spalonej masy: antymonowej 4,0A, bizmutowej 4,0B oraz ołowianej Pb45. Przygotowanie próbek polegało na spaleniu niewielkiej ilości masy pirotechnicznej w zamkniętej objętości tak aby produkty gazowe nie wydostały się poza pojemnik z próbką. Wyniki badań EDXRF spalonej próbki produkcyjnej masy pirotechnicznej Pb45 przedstawiono w tab. 7.

Tab. 7. Wyniki analizy EDXRF spalonej próbki Pb45 [2]

Pierwiastek	Symbol	Jednostka	Analiza 1	Analiza 2	Średnia
Ołów	Pb	%	49,425	49,569	49,497
Krzem	Si	%	48,444	48,354	48,399
Chlor	Cl	%	0,505	0,446	0,476
Aluminium	Al	%	0,402	0,395	0,399
Żelazo	Fe	%	0,334	0,337	0,336
Wapń	Ca	%	0,253	0,257	0,255
Fosfor	P	%	0,236	0,240	0,238
Srebro	Ag	%	0,152	0,152	0,152
Pierwiastki śladowe		%	0,249	0,249	0,249

Pierwiastki śladowe: rtęć (Hg), cyna (Sn), antymon (Sb), kadm (Cd), tellur (Te), tytan (Ti), cyrkon (Zr), chrom (Cr), mangan (Mn), miedź (Cu)

Wykryta w próbce ilość ołowi 49,497% odpowiada stochiometrycznie 54,591% zawartości tlenku diołowi(II) ołowi(IV). W próbce stwierdzono podwyższone ilości chloru – 0,476%, aluminium – 0,399%, żelaza – 0,336%, wapnia – 0,255%, fosforu – 0,238%, srebra – 0,152%. Składniki te stanowiły około 1,855% wagowych próbki. Wykryto także szereg pierwiastków śladowych, których udział mieści się w przedziale 43,7-500,7 ppm tj. rtęć, cyna, antymon, kadm, tellur, tytan, cyrkon, chrom, mangan i miedź. Wagowo stanowiły one około 0,249% próbki. Wyniki analizy pierwiastkowej spalonej próbki masy 4,0A wykonanej za pomocą spektrometru EDXRF przedstawiono w tab. 8.

Tab. 8. Wyniki analizy EDXRF spalonej próbki 4,0A [2]

Pierwiastek	Symbol	Jednostka	Analiza 1	Analiza 2	Średnia
Antymon	Sb	%	50,567	50,444	51,289
Krzem	Si	%	46,728	46,834	46,081
Srebro	Ag	%	1,146	1,098	1,122
Żelazo	Fe	%	1,259	1,248	1,254
Aluminium	Al	%	0,217	0,204	0,211
Fosfor	P	%	0,176	0,156	0,166
Pierwiastki śladowe		%	0,045	0,043	0,044

Pierwiastki śladowe: chrom (Cr), ołów (Pb), arsen (As)

Ilość wykrytego antymonu po przeliczeniu na tlenek antymonu(III) wynosiła około 60,532% Sb₂O₃. Poza głównymi pierwiastkami zawartymi w paliwie i utleniaczu

wykryto około 1,122% srebra, 1,254% żelaza oraz mniejsze ilości aluminium 0,211% a także fosforu 0,166%. Składniki te stanowiły około 2,752% wagowych próbki. Z pierwiastków śladowych wykryto widma energetyczne chromu, ołowiów oraz arsenu. Ich koncentracje mieściły się w przedziale 132,90-161,25 ppm, a całociowy procentowy udział w próbce wynosił około 0,044% wagowych. Wyniki badań środowiskowych spalonej masy 4,0B wykonanych za pomocą spektrometru EDXRF przedstawiono w tab. 9.

Tab. 9. Wyniki analizy EDXRF spalonej próbki 4,0B [2]

Pierwiastek	Symbol	Jednostka	Analiza 1	Analiza 2	Średnia
Bizmut	Bi	%	53,736	54,109	53,923
Krzem	Si	%	44,361	43,973	44,167
Żelazo	Fe	%	0,871	0,871	0,871
Aluminium	Al	%	0,262	0,273	0,268
Fosfor	P	%	0,250	0,254	0,252
Wapń	Ca	%	0,188	0,186	0,187
Srebro	Ag	%	0,158	0,159	0,159
Pierwiastki śladowe		%	0,175	0,174	0,175

Pierwiastki śladowe: Tal (Tl), Iryd (Ir), Rubid (Rb), Chrom (Cr), Jod (I), Mangan (Mn), Tytan (Ti), Rod (Rh), Miedź (Cu), Cynk (Zn)

Analiza EDXRF wykazała średnią zawartość 53,923% bizmutu w próbce spalonego popiołu. Po przeliczeniu stochiometrycznym na tlenek uzyskano zawartość 59,910% tlenku bizmutu(III). Poza głównymi pierwiastkami stanowiącymi około 98,090% procent wagowych próbki wykryto podwyższone ilości: żelaza – 0,871%, aluminium – 0,268%, fosforu – 0,252%, wapnia – 0,187% oraz srebra – 0,159%. Składniki te stanowiły 1,736% wagowych próbki. Zidentyfikowano także widma następujących pierwiastków: tal, iryd, rubid, chrom, jod, mangan, tytan, rod, miedź, cynk. Analiza ilościowa wskazała na zawartości tych składników na poziomie 6,2-465 ppm, a ich całkowita zawartość stanowiła ok. 0,175% wagowych próbki.

7. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona ocena literaturowa wskaźników toksyczności wykonana dla układów pirotechnicznych: Si-Sb₂O₃, Si-Bi₂O₃ oraz Si-Pb₃O₄ wykazała, że utleniacze na bazie związków antymonu i bizmutu stosowane do produkcji mas pirotechnicznych wykazują niższą szkodliwość dla organizmów żywych w porównaniu do obecnie wykorzystywanych tlenków ołowiów. Także produkty spalania mieszanin pirotechnicznych zawierających tlenek antymonu(III) oraz tlenek bizmutu(III) są mniej szkodliwe dla ludzi i zwierząt w porównaniu produktów powstałych w wyniku spalania mas ołowianych.

Analiza danych literaturowych dotyczących poziomu rakotwórczości pozwala wnioskować, że kancerogenność związków antymonu pomimo pewnych niejednoznaczności w badaniach jest wyraźnie niższa w porównaniu do związków ołowiów. Nie wykazano by związki tego półmetalu oddziaływały mutagennie na ludzi. Kancerogenność związków ołowiów została udowodniona w badaniach na zwierzętach. Długotrwała ekspozycja na tego typu związki może być powiązana ze zwiększoną

ryzykiem wystąpienia nowotworów mózgu, nerek i wątroby. Związki ołowiowe mogą oddziaływać mutagenicznie na ludzi uszkadzając strukturę DNA. Badania jednoznacznie potwierdzają, że związki bizmutu nie oddziałują kancerogennie ani mutagenicznie na ludzi.

Wykonane analizy EDXRF potwierdziły niekorzystny profil produktów spalania mieszaniny Pb45 w porównaniu do wartości uzyskanych dla próbek 4,0A oraz 4,0B. Ponadto tło chemiczne pierwiastków śladowych było wyraźnie wyższe w przypadku popiołów spalonej pirotechnicznej mieszaniny produkcyjnej w porównaniu do pozostałych próbek pomimo, że do produkcji wszystkich układów stosowano odczynniki o takiej samej klasie czystości.

Proponowane utleniacze oparte na związkach antymonu oraz bizmutu, a także wytwarzane z nich mieszaniny pirotechniczne spełniają założenia „zielonej chemii” i mogą w przyszłości stanowić ekologiczną alternatywę dla produkowanych obecnie mas opóźniających opartych na związkach ołowiowych.

8. Bibliografia

- [1] Anastas P. T., Warner J. C. 1998. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, Nowy Jork.
- [2] Barański K. 2019. *Analiza możliwości zastosowania "zielonych" mas pirotechnicznych w konstrukcjach zapalników MW*. Wydział Górnictwa i Geoinżynierii. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie - praca doktorska (niepublikowana).
- [3] Brouwer P. 2010. *Spektroskopia XRF: wprowadzenie do podstawowych zagadnień*. PANalytical B. V., cop., Almelo (Holandia).
- [4] Conkling J. 1985. *Chemistry of Pyrotechnics*. Marcel Dekker Inc, Nowy Jork.
- [5] Conkling J., Mocella C. J. 2010. *Chemistry of Pyrotechnic Basic Principles and Theory*. CRC Press, Boca Raton (Stany Zjednoczone).
- [6] Cybulski W., Krzysztolik P. 1970. *Strzelanie elektryczne w górnictwie*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
- [7] Gunnar F. N., Bruce A. F., Nordberg M. 2015. *Handbook on the Toxicology of Metals*, 4th Edition, Academic Press, Cambridge (Stany Zjednoczone).
- [8] Manahan S. E. 2003. *Toxicological chemistry and biochemistry*. Lewis Publishers, Waszyngton.
- [9] Raymond D. H., Marie M. B., Giffe T. J. 2015. *Hamilton and Hardy's Industrial Toxicology*. 6th Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [10] Szydłowski A. 1957. *Podstawy pirotechniki*. Wydawnictwo Obrony Narodowej, Warszawa.
- [11] Wexler P., Anderson B. D. 2014. *Encyclopedia of Toxicology*. 3rd Edition, Academic Press, Oakland (Stany Zjednoczone).
- [12] Wojewódka A. 2014. *Decysekundowe masy opóźniające*. Monografia Politechnika Śląska, Współpraca wydawnicza Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, Gliwice.

- [13] 2001/59/EC, Dyrektywa Komisji Europejskiej [Dostęp 8.03.2020]:
ec.europa.eu/assets/near/neighbourhood-enlargement/ccvista/pl/32001l0059-pl.doc
- [14] Dz. U. 2002 nr 117, poz. 1007. *Ustawa z dnia 21 czerwca 2002 roku o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego.*
Akt jednolity: Dz.U. 2019 poz. 45. [Dostęp 14.01.2020]:
<http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20021171007>
- [15] Dz. U. 2009 nr 43 poz. 353. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 5 marca 2009 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji i preparatów chemicznych* [Dostęp 8.03.2020]:
<http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20090430353>
- [16] <http://nff.no/wp-content/uploads/2016/03/Initiation-Systems.pdf>
Strona Internetowa projektu ESSEEM Stands for European Shotfirer Standard Education for Enhanced Mobility - prezentacja firmy Orica Mining Service.
[Dostęp 12.01.2020]
- [17] <https://publicsafety.tufts.edu/ehs/files/carcinogens.pdf>
Strona Internetowa Uniwersytetu w Tufts (USA) Carcinogens table: OSHA, IARC, NTP, ACGIH. [Dostęp 8.03.2029]
- [18] <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/> - Strona Internetowa Międzynarodowej Organizacji do Badań nad Rakiem (ang. IARC) - klasyfikacja kancerogenności. [Dostęp 8.03.2020]

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-saletrzanych 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-saletrzane. 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 zwiększone poprzez dodatek organicznych składników palnych oraz pyłów aluminiowych o różnej strukturze i stopniu rozdrobnienia.

Pierwszym typem amonowo-saletrzanych materiałów wybuchowych zawierających pył aluminiowy były opatentowane przez R. Escalesa 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 nadtlenku wodoru (MW-HP).

Jednym z podstawowych parametrów MW jest prędkość detonacji, której wartość decyduje o zakresie zastosowania danego materiału wybuchowego. W przypadku aluminiowanych 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 wodooodporności oraz niskie parametry detonacyjne, co zawęża ich zakres stosowania do suchych otworów strzałowych i urabiania skał małożwiędzych. 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 saletrolu zawierających pył aluminiowy płatkowany [3]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Skład [%]									
- Saleta 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 saletrolu zawierających pył aluminiowy rozpylany [3]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Skład [%]									
- Saleta 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 saletrolu 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

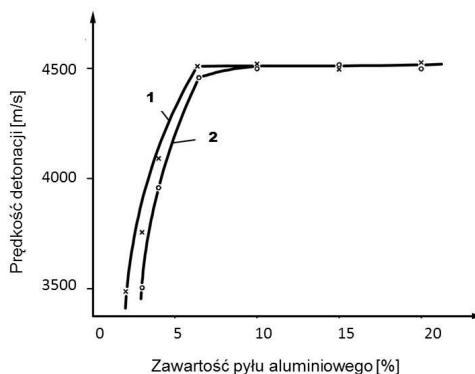
Tabela 3. Składy i prędkości detonacji aluminizowanych saletrolí zawierających saletry amonowe o podwyższonej chlonności oleju [4]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Skład [%]										
- Saleta amonowa SA-1	95	-	92	90	-	-	92	90	-	-
- Saleta amonowa SA-2	-	95	-	-	92	90	-	-	92	90
- Pył aluminiowy płatkowany	-	-	3	5	3	5	-	-	-	-
- Pył aluminiowy rozpylany	-	-	-	-	-	-	3	5	3	5
- Olej	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pędkość 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 aluminiowego 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 zawiesinowe

Saletrole oprócz takich zalet jak prosta metoda produkcji oraz mała wrażliwość na bodźce mechaniczne, umożliwiająca 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 zawiesinowych (MWZ). MWZ były pierwszym amonowo-saletrzonym 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 aluminiowy płatkowany (MWZ-Al). Na rys. 1 przedstawiono wyniki badań prędkości detonacji MWZ-Al zawierających różne ilości pyłu aluminiowego płatkowanego. Pomiary prowadzono w rurach stalowych 36,2/42,4 mm.

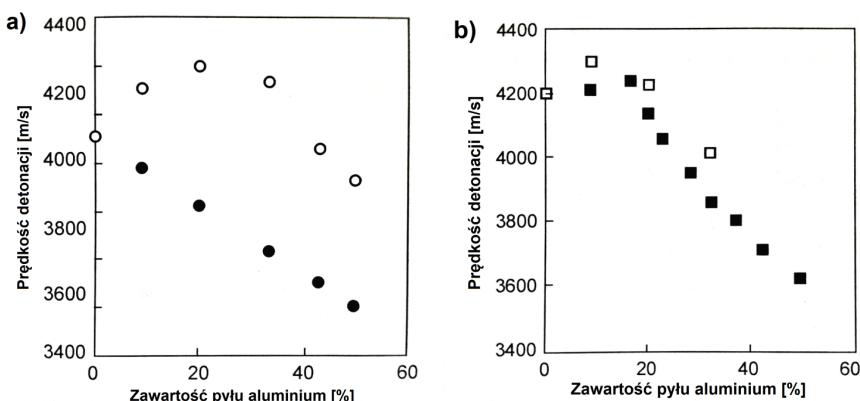


Rys. 1. Zależność prędkości detonacji MWZ-Al od zawartości pyłu aluminiowego, stężenie wody: 1 – 20%, 2 – 30%

Jak wynika z danych przedstawionych na rys. 1 prędkości detonacji MWZAl od zawartości pyłu aluminiowego są wyższe niż aluminiowanych saletrolí. Wynika to między innymi z wyższych gęstości MWZ-Al. Przez pewien okres materiały wybuchowe zawiesinowe 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 znajdują się kartach informacyjnych wymienionych powyżej producentów zestawione 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
Pędkość detonacji [m/s]	4500	>4800	5500
Zakres stosowania [°C]	5-50	-	-20-+50
Inicjał	Pobudzacz APB lub nabój MWE	Zapalnik, masa PETN 0,6 g	-
Minimalna średnica otworu strzałowego [mm]	70	36	-

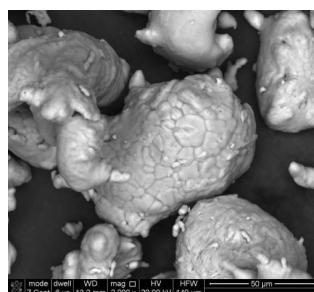
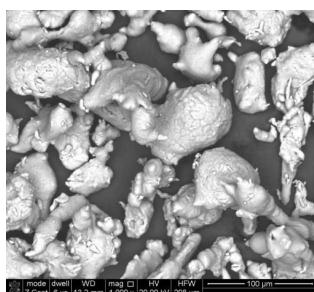
Producent: 1 – Austin Powder Polska Sp. z o.o., 2 – Nitroerg Sp. z o.o.

3. Część doświadczalna

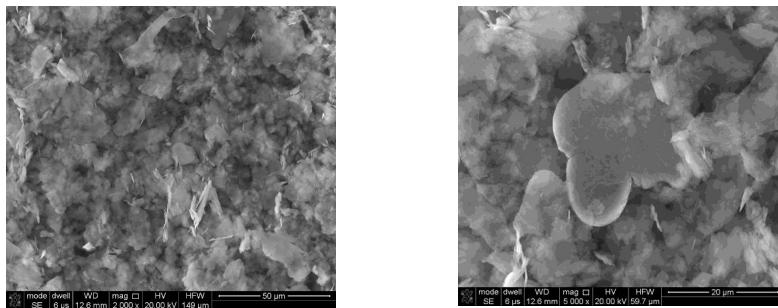
3.1. Charakterystyka użytych surowców i metodyka przygotowania próbek do badań

Badane w pracy mieszaniny wybuchowe są układami kilkoskładnikowymi. Jak inne górnicze zawierają utleniacze (stężony roztwór nadtlenku wodoru i azotan(V) amonu) i składniki palne (glyceryna 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 mieszalниku umieszczało się najpierw 52% wodny roztwór nadtlenku 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 mieszaną w mieszalniku planetarnym do równomiernego zdyspergowania pyłu aluminiowego oraz uczulacza (prowadziła 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 pobudzacz 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 pobudzaczem (rys. 7c).



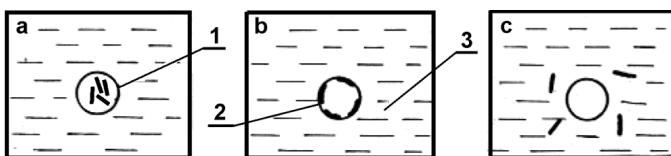
Rys. 7. Kolejne fazy przygotowywania ładunków do pomiaru prędkości detonacji

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/cm³]	Prędkość detonacji [m/s]
-	0	1,10	5130
Rozpylany	5	1,13	5170
	10	1,14	5220
	15	1,18	5360
	5	0,99	3870
Płatkowany	10	0,87	3830
	15	0,85	4350

Przeprowadzone badania prędkości detonacji nowej generacji materiałów wybuchowych, jakimi są mieszaniny zawierające jako utleniacz stężony roztwór nadtlenku 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 wyjaśnieniem może być różnica w strukturze ładunku zaobserwowana dla materiałów wybuchowych zawiesinowych 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 nadtlenku wodoru. Im jest większe, tym wyższa jest prędkość detonacji, ponieważ woda odgrywa rolę składnika teksturowórczego, 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 saletrolu zawierających saletrę amonową o niskiej porowatości*, Górnictwo Odkrywkowe, 1999, 41(4-5), 123-13.
- [4] Gałuszowski D., Maranda A., Nowaczewski J., Papliński A., *Badanie parametrów detonacyjnych aluminiowanych saletoli zawierających saletrę amonową 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., Владарчык 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] Giercuszkiewicz A., Paszula J., Maranda A., Nikołczuk K., *Badanie wpływu pyłu aluminiowego na wybrane parametry detonacyjne górniczych materiałów wybuchowych zawierających nadtlenek wodoru*, Conference Proc. 31th Conference Blasting Techniques 2019, Kongresowe centrum ACADEMIA Stara Lesna, 22-24 may 2019, 97-106.

Possibilities of using Si/Fe₂O₃ systems as a “green” delaying mass

Mateusz Polis*, **, Karolina Nikolczuk*, Tomasz Jarosz**

* Łukasiewicz Research Network - Institute of Industrial Organic Chemistry

Department in Krupski Młyn, Poland

** Silesian University of Technology, Faculty of Chemistry, Gliwice, Poland

mateusz.polis@ipo.waw.pl

Abstract:

In recent decades, there has been a strong tendency in the explosives industry to seek environmentally friendly materials, so-called “green explosives”.

This trend also includes pyrotechnic compositions. Previously used delaying masses, based on lead and chromium (VI) compounds, should be replaced with new ecofriendly compositions. This paper contains a brief overview of issues regarding delaying masses and the results of preliminary research on the composition of Si / Fe₂O₃.

Keyword: delay mass, pyrotechnics, “green” chemistry

Abstrakt:

W ostatnich latach, można zauważać silną tendencję w przemyśle materiałów wybuchowych, do poszukiwania przyjaznych środowisku materiałów, tak zwanych „green explosives”.

Ten trend dotyczy również kompozycji pirotechnicznych. Dotychczas używane masy opóźniające, bazujące na związkach ołowiu i chromu(VI), powinny być zastąpione nowymi przyjaznymi środowisku kompozycjami. Artykuł ten zawiera krótki przegląd zagadnień dotyczących mas opóźniających i wstępnych badań kompozycji Si / Fe₂O₃.

Słowa klucze: masy opóźniające, pirotechnika, “zielona chemia”

1. Wstęp.

W ostatnich dekadach, w wielu dziedzinach, można zauważać nasilanie tendencji związanych z ochroną środowiska. Zmiany te, obejmują również szeroko pojęty przemysł materiałów wybuchowych. Prowadzone są liczne badania związane m. in. z opracowaniem górniczych materiałów wybuchowych, opartych na mieszaninach organicznych i metalicznych paliw z nadtlenku wodoru [1], w miejsce mieszanin typu ANFO i MWE (które wypierają wcześniej stosowane materiały oparte na nitroestrach), opracowaniem paliw rakietowych bazujących utleniaczach, które nie generują w czasie spalania chlorowodoru, np. azotan(V) sodu czy fazowo stabilizowany azotan(V) amonu. Prowadzone są również badania mające na celu wyeliminowanie z konstrukcji zapalników warstwy materiału inicjującego, którym najczęściej jest azydek ołowiu(II) [2]. Należy wspomnieć tutaj o konstrukcjach zapalników typu NPED [3], solach tetrazoli z metalami przejściowymi, czy o wybuchowych związkach kompleksowych jako ewentualnych zamiennikach azydku ołowiu(II). W wypadku mieszanin opóźniających potrzeba ta jest szczególnie widoczna. W 2016 roku w Stanach zjednoczonych w przemyśle wydobywczym, inżynierskim i drogowym zużyto 32,7 miliona zapalników (w tym 76 [%] stanowiły zapalniki nieelektryczne, 15 [%] elektroniczne, 8 [%] elektryczne). W Polsce, w branży górniczej zużywa się rocznie około 10,7 miliona zapalników (z czego 55 [%] stanowiły zapalniki nieelektryczne) [4]. Najpopularniejsze obecnie pirotechniczne kompozycje opóźniające, często zawierają w swoim składzie związki ołowiu czy chromu. Flagowym przykładem jest kompozycja używana do produkcji zapalników, o opóźnieniu minisekundowym, o składzie Si/Pb_3O_4 . Prowadzone są badania, nad szeregiem bardziej przyjaznych środowisku kompozycji pirotechnicznych. W pracy [5] autorzy wymieniają m. in. kompozycje oparte na tlenku antymonu(III), tlenku bizmutu(III), tlenku manganu(IV), azotanie strontu(IV), tlenku tytanu(IV), nadtlenku baru(II) czy tlenku żelaza(III). W pracy, skupiono się na analizie doniesień dotyczących właściwości i parametrów pirotechnicznej kompozycji opóźniającej składającej się z krzemiu jako paliwa i tlenku żelaza(III) w roli utleniacza. Masa ta, składa się z bezpiecznych i nietoksycznych surowców. Również produkty jej spalania, nie przedstawiają zagrożenia zarówno dla człowieka, jak i dla środowiska wg. klasyfikacji bazującej na pozycji [6].

2. Masy opóźniające.

Pirotechniczne kompozycje opóźniające mają za zadanie zapewnić pewien ściśle określony czas zwłoki od momentu zainicjowania, poprzez spalanie się z stałą dla danej masy prędkością. W celu zapewnienia tej właściwości, powinny cechować się [7, 8]:

- Generowaniem możliwie jak najmniejszej liczby produktów gazowych. Za masy małogazowe, nazywane również termitywnymi uznaje się masy generujące mniej niż 10-20 [cm^3] gazów z każdego grama paliwa. Jest to jeden z najważniejszych parametrów, ze względu na wpływ ciśnienia na prędkość spalania,
- Wysoką powtarzalnością parametrów wewnętrz i pomiędzy seriami produkcyjnymi,
- Nie reagować z pozostałymi składnikami łańcucha ogniwego i materiałem opóźniacza,

- Zapewnić maksymalną pewność zadziałania, przy jak najwyższym możliwym do zapewnienia poziomie bezpieczeństwa,
- Ujemnym lub neutralnym bilansem tlenowym,
- Niewielką zależność prędkości palenia od temperatury i ciśnienia,
- Brakiem zdolności do detonacji lub gwałtownej deflagracji,
- Międzystopniowym czasem palenia mniejszym niż 40, % interwału międzystopniowego.

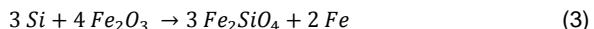
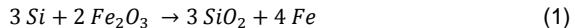
Wśród najważniejszych parametrów, wpływających na proces spalania kompozycji pirotechnicznej należy wymienić [7, 9-12]:

- Temperaturę,
- Ciśnienie,
- Materiał elementu opóźniającego,
- Geometrię elementu opóźniającego,
- Właściwości surowców, ich rozdrobnienie oraz czystość,
- Gęstości ładunku i ciśnienie zaprasowania,
- Homogenizację,
- Kinetykę reakcji spalania.

3. Kompozycja opóźniająca Si/Fe_2O_3 .

3.1. Analiza literaturowa.

Kompozycja została po raz pierwszy wspomniana w patentie [13]. Kompozycja ta, została opisana m.in. w pozycjach [5, 14-16]. Najważniejsze reakcje zachodzące w układzie przedstawiono poniżej [14, 15, 17].



Autorzy [15] na podstawie badań XRD sugerują że reakcje (1) i (3) mogą przebiegać jednocześnie, lub jako jedna reakcja (4).



W pracy [15] przeanalizowano wpływ składu, ciśnienia prasowania oraz rozdrobnienia surowców na parametry kompozycji pirotechnicznej. Do badań zastosowano krzem o średnim rozmiarze cząsteczek 3,4 [μm], powierzchni właściwej 9,9 [m^2/g] i czystości 97 [%]. Zastosowany tlenek żelaza, cechował się średnim rozmiarem cząstek równym 0,4 [μm], powierzchnią właściwą 15,2 [m^2/g] i czystością 99,8 [%]. Mieszaniny przygotowywano przez uprzednie przesianie składników przez sito o rozmiarze oczka <53 [μm], a następnie przecierano przez sito o rozmiarze oczka <75 [μm] do uzyskania jednolitej kompozycji.

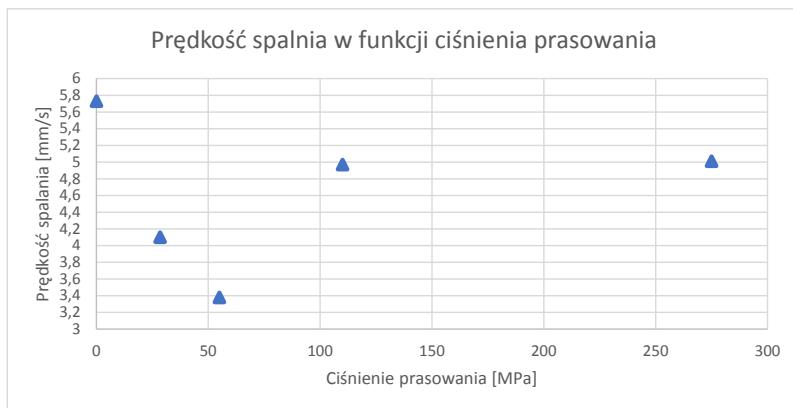
Uzyskane kompozycje były elaborowane do kolumn wykonanych z stali nierdzewnej o średnicy 6×1 [mm] i długości 30 [mm]. Jako kompozycję zapłonową stosowano mieszaninę $Mn/KMnO_4$ w stosunku masowym 50:50 lub kompozycję Si/Pb_3O_4 o 20 [%] zawartości krzemu. Uzyskane przez autorów czasy spalania dla kompozycji prasowanych ciśnieniem 55 [MPa] przedstawiono na poniższym wykresie:



Rys. 1. Prędkość spalania w funkcji udziału masowego krzemu [15].

Autorzy zarejestrowali również profile temperaturowe dla kolejnych składów kompozycji. Maksymalna temperatura reakcji wyniosła 1253 [$^{\circ}$ C], dla 30 [%] zawartości krzemu w kompozycji. Najniższa zarejestrowana wartość temperatury wyniosła 1150 [$^{\circ}$ C] dla 40 [%] zawartości krzemu. Wyznaczona za pomocą badania w bombie kalorymetrycznej entalpia reakcji mieszaniny, wyniosła od 1,91 [kJ/g] dla 20 [%] zawartości krzemu, do 1,64 [kJ/g] dla 40 [%] zawartości krzemu. Jako że temperatura reakcji jest niższa niż temperatury topnienia jej składników (dla krzemu 1410 [$^{\circ}$ C], dla tlenku żelaza(III) 1565 [$^{\circ}$ C]) i głównych produktów (dla żelaza 1535 [$^{\circ}$ C] i dla tlenku krzemu(IV) 1610 [$^{\circ}$ C]), można wysnuć wniosek, że znaczna część reakcji spalania zachodzi w fazie stałej. Jednak przebieg profili temperaturowych świadczy o dalszym zachodzeniu procesów egzotermicznych. Autorzy sugerują, że może to mieć związek również z zestalaniem się stałych produktów reakcji. Stwierdzają oni również, że w przypadku obecności wśród produktów FeO , możliwe jest pojawienie się mieszaniny eutektycznej w temperaturze około 1170 [$^{\circ}$ C]. Obecność wśród produktów Fe_2SiO_4 potwierdzona techniką XRD (o temperaturze topnienia około 1200 [$^{\circ}$ C]), wskazuje na jego rolę w tworzeniu fazy ciekłej. Badania SEM oraz XRD produktów reakcji potwierdzają powstawanie rozległych zestalonych stopów.

Autorzy przeprowadzili również badania dotyczące wpływu ciśnienia prasowania na prędkość spalania kompozycji zawierającej 35 [%] krzemu. Możemy zauważać początkowy spadek prędkości spalania, a powyżej pewnej wartości wzrost. Związane jest to najprawdopodobniej, z wzrostem gęstości mieszaniny i dalej poprawą kontaktu składników, który jest kluczowym parametrem dla reakcji przebiegającej w głównie fazie stałej.



Rys. 2. Prędkość spalania w funkcji ciśnienia prasowania [15].

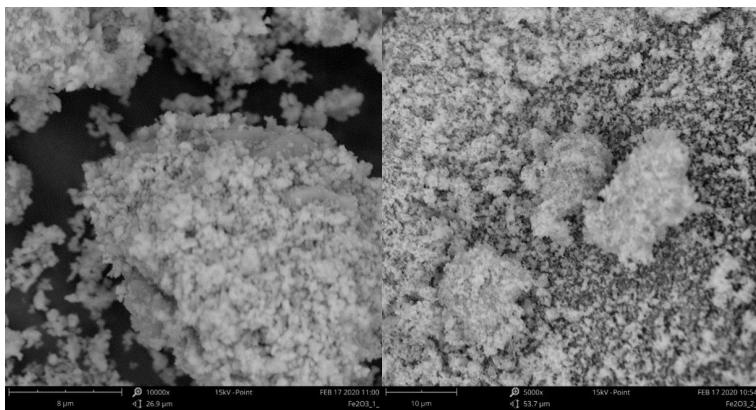
Przeanalizowano również wpływ rozdrobnienia i powierzchni właściwej krzemu na prędkość spalania kompozycji. Jak można zauważyć, zmiany te są dość niewielkie. Przykładowo dla kompozycji $Sb/KMnO_4$, dwukrotne zmniejszenie średniej wielkości ziaren paliwa (z 9 [μm] do 3 [μm]), a więc również zwiększenie rozwinięcia powierzchni właściwej, przyśpieszyło prędkość spalania dwukrotnie [7].



Rys. 3. Prędkość spalania w funkcji powierzchni właściwej paliwa [15].

3.2. Badania wstępne.

Do badań wyselekcjonowano tlenek żelaza(III) cz.d.a. o czystości co najmniej 96 [%] wyprodukowany przez firmę Chempur oraz krzem o rozmiarze ziarna <40 [μm] zakupiony w firmie Selkat o czystości, co najmniej 98,5 [%]. Poniżej zaprezentowano zdjęcia tlenku żelaza(III), wykonane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Jak można zauważyć, o ile tlenek żelaza(III) charakteryzuje się dość drobnym rozdrobnieniem, widoczne jest tworzenie się sporych rozmiarów aglomeratów z zlepionych cząstek.



Rys. 3(a). Fotografia SEM Fe_2O_3

Rys. 3(b). Fotografia SEM Fe_2O_3

Próbki przygotowywano wg. następującej metodyki. Surowce po suszeniu w temperaturze 80 ± 1 [°C] przez 3 godziny, przesiano przez sito o rozmiarze oczka 53 [μm] i odrzucono nadziarno. Następnie odważono naważki surowców odpowiadające konkretnym kompozycjom i suszono je przez godzinę w analogicznych jak poprzednio warunkach. Kompozycje były następnie mieszane przez przecieranie przez sito o rozmiarze oczka 53 [μm] do homogenizacji mieszaniny. Otrzymane mieszaniny spalano na płycie ceramicznej, w celu wstępnego określenia sposobu zapłonu. Zauważono długotrwałe (ok. 2-3 [s]) żarzenie się mieszaniny po przejściu frontu spalania. Najprawdopodobniej jest to związane z dalszym zachodzeniem reakcji egzotermicznych, co zgadza się z wnioskami opartymi na analizie termicznej przeprowadzonej w pracy [15].

Następnie wymieszane kompozycje po podsuszeniu w analogicznych do poprzednich warunkach i ostudzeniu granulowano dodając 0,2 [%] masowego nitrocelulozy w postaci 5 [%] roztworu w octanie etylu (produkcji Avantor, cz.d.a.). Kompozycje mieszano do uzyskania jednolitej masy, przecierano przez sito o rozmiarze oczka 1,00 mm i po wysuszeniu prasowano ciśnieniem 35 [MPa]. Otrzymane pastylki kruszono na sitach i do dalszych badań skierowano frakcję o rozmiarze mieszczącej się w zakresie 0,3 – 0,5 [mm]. Zgranulowaną kompozycję elaborowano do cylindrycznych tulejek wykonanych z stopu cynku, z dodatkiem aluminium (tzw. znal) o średnicy $3,2 \times 1,57$ [mm] i długości 22 [mm]. Następnie prasowano kolejne serie ciśnieniem 70, 100, 140 oraz 200 [MPa] za pomocą prasy hydraulicznej. Jako masy przekaźnikowej użyto mieszaniny $Sb/KMnO_4$ w stosunku masowym 50:50, lub mieszaniny Si/Pb_3O_4 w stosunku masowym 50:50. Obie te kompozycje, były granulowane z dodatkiem nitrocelulozy. Masę przekaźnikową wprowadzono na podstawie wstępnych testów, które wykazały brak zapłonu od główka zapalczej i lontu prochowego. Zaplon inicjowano, za pomocą główka zapalczej. Dla każdej kompozycji wykonano 5 prób spalania. Nie uzyskano zapłonu żadnej z kompozycji.

4. Wnioski.

Badania zostały przeprowadzone dla kompozycji przygotowanych z surowców o rozdrobnieniu mikrometrycznym. W pracy [15] użyty tlenek żelaza(III), charakteryzował się średnim rozmiarem cząstek na poziomie 400 [nm], wysoką powierzchnią właściwą oraz czystością. Negatywny wynik badań mógł wynikać z zbyt dużej wielkości cząstek surowców, obecności zanieczyszczeń. Należy zwrócić również uwagę na tworzenie się aglomeratów tlenku żelaza(III). W badaniach stosowano tulejki o dużej grubości ścianki i niewielkim przekroju poprzecznym w stosunku do próbek opisanych w pracy [15]. Autorzy pracy, [5] zalecają stosowanie elementów opóźniających o średnicy większej niż 6 [mm] dla kompozycji o prędkościach spalania niższych niż 25 [mm/s]. Istnieje również ryzyko nieodpowiedniego doboru procesu i czasu mieszania do badanej kompozycji. Celowym jest wykonanie dalszych badań, m.in. stosując surowce o większym rozdrobnieniu, dla większych średnic elementów opóźniających oraz również dla niższych ciśnień prasowania. Należy przeanalizować parametry kompozycji stosując nanometryczny tlenek żelaza. Analizując literaturę zasadne jest również domieszkianie kompozycji za pomocą topników [18] i stosowanie mieszaniny utleniaczy. Mieszaniny zawierające dodatkowy utleniacz zostały opisane w pracach [14], [16], [19] i cechują się one większymi prędkościami spalania, co przekłada się również na większą stabilność procesu spalania. Sama kompozycja Si/Fe_2O_3 , może znaleźć przemysłowe zastosowanie jako wolnopalna kompozycja opóźniająca. Zarówno produkty jej spalania, same składniki i technologia ich uzyskiwania są nieszkodliwe tak dla środowiska, jak i dla człowieka. Należy mieć jednak na uwadze, że ewentualne nanometryczne surowce są dość drogie, a ich uzyskanie wymaga długotrwałych, wysokoenergetycznych procesów mielenia [20] lub dedykowanych procesów produkcji [21].

5. Literatura

- [1] K. Nikolczuk, Z. Wilk, B. Florczak, A. Maranda, *Materiały wybuchowe na bazie nadtlenku wodoru*. Przemysł Chemiczny, 2017, 11, 2305-2311.
- [2] K. D. Oyler, *Green Primary Explosives*. Green Energetic Materials, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2014, 103–132.
- [3] M. Held, *Testing the Precision Initiation Coupler*. Propellants Explos. Pyrotech., 1994, 4, 187-191.
- [4] K. Barański, *Analiza możliwości zastosowania "zielonych" mas pirotechnicznych w konstrukcji zapalników MW*. Praca doktorska, AGH, 2019.
- [5] W. W. Focke, S. M. Tichapondwa, Y. C. Montgomery, J. M. Grobler, M. L. Kalombo, *Review of Gasless Pyrotechnic Time Delays*. Propellants Explos. Pyrotech., 2019, 1, 55-93.
- [6] Dz. U. 2009 nr 43 poz 353.
- [7] A. Wojewódka, *Decysekundowe masy opóźniające: monografia*. Politechnika Śląska i Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, Gliwice, 2014.
- [8] R. Warchał i M. Nita, *Mieszaniny pirotechniczne stosowane w pirotechnicznych układach opóźniających środków bojowych*, Problemy techniki uzbrojenia, 2014, 3, 57-66
- [9] A. Szydłowski, *Podstawy pirotechniki*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1957

- [10] R. Warchoł, M. Nita, i R. Bazela, *Czynniki wpływające na parametry pracy pirotechnicznych układów opóźniających*, Problemy techniki uzbrojenia, 2016, 4, 87-106.
- [11] D. Smoleński, *Spalanie materiałów wybuchowych*. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1979.
- [12] P. W. Atkins, D. Jamróz, *Chemia fizyczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.
- [13] H. Goldschmidt, *patent amerykański*, US875345, październik 10, 1907.
- [14] I. M. M. Ricco, *Alternative oxidants and processing procedures for pyrotechnic time delays*, M. Eng. Thesis, University of Pretoria, Pretoria, 2004.
- [15] R. A. Rugunanan , M. E. Brown, *Combustion of Binary and Ternary Silicon/Oxidant Pyrotechnic Systems, Part I: Binary Systems with Fe2O3 and SnO2 as Oxidants*. Combustion Science and Technology, 1993, 95, 61-83.
- [16] R. A. Rugunanan, M. E. Brown, *Combustion of Binary and Ternary Silicon/Oxidant Pyrotechnic Systems, Part IV: Kinetic Aspects*. Combustion Science and Technology, 1993, 95, 117-138.
- [17] L. L. Wang, Z. A. Munir, Y. M. Maximov, *Thermite reactions: their utilization in the synthesis and processing of materials*. Journal of materials science, 1993, 14, 3693-3708.
- [18] M. W. Beck, J. Flanagan, *patent amerykański*, US5147476, sierpień 15, 1992.
- [19] R. Anil Rugunanan, M. E. Brown, *Combustion of Binary and Ternary Silicon/Oxidant Pyrotechnic Systems, Part III: Ternary Systems*. Combustion Science and Technology, 1993, 95, 101-115.
- [20] L.-L. Wang, J.-S. Jiang, *Preparation of α -Fe₂O₃ nanoparticles by high-energy ball milling*. Physica B: Condensed Matter, 2007, 390, 23-27.
- [21] Y. S. Kang, S. Risbud, J. F. Rabolt, P. Stroeve, *Synthesis and Characterization of Nanometer-Size Fe₃O₄ and γ -Fe₂O₃ Particles*. Chem. Mater., 1996, 8, 2209-2211.

Trhacia technika v študijných programoch na Fakulte BERG, Technickej univerzity v Košiciach.

Blasting technique in mining study programmes at Faculty BERG, Technical University of Košice.

Viliam BAUER

*Fakulta Baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach,
Ústav zemských zdrojov, Letná 9; Košice*

Abstrakt

Na Fakulte Baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií (F BERG), predtým aj na Baníckej fakulte Vysokej školy technickej (BF VŠT), bola problematika trhacích prác, výbuchových technológií a používania prostriedkov trhacej techniky, primárne prednášaná vo vysokoškolských vzdelávacích študijných odboroch a programoch, len na niektoré z odborných baníckych katedier. Táto zásada platila pravdepodobne aj na Baníckej akadémii v Banskej Štiavnici, aj keď o prednášaní postupov trhania skalných hornín s využitím strelného čierneho prachu, chýbajú konkrétné dôkazy. V priebehu uplynulých rokov sa obsah baníckych vzdelávacích študijných programov viackrát menil, spravidla vždy podľa toho, ako sa modifikoval príslušný odborný korpus baníckeho vzdelávania. Súčasne dochádzalo k podstatným zmenám v zostave jednotlivých baníckych predmetov, vrátane špeciálne vymedzeného odborného predmetu pre oblasť trhacích prác a trhacej techniky. Konkretizácia, spôsob a časový sled vynútených obmien realizovaných v danom študijnom predmete, zameranom na praktické využitie výbuchovej energie pri rozpojovaní hornín v rôznom technologickom prostredí, sú dominantným obsahom tohto príspevku.

1. Trhacie práce v banskej náuke odboroch na Baníckej akadémii v Banskej Štiavnici

Banská náuka a štúdium poznatkov prislúchajúcich baníckemu umeniu, majú v histórii baníckeho technického školstva na Slovensku bohatú a dlhoročnú tradíciu, a sú nviazané na vysokú školu Baníku akadémii v Banskej Štiavnici. V kontexte slovenského baníckeho technického vzdelávania je možné všímať si formy štúdia pri príprave a výchove odborných kádrov, so zvláštnym zreteľom na oblasť rozpojovania hornín trhacími prácami s využitím výbušní. Pri letmom chronologickom pohľade na systematické banícke školstvo v minulosti vidíme, že školou organizovaná banská náuka bola realizovaná hlavne na „baníckych katedrách“. Vôbec prvou katedrou s prí姓astkom „banícka“ bola *Katedra náuky o banských vedách*, založená v roku 1770 a odborne zameraná na baníctvo, banské právo, banskú správu a ekonomiku.¹

Odborná výchova a príprava pokračovala na v poradí druhej obnovenej „baníckej katedre“ až v roku 1812, keď začala pôsobiť *Katedra baníctva, banského meračstva a banského strojníctva*, ako spoločná katedra pre viaceré banské odbornosti. Prednášali sa predmety súvisiace s náukou o banských dielach s dôrazom na soľné baníctvo. Treťou katedrou v poradí bola *Katedra banskej prevádzky, meračstva, banského strojníctva a banského práva*, ktorá pôsobila v rokoch 1851 – 1870, a napriek rozšírenému záberu odborností sa predmety banskej náuky bližšie neprednášali. V rokoch 1871 – 1904 začala na akadémii pôsobiť v poradí štvrtá „banícka katedra“ - *Katedra baníctva a úpravníctva*, na ktorej sa v baníckom odbore prednášala banská náuka a úprava rúd a uhlia, ale už aj vŕtacie stroje využiteľné pri razení banských štôlní. Poslednou štiavnickou baníckou katedrou bola *Katedra baníctva* v rokoch 1904 – 1919, na ktorej sa profesori vo svojich prednáškach venovali jednotlivým oblastiam baníctva a banskej technike.¹

Z pôsobenia „baníckych katedier“ v ich jednotlivých historických obdobiach, hlavne v tých najstarších, nemáme doposiaľ spracované komplexné údaje, týkajúce sa obsahu odborných prednášok a skúšok v jednotlivých predmetoch. V prípade predmetu trhacie práce, pokiaľ už bol zaradený do zoznamu predmetov pre študijný odbor banská náuka resp. baníctvo, je situácia rovnaká. V súčasnosti môžeme len predpokladať, keďže boli znalosti o strelnom čiernom prachu v roku založenia prvej „katedry baníctva“ už dostatočne rozšírené, že v niektorom špeciálnom kurze sa prednášala aj problematika rozpojovania hornín s využitím čierneho pušného prachu. Aj keď niektoré indície naznačujú, že na „baníckych katedrách“ bolo prednášanie takého odborného predmetu možné, dôkazné potvrdenie nemáme k dispozícii. V preštudovaných dokumentoch sa nijaká zmienka o podobe predmetu „trhacie práce“ zatial neobjavila.

2. Predmet trhacie práce na Slovenskej vysokej škole technickej v Bratislave

Pri skúmaní možného zastúpenia prednášok z predmetu trhacie práce, v niektorom zo študijných programov v tzv. bratislavskom období Baníckej fakulty, je potrebné oprieť sa o niektoré údaje súvisiace so vznikom Slovenskej vysokej školy technickej v Bratislave, ktorá bola zriadená zákonom č. 188/39 Slov. zák. z. Výchovná a vzdelávacia činnosť v technických odboroch sa začala akademickým rokom 1941/1942, okrem iných aj na Odbore špeciálne náuky (OŠN), ktorý sa stal fundamentom budúcej Baníckej fakulty. V uvedenom roku sa na tomto odbore otvorilo aj *Oddelenie baníckeho inžinierstva* (OBI), ktoré začalo zabezpečovať štúdium baníctva podľa platnej študijnej osnovy a podľa zoznamu predpísaných predmetov. V podstate sa jednalo o skupinu skúšobných predmetov pre vykonanie štátnej skúšky a skupinu predmetov pre vykonanie prospechovej skúšky. Medzi týmito predmetmi však nie je uvedený žiadny predmet, súvisiaci s prednášaním problematiky trhacích prác.² Na Odbore špeciálnych náuk sa v školskom roku

1942/1943 po prvý krát otvoril druhý ročník, takže banícke štúdium bolo dvojročné a tento stav trval až do ukončenia školského roku 1949/1950. V roku 1950 sa OŠN zmenil na *Fakultu špeciálnych náuk (FŠN)*, na ktorej sa nadalej zachovalo Oddelenie baníckeho inžinierstva. Pri reorganizácii študijných osnov sa štúdium *baníckeho inžinierstva* postupne predlžovalo a od školského roku 1951/52, keď bola FŠN pretvorená na Banícku fakultu, trvalo štyri roky. So vznikom Baníckej fakulty na Slovenskej vyskej škole technickej v Bratislave, začala pôsobiť aj jedna z nových katedier, ktorá dostala názov Katedra baníctva. Z dostupného štatistického prehľadu vysokoškolských pedagogických pracovníkov bratislavskej fakulty nie je však možné vyhľadanie tých profesorov alebo docentov, ktorí sa vo svojej systematickej prednáškovej činnosti odborne venovali problematike trhacích prác. Teda tak ako aj v prípade štiavnického obdobia výchovy banských odborníkov, zostało z tohto hľadiska problémové aj tzv. bratislavské obdobie. Dopátrať sa odborného predmetu, ktorého obsahom boli trhacie práce a trhacia technika alebo problematika rozpojovania hornín, nie je jednoduché a pravdepodobne bude potrebné zvýšiť úsilie a príslušné písomnosti postupne vyhľadať. Úplne odlišná situácia nastala od akademického roku 1952/1953, keď na základe vládneho nariadenia č.130/1952 začala v Košiciach pôsobiť Vysoká škola technická, do ktorej bola organizačne začlenená aj Banícka fakulta Slovenskej vyskej školy technickej v Bratislave. Vlastne len od tohto obdobia je možné systematicky sledovať vývoj odbornosti zameranej na rozpojovanie hornín a materiálov s využitím výbuchových technológií. Pretože trhacia technika, metódy trhacích prác a výbuchové technológie predstavujú primárne najdôležitejšiu oblasť odborného baníckeho vzdelávania, je potrebné venovať skupine týchto predmetov zvýšenú pozornosť. Predovšetkým z dôvodu výnimočného postavenia procesu rozpojenia horniny metódou využitia energie výbuchu priemyselnej trhaviny, ktorý spolu s procesom vŕtania hornín, predstavuje jadrovú podstatu banskej činnosti a aj celého ťažobného priemyslu. Špeciálne sa však jedná o použitie výbuchových technológií a prostriedkov trhacej techniky v systémoch dobývania a razenia podzemných diel a tunelových rúr (teda horizontálnych tunelov rôzneho druhu), ktorým sa vysokoškolskí akademický odborníci začali venovať viac teoreticky až na košickej Baníckej fakulte VŠT v Košiciach.³ Po prestáhovaní bratislavskej Baníckej fakulty, pôsobiacej dovtedy na SVŠT, do Košíc v lete roku 1952, začalo sa na Baníckej fakulte VŠT v Košiciach (BF VŠT) v študijnom odbore *Hlbinné dobývanie ložísk* všeobecne ponímané štúdium baníctva.

- [1] Lichner, M. at all: *Osobnosti Banskej Štiavnice*. Vydalo štúdio Harmony,s.r.o. v edícii GENIUS LOCI, ISBN 80-89151-12-4; B.Bystrica, str. 111-116; 2006
- [2] Rybárik, P.: *História baníckeho vysokého školstva na území Slovenska*. Vydavateľstvo Stroffek, ISBN 80-88896-49-5; Košice, 2001
- [3] Bauer, V.: *Koncepcia výučby trhacích prác v systéme baníckeho vzdelávania*. Zborník konferencie Trhacia Technika 2016, Stará Lesná, Slovenské Vysoké Tatry, ISBN 978 – 80-970265 – 7-8;

3. Študijné programy a odborné predmety pre špecializáciu trhacie práce na Baníckej fakulte

V akademickom roku 1952/1953 sa naplno rozbehla systematická výučba a banícke technické vzdelávanie na novovytvorenej kmeňovej odbornej katedre s názvom - *Katedra baníctva*, ktorá zabezpečovala špeciálne odborné predmety pre oblasť hlbinného i povrchového dobývania ložísk nerastov. Z obdobia pôsobenia prvých, štátnej správou a prostredníctvom *Poverenictva školstva, vied a umení* vymenovaných profesorov vieme, že na prvej Katedre baníctva BF VŠT, začala byť od školského roku 1952/1953 profesionálne, odborne a akademicky veľmi aktívna skupina mladých učiteľov, ktorých viedol novovymenovaný profesor Ing. JUDr. Jozef Šimčisko (do Košíc prešiel priamo z Katedry baníctva na Baníckej fakulte bratislavskej SVŠT, niekedy sa táto fakulta nazýva aj Fakultou baníckeho inžinierstva) a stal sa tu prvým vysokoškolským profesorom baníctva na Slovensku.

Do tejto skupiny patrili doc. Ing. Alexander Bari (na BF VŠT do Košíc prišiel z bývalého Leningradu, dnešného Svätého Petrohradu), ale aj novo nastúpení asistenti katedry Ing. Ján Puzder, Ing. Ondrej Dojčár a Ing. Štefan Jankovič, ktorí začali na katedre rozvíjať a odborne zabezpečovať špeciálne predmety zamerané na trhacie práce a trhaciu výbušnú techniku. Hlavne príchod Ing. Ondreja Dojčára, absolventa Baníckej fakulty v študijnom odbore *Hlbinné dobývanie*, na akademickú pôdu Katedry dobývania ložísk v roku 1959 sa výrazným spôsobom pričinil a posilnenie špeciálnych odborných predmetov, zameraných na procesy rozpojovania hornín trhacími prácmi s využitím výbuchovej energie.

Uvedené predmety boli primárne určené a zvlášť potrebné pre študentov študujúcich na odbore hlbinného a povrchového dobývania ložísk, a boli zakotvené do študijného programu. Na Katedre baníctva sa premyslenými krokmi postupne položili kvalitatívne pevné základy pre systematický teoretický výskum v oblasti nemechanického rozpojovania hornín s využitím výbuchovej energie priemyselných trhavín. Tak ako sa odborne vyvíjala Katedra baníctva, adekvátnym spôsobom sa rozvíjala aj skupina špeciálnych odborných predmetov pre oblasť rozpojovania hornín trhacími prácmi a posilňovalo sa ich postavenie v skladbe baníckych predmetov zabezpečovaných katedrou. Súčasne sa vytvoril odborný priestor pre rozvoj výskumných aktivít, ktorých hlavným realizátorom bol prof. Ondrej Dojčár, ktorý začiatkom šesťdesiatich rokov minulého storočia stál na počiatku nezabudnuteľnej akademickej éry „*odbornosti trhacích prác*“ na „baníckej katedre“. V tom čase to bola *Katedra hlbinného dobývania ložísk a výstavby baní*, ktorá vznikla v roku 1955 premenovaním pôvodnej *Katedry hlbinného dobývania ložísk a organizácie v baníctve*.

Na *Katedre hlbinného dobývania ložísk a výstavby baní* na BF VŠT sa začala dlhorocná cieľavedomá a veľmi intenzívna pedagogicko-výskumná činnosť, sústredná na riešenie problémov rozpojovania hornín s využitím výbuchovej energie trhavín. Zárukou technického napredovania v odbornosti trhacie práce boli

predovšetkým Ing. Ján Puzder, CSc. a Ing. Ondrej Dojčár, ktorí zaplnili odborný priestor katedry po odchode doc. Ing. Alexandra Bariho do Bratislavu.

Menovaní sa vo výskume venovali špeciálnym metódam razenia banských diel s využitím procesu zhutňovania stlačiteľných hornín energiou výbuchu, tiež sa zaoberali problémami zväčšovania postupov razenia horizontálnych banských diel valcovými náložami, neskôr problematikou priamych zálomov, fragmentáciou rúbaniny, efektívnošťou trhacích prác pri razeňi, rozpojovaniu hornín výbuchom, ale aj seismickou bezpečnosťou trhacích prác v praxi. Menovaní mladí odborníci katedry, flexibilne prenášali výsledky svojho teoretického, praktického a laboratórneho výskumu parametrov vŕtacích a trhacích prác, do encyklopédických odborných znalostných súborov, a vytvorili tak rozsiahly informačný aparát, ktorý poslúžil ako fundamentálny materiál potrebný pri tvorbe obsahov špeciálnych odborných predmetov, s prednáškami určenými pre oblasť rozpojovania hornín výbuchovými technológiemi a trhacích prác pri ťažbe nerastov.

Tab.1 Prehľad študijných predmetov zameraných na rozpojovanie hornín na BF VŠT

	Názov študijného predmetu	Roky prednášania predmetu	Prednášateľ a učebný rozsah predmetu	
			Meno a priezvisko	Rozsah prednášok
1.	<i>Trhacie práce (TP) Razenie banských diel (RBD)</i>	1952 - 1955	<i>Doc. Alexander Bari Dr. Ing. Peter Halaša</i>	ZS; 2Pr + 2Cv ZS; 2Pr + 1Cv
2.	<i>Trhacie práce Razenie banských diel</i>	1956 - 1960	<i>Ing. Ján Puzder Dr. Ing. Peter Halaša</i>	ZS 2Pr + 2Cv
3.	<i>Trhacie práce</i>	1961 - 1966	<i>Ing. Ján Puzder (P) Ing. Ondrej Dojčár (C)</i>	3.ročník ZS; 2Pr + 3Cv
4.	<i>Trhacie práce Trhacie práce a razenie banských diel Poľné cvičenie TPaRBD</i>	1967 - 1972	<i>Ing. Ján Puzder (P) Ing. Ondrej Dojčár (C)</i>	ZS; 2Pr + 3Cv 3.ročník LS 5 dní;
5.	<i>- Rozpojovanie hornín - Hromadné odstrelby</i>	1973 - 1990	<i>Doc. Ondrej Dojčár Ing. Viliam Bauer</i>	3.ročník ZS; 2Pr + 3Cv
6.	<i>Trhacie práce Hromadné odstrelby</i>	1978 - 1990	<i>Doc. Ondrej Dojčár Ing. Štefan Szabó Ing. Rudolf Ivan Ing. Pavol Rybár</i>	3.ročník ZS; 2Pr + 3Cv
7.	<i>Trhacie práce</i>	1990 - 1994	<i>Doc. Ondrej Dojčár Ing. Michal Čehlár</i>	3.ročník ZS; ZS 2Pr + 2Cv

Špeciálne odborné predmety zamerané na vysvetlovanie problémov týkajúcich sa trhacích prác a na praktický výkon odstrelov v baniach a povrchových lomoch, boli teda vždy súčasťou „baníckeho“ študijného odboru (ŠO) resp. „baníckeho“ študijného zamerania (ŠZ). V priebehu rokov sa názvy ŠO a ŠZ viackrát menili a spravidla sa

otvárali podľa záujmu študentov o banícke štúdium. Začiatkom deväťdesiatich rokov minulého storočia začínať byť už badateľný ústup z baníckych pozícii, čo sa naplno prejavilo nielen aj v záujme študentov o klasické banícke študijné odbory, ale aj v skladbe odborných predmetov na baníckom študijnom odbore, vrátane skupiny predmetov pre oblasť rozpojovania hornín.

4. Študijné programy a odborné predmety pre oblasť trhacích prác na Fakulte BERG

V priebehu krátkeho času sa ukázalo, že banícke študijné odbory *Baníctvo a Dobývanie ložísk* prestali byť žiadane nielen študentmi, ale boli odmietnuté aj niektorými fakultnými vysokoškolskými pedagogickými a výskumnými pracovníkmi. Súčasne sa oslaboval aj význam príbuzného a relatívne nového študijného odboru *Podzemné staviteľstvo a geotechnika (PSG)*, takže došlo k vynútenej redukcii obsahu štúdia, ku zmenám v skladbe odborných študijných predmetov, ale aj ku transformácii študijných vzdelávacích plánov, a to nielen v rámci Katedry dobývania ložísk a geotechniky. Problémy s nezáujmom študentov o štúdium baníctva totiž dlhodobo pretrvávali aj po premenovaní Baníckej fakulty na Fakultu Baníctva ekológie, riadenia a geotechnológií (F BERG) v roku 1994, takže sa stále intenzívnejšie hľadali priateľné spôsoby a postupy na prekonanie nepriaznivého „baníckeho“ obdobia fakulty. Po aplikovaní záverov tzv. bolonskej výzvy z roku 2003, sa čiastočné riešenie objavilo v akreditácii nového študijného odboru pod názvom *Baníctvo*, ktorý bol na F BERG akreditovaný už v nasledujúcom akademickom roku. Pod týmto ŠO boli pre formálne univerzitné banícke vzdelávanie postupne akreditované tri študijné programy (ŠP):

- *Baníctvo a geotechnika (BaG)*, v bakalárskom stupni štúdia (Bc.),
- *Technológie baníctva a tunelárstva (TBaT)*, v inžinierskom stupni štúdia (Ing.),
- *Žažba nerastov a inžinierske geotechnológie (TNaIG)*, v doktorandskom stupni štúdia (PhD.- philosophiae doctor).

Do nových študijných plánov uvedených troch ŠP, ku ktorým postupom času pribudli aj ďalšie dva novoakreditované študijné programy - *Záchranárska, požiarna a bezpečnostná technika (ZPBT)*, pre Bc. aj Ing. stupeň štúdia, boli vhodne zakomponované odborné predmety, špeciálne zamerané na rozpojovanie hornín energiou výbuchu trhavín, pre ktoré bol nastavený optimálny počet hodín priamej prezentačnej výučby. Tieto predmety zabezpečoval prednáškami i praktickými cvičeniami profesor Ondrej Dojčiar do roku 2001, v ktorom ukončil svoje pedagogicko-výskumné pôsobenie na Katedre dobývania ložísk a geotechniky. Problematika trhacích prác (TP) zostala podstatou časťou technického baníckeho vzdelávania aj po odchode „akademického nestora“ v predmetnej oblasti rozpojovania hornín trhacími prácam a bola v potrebnom rozsahu zohľadnená pri

spracovaní odborného obsahu štúdia baníctva (ťažby nerastov a razenia horizontálnych, vertikálnych a priestorových podzemných diel), v študijnom odbore 5.2.32 Baníctvo – ŠOB. Predmety

Tab.2 Prehľad študijných predmetov zameraných na rozpojovanie hornín na F BERG

	Názov študijného predmetu	Roky prednášania predmetu	Prednášateľ a učebný rozsah predmetu	
			Meno a priezvisko	Rozsah prednášok
1.	<i>Rozpojovanie hornín Trhacia technika</i>	1995 - 2001	<i>prof. Ondrej Dojčár</i>	<i>3.ročník LS; ZS 2Pr + 2Cv</i>
2.	<i>Rozpojovanie hornín</i>	2002 - 2004	<i>Ing. Jozef Bocan Ing. Martin Demčák Ing. M.Krempašský</i>	<i>ZS 2Pr + 2Cv</i>
		2005 – 2009	<i>prof. Viliam Bauer</i>	
3.	<i>Trhacia technika</i>	2002 - 2004	<i>Ing. Jozef Bocan Ing. Martin Demčák</i>	<i>LS 2Pr + 2Cv</i>
		2005 – 2009	<i>prof. Viliam Bauer</i>	
4.	<i>Technológie rozpojovania hornín</i>	2010 – 2014	<i>prof. Viliam Bauer</i>	<i>ZS 2Pr + 2Cv</i>
5.	<i>Vítacie a trhacie práce</i>	2010 – 2019	<i>prof. Viliam Bauer</i>	<i>LS 2Pr + 2Cv</i>
6.	<i>Projektovanie trhacích prác</i>	2010 – 2019	<i>prof. Viliam Bauer</i>	<i>ZS 2Pr + 2Cv</i>
7.	<i>Priemyselné trhaviny a výbušniny</i>	2014 – 2019	<i>prof. Viliam Bauer</i>	<i>LS 2Pr + 2Cv</i>
8.	<i>Špeciálne trhacie práce a stavebné deštrukcie</i>	2014 – 2019	<i>doc. Marian Šofranko</i>	<i>LS 1 KZ</i>
9.	<i>Použitie trhavín v krízových situáciách</i>	2014 – 2019	<i>Doc. Štefan Kuzevič</i>	<i>ZS 2Pr + 2Cv</i>
10.	<i>Rozpojovanie horninového masívu a technické destrukcie</i>	2014 – 2019	<i>prof. Viliam Bauer prof.Blažej Pandula</i>	<i>LS 2S</i>

Poznámka: ZS – zimný semester; LS – zimný semester; Pr – prednášky; Cv – cvičenia; S – seminárny blok; KZ – klasifikovaný zápočet;

Z prehľadov uvedených v obidvoch tabuľkách (tab.č.1 a č.2) rezultuje priaznivé zastúpenie týchto predmetov v študijných plánoch vyššie uvedených akreditovaných študijných programov. A to aj napriek tomu, že skladba a postavenie jednotlivých odborných predmetov v hodnotenej skupine, sa v priebehu viacerých realizovaných akreditácií postupne menila. Dialo sa tak hlavne pod vplyvom objektívnych príčin, ale

aj vynútených zásahov spôsobených hodinovými kapacitami daného študijného programu a pedagógov, ale aj nezáujmom študentov vyberať si niektoré predmety ako povinné pre vykonanie semestrálnej skúšky. V podstate sa jednalo o informačné predmety s malým rozsahom hodín, ukončené klasifikovaným zápočtom napr. predmet „Seismický monitoring trhacích prác v lomoch“ pre Ing. stupeň štúdia v študijnom programe (TBaT), alebo došlo k zmene názvu predmetu vplyvom zlúčenie dvoch podobných predmetov napr. predmet „Rozpojovanie hornín trhacími prácam“ pre PhD. stupeň štúdia v študijnom programe (TNalG).

V súčasnosti prebiehajúcim akademickom roku je jeden predmet spojený s technológiou výbuchového rozpojovania hornín a materiálov, zakomponovaný aj v nebaníckom fakultnom študijnom programe pod názvom - *Využívanie alternatívnych zdrojov energie*.

Záver

V priebehu minulého roka boli príslušnou ministerskou Vyhláškou č.244 z roku 2019, ktorá nadobudla účinnosť od prvého septembra toho istého roku, zrušené pôvodné fakultné študijné odbory a boli nahradené jediným celoškolským a fakultným študijným odborom s názvom *Využívanie a získavanie zemských zdrojov*. Platnosť starých študijných odborov má byť postupne ukončená v priebehu niekoľkých rokov. Slovenská akreditačná agentúra plánuje už v tomto roku začať s prijímaním návrhov pre akreditáciu nových študijných programov. Môžeme len predpokladať, že v niektorom z novo akreditovaných študijných programov, budú mať v študijných plánoch svoje zastúpenie aj odborné predmety pre výchovu a vzdelávanie špecialistov a odborníkov na trhacie práce a výbuchové technológie.

Literatúra:

1. Boroška,J., Hatala,J., Hroncová, E. a Vrabec, F.: *Banícky almanach 1992*. Vydal MARTIS, vydavateľstvo a.s. Inproservis Martin; ISBN 80 – 85286 – 12-2;
2. Dojčár, O.: *Stopy*. Košice 2003.
3. Bauer, V., Beňovský,M.: *Tridsať rokov Slovenskej spoločnosti pre trhacie a vŕtacie práce*. Rukopis monografie. Košice 2020.

J. Baulovic, B. Pandula, J. Kondela, J. Šimo, V. Budinský

OPTIMALIZÁCIA MILISEKUNDOVÉHO ČASOVANIA TRHACÍCH PRÁC V LOME MNÍCHOVÁ LEHOTA POMOCOU ELEKTRONICKÝCH ROZBUŠIEK

Optimization millisecond timing delay of blasting in Mnichová Lehota quarry with electronic detonators

Ing. Ján Baulovič – Bblast Slovakia, jbaulovic@centrum.sk

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

Mgr. Vladimír Budinský, PhD. – Institute of Geosciences BERG Faculty Technical University of Košice, Slovakia, vladimir.budinsky@tuke.sk

Ing. Ján Šimo, CSc. Vibroakustika Žilina, vibroakustika@vibroakustika.sk

Abstrakt

Vibrácie vytvárané trhacími prácamu sú jedným zo základných problémov v lomoch a intenzívne vibrácie môžu spôsobiť kritické poškodenie životného prostredia v blízkosti lomov. Trhacie operácie generujú seismické vlny s rôznymi maximálnymi rýchlosťami častic a širokým spektrom frekvencií. Tento proces závisí od vlastností hornín, vlastností nálože a technológie trhacích prác. Je veľmi dôležité študovať, ako regulovať vibrácie vytvárané trhacími prácamu pri zmierňovaní negatívnych účinkov trhacích prác v lomoch. Maximálne hodnoty rýchlosťi kmitania častic prostredia závisia od veľkého počtu rôznych faktorov. Pomocou elektronických rozbušiek sa hľadal optimálny milisekundový interval na zníženie intenzity vibrácií spôsobených rušením seismických vln. Experimenty potvrdili teoretické predpoklady, že k najväčšiemu zníženiu intenzity vibrácií dochádza, keď sú seismické vlny v opačnej fáze. Výsledky experimentov boli potvrdené v praxi pri prevádzke trhacích prác v lome Mnichová Lehota.

Abstract

Blasting induced vibration is one of the fundamental problems in the quarries and intense vibration can cause critical damage to environment nearby the quarries. Blasting operations generate seismic waves with different maximum particle velocity and wide spectrum of frequencies. This process depends on the properties of the rocks, properties of charges and technology of blasting. It is very important to study how to control vibration induced by blasting in the mitigation of negative effects of blasting in quarries. Maximum values of the particle velocity are depended on great number of different factors. Using the electronic detonators, an optimal millisecond interval has been sought to reduce the intensity of vibrations due to interference of seismic waves. Experiments confirmed the theoretical assumptions that the greatest reduction in vibration intensity occurs when seismic waves are in the opposite phase. The results of the experiments were confirmed in practice during the operation of the blasting works in Mnichová Lehota quarry.

1. Úvod

Trhacia technika zaznamenala veľký vývoj od vynálezu dynamitu Alfredom Nobelom 1867 a trhacie práce sú stále najefektívnejšou a najekonomickejšou metódou na rozpojenie horninového prostredia. Na druhej strane však rozpojovanie spôsobuje aj veľa problémov spôsobených hlukom a vibráciami. Najmä vibrácie spôsobené trhacími prácamu môžu spôsobiť škody na okolitých budovách a neprijemné pocity pre obyvateľov. Redukcia alebo regulácia účinkov vibrácií je problémom pre väčšinu lomových prevádzok.

Clonové odstrelky sú známe ako účinný spôsob redukcie vibrácií. Pri tejto metóde sú jednotlivé nálože vo vrchoch odpálené jedna za druhou s určitým časovým oneskorením.

Seizmické vlny, vybudené pri trhacích práciach sa navzájom interferujú a rýchlosť kmitania Peak Particle Velocity (PPV) sa môže znižiť pomocou vhodných časových intervalov. Napriek teoretickej jednoduchosti je zvyčajne ľahké predvídať PPV s dosťatočnou presnosťou v dôsledku chyby v načasovaní oneskorenia medzi jednotlivými náložami a nehomogenity horninového prostredia.

Boli vypracované viaceré štúdie o regulácii vibrácií a boli známe praktické metódy (Persson and all., 1994, Langefors and Kihlström, 1978), ktoré odporúčali:

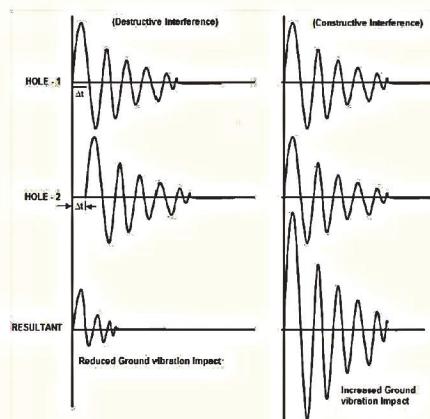
- 1) Použitie času oneskorenia medzi vývrtmi;
- 2) Zniženie počtu vývrtov v rovnakom čase oneskorenia;
- 3) Použitie viacradových odstrelov a vhodné časy oneskorenia medzi radmi;
- 4) Použitie delenej nálože a vhodné časovanie medzi náložami;
- 5) Rozdelenie lomovej steny na viac lavíc, a tým aj zniženie množstva nálože na jeden vývrt.

Z vyššie uvedených spôsobov sa predpokladá, že použitie času oneskorenia je výhodné pre lokálne redukcie vibrácií, pretože by sa mala použiť odskúšaná časovacia schéma trhacích prác. Hoci táto myšlienka bola navrhnutá Langeforsom (Langefors and Kihlström, 1978), zistili sme, že presnosť tejto metódy nie je vždy dosťatočná. Presnosť časovania detonácie pomocou konvenčných pyrotechnických rozbušiek bola vždy problémom, ktorý bol vyriešený zavedením elektronických rozbušiek. Príchod elektronických rozbušiek, zvýšil možnosti redukcie vibrácií.

S vývojom vysoko presných digitálnych elektronických rozbušiek sa umožnilo veľmi presné časovanie trhacích prác. Vibrácie môžu byť redukované použitím spôsobu, pri ktorom sú vlny superponované na seba vo fáze alebo v protifáze [15]. Klúčom k zniženiu vibrácií je správne nastaviť čas oneskorenia. Optimálna doba oneskorenia t bola prvýkrát navrhnutá v literatúre v roku 1962, ktorá bola použitá pre milisekundové oneskorenie výbuchov v lomoch. Pri trhacích práciach sa predpokladá, že spôsob výpočtu času oneskorenia vychádza z rýchlosťi šírenia seizmických vln a ich frekvencie. Ďalej sa pri výpočte doby oneskorenia berie do úvahy účinok rušenia pomocou superpozície seizmických vln. Dve seizmické vlny môžu dosiahnuť maximálne rušenie vibrácií, keď čas oneskorenia je polovičný čas periody vlnenia. V literatúre je čas oneskorenia daný podľa skúseností mnohých projektov. Langefors [16] navrhol interval oneskorenia milisekund $\Delta t = T/2$ (T je periódna vibračná vlna), ktorá umožňuje, aby väčšina vibrácií navzájom interferovala v rámci nemenného vibračného cyklu a rovnakých tvarov vibrácií. Časy oneskorenia sa určujú na základe efektu rozpojenia horninového prostredia a efektu superpozície vln. Štruktúrne vlastnosti horninového prostredia, v ktorom sa uskutočňujú trhacie práce, sa získajú pomocou merania rýchlosťi šírenia seizmických vln in situ (Leššo, 2018).

Pri milisekúndovom časovaní trhacích práciach sa súčasne šíri vlnenie od viacerých zdrojov. Ak je fázový rozdiel dvoch vlnení v určitom bode 2 alebo iný páry násobok nastáva interferenčné zosilnenie. Ak fázový rozdiel je nepárny násobok nastáva interferenčné zoslabenie. Rôzne prípady interferencie sú veľmi zložité, lebo interferujúce vlnenia sa môžu lísiť vlnovou dĺžkou, amplitúdou, fázou i smerom šírenia. Najjednoduchším prípadom interferencie je interferencia dvoch vlnení s rovnakou vlnovou dĺžkou, postupujúcich prostredí rovnakou fázovou rýchlosťou a rovnakým smerom. K takému prípadu interferencie dochádza pri trhacích práciach. Výsledná amplitúda pri interferencii dvoch rovnakých vlnení je najväčšia v miestach stretu vlnení s rovnakou fázou, najmenšia v miestach stretu vlnení s opačnou fázou. Preto je potrebné milisekundové časovanie trhacích práciap naprojektovať v závislosti na štruktúrnych vlastnostiach horninového prostredia, ktoré sú vyjadrené rýchlosťou a frekvenciou seizmických vln (Tatsuya and all., 2000, Lalwani a Menon, 2016; Leššo, 2018).

Preto je potrebne milisekundové časovanie trhacích prác naprojektovať v závislosti na štruktúrnych vlastnostiach horninového prostredia, ktoré sú vyjadrené rýchlosťou a frekvenciou seismických vín (Lalwani a Menon, 2016; Leššo, 2018).



Obr. 1 Deštruktívne a konštruktívne deformácie pri odpale dvoch vrtov podľa (Lalwani a Menon, 2016)

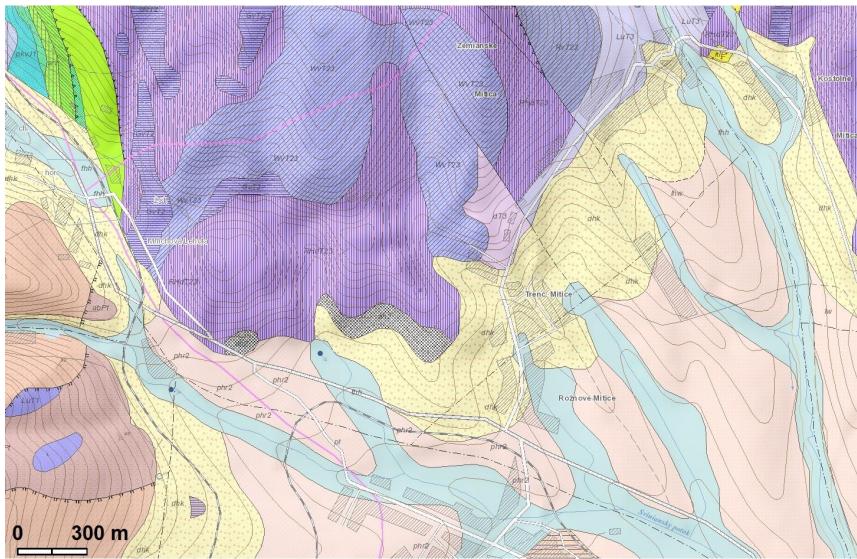
V príspevku je prezentovaný ťažobný odstrel v lome Mníčová Lehota, pri ktorom boli použité elektronické rozbušky s preddefinovanými časmi oneskorenia.

V spolupráci s Austin detonator Slovakia a Vibroakustika Žilina boli uskutočnené merania rýchlosťi šírenie seismických vín a technickej seizmicity clonového odstrelu 561/ML/19 ďalej len CO 561/ML/19 v okolí lomu Mníčová Lehota. Z nameraných hodnôt sme zhodnotili účinky umelo vybudenej seismicity vplyvom CO 561/ML/19 v okolí lomu Mníčová Lehota na blízky vodný zdroj MP – 1 a bytový objekt v obci Trenčianske Mitice. Lom sa nachádza asi 1 km na juhovýchod od obce Rožňové Mitice. Je situovaný v masíve s najvyšším bodom 430 m n. m. (obr. 1)



Obr. 2 Lom Mnichová Lehota

2. Stručná geologická stavba okolia lomu Mníchová Lehota (prenosové prostredie)



Obr. 3 Geologická stavba okolia lomu Mníchová Lehota



Obr. 4 Pohľad na jednotlivé etáže lomu Mnichová Lehota s viditeľnou vysokou mierou porušenia horninového masívu a miesto trhacích prác

3. Metodika merania a použitá apparatúra

Na meranie seismických účinkov odstrelu boli použité digitálne štvorkanálové seismografy:

- ABEM Vibraloc a seismosnímače švédskej firmy ABEM (obr. 5, 6)
- Vibromer Svan 958 A a senzor mechanického kmitania SV84.

Meracie stanovisko 1 bolo situované v lome Mnichová Lehota vo vzdialosti 18,5 m od iniciačného vrtu. Na meracom stanovisku bol umiestnený trojzložkový seismosnímač Vibraloc na špecialnej podložke, ktorá zabezpečovala kontakt s horninovým podkladom (Obr. 4).

Meracie stanovisko 2 bolo situované v objekte vodného zdroja MP-1. Vzdialenosť meracieho stanoviska od miesta odstrelu bola 900 m. Na meracom stanovisku bol umiestnený trojzložkový seismosnímač Vibraloc na betónovom základe pri vstupe do objektu vodného zdroja (obr. 6).

Meracie stanovisko 3 bolo situované v bytovom objekte v obci Trenčianske Mitice, časť Rožňové č.p. 371. Vzdialenosť meracieho stanoviska od miesta odstrelu bola 900 m. Na meracom stanovisku bol umiestnený trojzložkový vibromer Svan 958 A s cieľom objektivizovať dopad na osoby vo vnútornom prostredí bytového objektu.



Obr. 5 Meracie stanovisko 1 v lome Mnichová Lehota vo vzdialosti 18,5 m od iniciačného vrtu so situovaním trojzložkového snímača Vibraloc od firmy ABEM na špeciálnej podložke



Obr. 6 Meracie stanovisko vodný zdroj MP-1 a meracia aparátura Vibraloc so situovaním trojzložkového snímača Vibraloc od firmy ABEM

Tabuľka 1 Údaje o polohe a vzdialosti geofónov od CO 561/ML/19

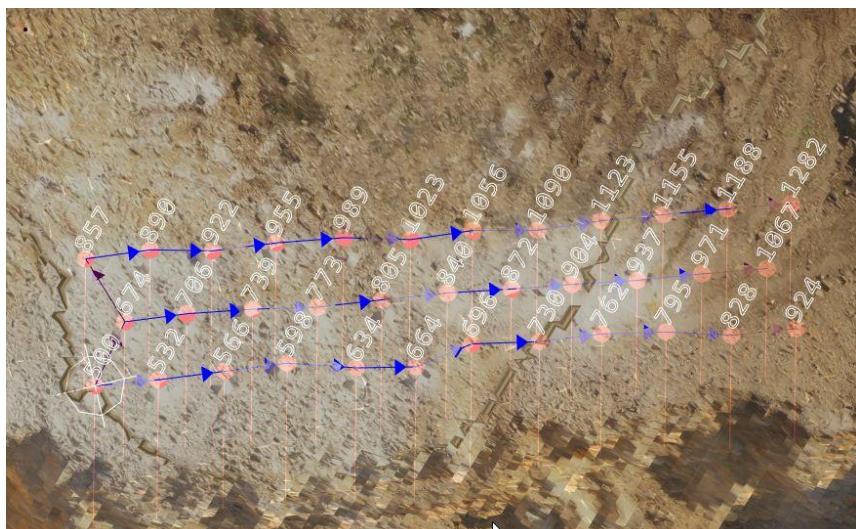
Číslo stanoviska	Popis stanoviska	Súradnice geofónov			Vzdialosť od odpalu ku stanovisku		poznámka
		x	y	z	šikmá	horizontálna	
1	III. etáž CO	-	-	-	27,5	18,5 m	odpal
2	vodný zdroj MP-1	-	-	-		900 m	
3	Rožňové č.p. 371	-	-	-		900 m	

4 Zdroj otriasov

Zdrojom seismických účinkov bol clonový odstrel 561/ML/19 v lome Mníčková Lehota.

Parametre CO 561/ML/19

č. odstrelu: 561/ML/19 clonový dŕňa: 18.10.2019 o 11:38':42'', celková nálož: 3275,0 kg nálož na 1 časový stupeň: 100 kg, dĺžka trvania CO 500 ms, hĺbka vrtov 20 m (Obr. 6).



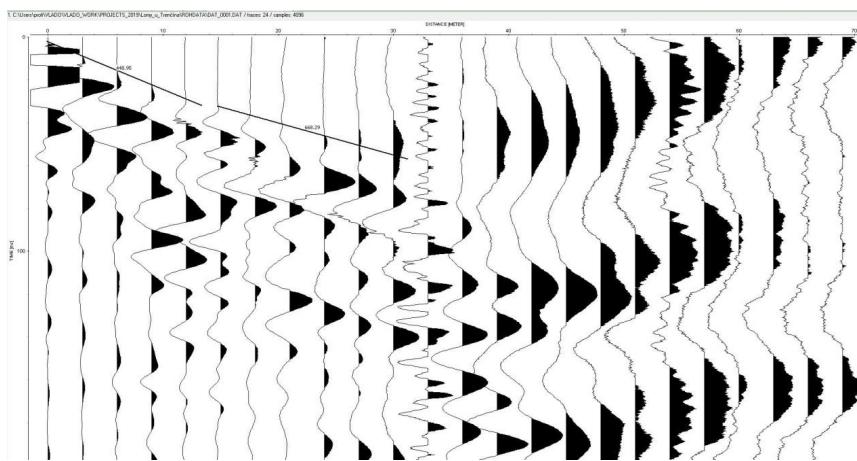
Obr. 7 Schéma rozmiestnenia vrtov a časovania clonového odstrelu 561/ML/19 v ms

5. Namerané hodnoty

Pred odstrelom bola pomocou seismickej aparátury zmeraná rýchlosť šírenia seismických vln v mieste odstrelu. Seismický profil bol umiestnený parallelne s lomovou stenou približne 10 m od koruny lomovej steny v dĺžke 48 m (Obr. 8). Výsledný záznam merania je na obr. 9.

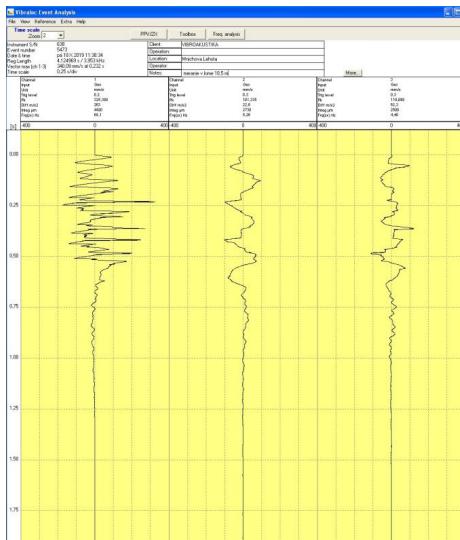


Obr. 8 Sezimicky profil na lomovej stene pred odstrelom. 24 geofónov bolo rozmiestnených s krokom 2 m do vzdialenosť 48 m

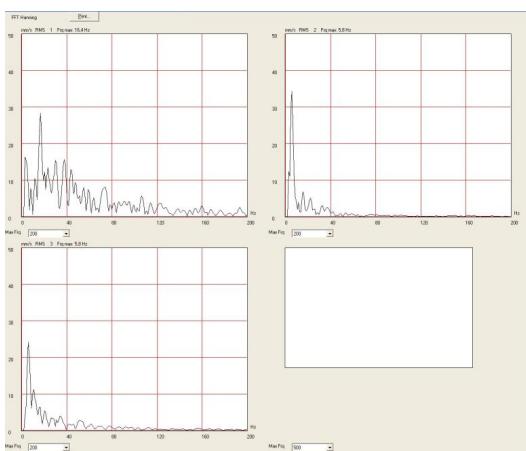


Obr. 9 Sezmidký záznam z meracej aparátu Terraloc Mk 8 zo 48 m profilu s identifikovanou rýchlosťou a frekvenciou šírenia seismickej vlny. Zo záznamu vyplýva, že do hĺbky 3 m bola rýchlosť seismických vln 400 m/s frekvenciou 5,8 Hz. V hĺbke 3 m nastala zmena rýchlosťi šírenia seismických vln na rýchlosť 600 – 700 m/s frekvenciu 16,4 Hz

Pristroje na meranie rýchlosť kmitania uložené na meracích stanoviskách 1, 2 a 3 boli pred meraním kalibrované a prekontrolovaná bola ich citlivosť. Namerané hodnoty počas odstrelu na meracích stanoviskách sú v tabuľke 2. Na každom meracom stanovisku bol zaznamenaný aj grafický priebeh jednotlivých zložiek seismického vlnenia (10, 11). Namerané hodnoty sú v tabuľke 2.



Obr. 10 Grafický štvorekundový záznam priebehu jednotlivých zložiek seismického vlnenia v lome Mnichová Lehota zo dňa 18.10. 2019. Záznam je z meracej aparátury ABEM Vibrac na meracom stanovisku 1, 18,5 m od iniciačného vrtu



Obr. 11 Frekvenčná FFT analýza jednotlivých zložiek vlnenia z merania na meracom stanovisku 1 – lom Mnichová Lehota

Na základe nameraných hodnôt rýchlosťí a frekvencií jednotlivých zložiek vlnenia pri clonovom odstrelu v lome Mnichová Lehota, sme mohli vyhodnotiť podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 účinky jednotlivých odstrelov a posúdiť ich vplyv na vodné zdroje v pásme hygienickej ochrany I. stupňa, nachádzajúce sa v blízkosti lomu Mnichová Lehota.

Tabuľka 2 Namerané údaje frekvencií a maximálnych rýchlosťí kmitania pri CO 561/ML/19

stanovisko/odstrel	X Hz	Y Hz	Z Hz	X mm. s ⁻¹	Y mm. s ⁻¹	Z mm. s ⁻¹
1- lom	5,3	4,5	68	101	119	325
2-vodný zdroj MP - 1	5,6	4,25	9,94	0,7	0,84	0,4
3 - Rožňové č.p. 371	7,3	6,2	23	0,52	0,74	0,32

6. 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 doporučenia. Tieto diela sa obvykle posudzujú ako stavebné objekty na povrchu, čo zdôake nevystihuje skutočné pomery, pretože horninový masív v porovnaní so stavebnými objektmi vydrží oveľa vyššie rýchlosťi kmitania.

Zaistenie seizmickej bezpečnosti týchto diel pri trhacích práciach spočíva v zamedzení vzniku zostatkových deformácií v masíve hornín, na ktorých sa budujú tieto diela. V horninovom masíve sú prípustné iba také napäťia, ktoré nevyvolávajú trvalé deformácie. Hodnotenie stability hornín jám, štôlní, podzemných komôr, ochranných pilierov, hydrotechnických štôlní, svahov, zárezov, etáž (poschodí) lomov, hálid, 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 napätií začatie v odľahčenie horniny prebieha pružne, kým pri prekročení určitej hranice vznikajú trvalé zostatkové deformácie. Ich nahromadenie v dôsledku periodických odstrelov môže viesť k stratám stability a závalu hornín. Potom pomerné deformácie $\epsilon_0 \leq 0,0002 \div 0,0003$, sú ešte v medziach pružnosti.

Pre diela, ktoré musia mať dlhú životnosť (zárezy a pod.), podmienku seizmickej bezpečnosti je možné vyjadriť v závislosti na rýchlosťi 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 doporučované triediť do štyroch tried, v okolí ktorých v závislosti na čase životnosti sú prípustné relativne deformácie $10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$.

Podľa funkcie pružno-plastickej vlastnosti hornín a prípustnej pomernej deformácie sa pre výpočet prípustnej rýchlosťi kmitania doporučuje vzťah:

$$v_p = \frac{375 \cdot \left(c_p^2 - \frac{4}{3} \cdot c_s^2 \right) \cdot \left\{ [1 + (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \epsilon_0]^{\frac{8}{3}} - 1 \right\}}{c_p \cdot [1 + (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \epsilon_0]^4}$$

kde: v_p je prípustná rýchlosť kmitania [mm.s^{-1}],

c_p , c_s sú rýchlosťi pozdĺžnych a priečnych vln v masíve [mm.s^{-1}],

μ je Poissonovo číslo,

ϵ_0 je prípustná pomerná deformácia.

Hodnoty v_p vypočítané zo vzorca pre jednotlivé triedy banských diel sú v tabuľke 9. Tieto sú v dobrej súlade s hodnotami c_p nameranými a stanovenými pre celistvé horniny v rôznych podzemných baniach ($300 \div 500 \text{ mm.s}^{-1}$). Pri periodicky uskutočňovaných odstrelach sa doporučuje znižiť prípustné rýchlosť kmitania v tabuľke 4 a 5, koeficientom bezpečnosti k_b , (v_p/k_b), v závislosti na triede objektu T:

Tabuľka 3 Súčinatel bezpečnosti pre jednotlivé triedy objektov

Trieda objektu T	1	2	3	4
Koeficient bezpečnosti k_b	1,52	1,44	1,36	1,3

Kvalita stavebných objektov (k) je v tabuľke 5. 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 rýchlosť kmitania. Doporučené prípustné hodnoty kmitania sú v tabuľke 5. V tabuľke 4 sú uvedené prípustné rýchlosť kmitania v horninovom prostredí s rôznym stupňom porušenosti, vyjadrenom koeficientom pevnosti k_f a rýchlosťou šírenia pozdĺžnych vln c_p .

Tabuľka 4 Rýchlosť kmitania pri periodicky uskutočňovaných odstrelach

Charakteristika hornín	Koeficient pevnosti k_f	c_p [km.s ⁻¹]	Prípustné rýchlosť kmitania v_p [mm.s ⁻¹]			
			1*	2*	3*	4*
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
Velmi pevné, celistvé	14 ÷ 20	6 ÷ 7	178	356	533	890

*Triedy inžinierského diela:

- 1) Zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov, $\varepsilon_0 = 0,0001$, (hydrotechnické štôlne, jamy, hlavné banské diela, odvodňovacie a iné vodohospodárske diela).
- 2) Dôležité diela životnosti od 5 do 10 rokov, $\varepsilon_0 = 0,0002$, (náraziská, prekopy, stropné piliere, stabilné svahy etáži a hál 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 etáž a pod.).

Tabuľka 5 Rýchlosť kmitania pri periodicky uskutočňovaných odstrelach.

Trieda objektu T	Prípustné rýchlosť kmitania 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 Mníchová Lehota považujeme za periodické vzhl'adom k tomu, že ide o permanentnú ťažbu v lome. Triedu posudzovaného objektu – zdroje pitnej vody zaradujeme 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 kmitania jednotlivých zložiek **$2,2 \text{ mm.s}^{-1}$** (tab. 5). Pri hodnotách rýchlosť kmitania menších ako $2,2 \text{ mm.s}^{-1}$ nedochádza k vzniku ďalších porúch ani v porušenom horninovom prostredí.

7. Dovolená rýchlosť kmitania pre chránené vodohospodárske objekty

Vychádzajúc z Eurokódu 8 STN EN 1998-1/NA/Z1 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané pre clonové odstrely v lome Mnichová Lehota, ktoré predstavujú rádovo stovky kilogramov, kedy frekvencie kmitov bývajú obvykle $f < 10 \text{ Hz}$ a na základe odolnosti vodohospodárskych objektov voči technickej seismicite je možno vodný zdroj v okolí lomu Mnichová Lehota zaradiť medzi **zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov T-1**.

Čo sa týka kvality objektu túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristik a údajov, môžeme zatriediť do **kvality objektu k-6**.

Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelów na ložisku vápence Mnichová Lehota a s ohľadom na charakter prenosového prostredia, pre rozpojovanie clonovými odstrelmi na ložisku Mnichová Lehota a pre vodohospodárske objekty v blízkosti lomu, možno maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosť) stanoviť hodnotou

$$v_d \leq 2 \text{ mm/s.}$$

8. Namerané seizmické účinky clonových odstrelów a ich analýza

Z analýzy nameraných rýchlosť šírenia seizmických vln a frekvencií na lomovej stene vyplynulo, že lomová stena je vo vrchnej časti do hĺbky 3 m veľmi porušená. Rýchlosť šírenia seizmických vln boli namerané 300 m/s a frekvencia vlnenia bola 5,8 Hz. V hĺbke 3 – 12 m boli namerané rýchlosť šírenia 600 – 700 m/s a frekvencia vlnenia bola 16,4 Hz. Potom podľa teórie oneskorenia milisekundového časovania $\Delta t = T/2$ (T je períoda seizmických vln) bolo optimálne časovanie pre clonový odstrel $\Delta t = T/2 = 1/2f = 1/16,4 = 30,5 \text{ ms.}$ ($T = 1/f$ - frekvencia seizmických vln). Oneskorenie milisekundového časovania použité pri odstrele bolo 32 – 34 milisekund (Obr. 6) v závislosti na rôznych štruktúrnych vlastnostach lomovej steny. Presné oneskorenie v jednotlivých častiach lomovej steny bolo možné použitím presných elektronických rozbušiek. Presným milisekundovým časovaním oneskorenia medzi jednotlivými vrtmi bolo možné dosiahnuť požadovanú fragmentáciu (Obr. 12).



Obr. 12 Rozval po clonovom odstrelu 561/ML/19 v lome Mnichová Lehota

Meranie seismických účinkov clonového odstrelu v lome a okolí lomu Mnichová Lehota bolo uskutočnené v podmienkach málo zavodneného prenosového horninového prostredia po predchádzajúcim období dlhšieho sucha. Posudzované efektívne a vrcholové hodnoty rýchlosť kmitania na referenčných stanovištiach Rožňové Mitice, RD č.p. 371 a na vodnom zdroji MP – 1 neboli prekročené. Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosť kmitania clonového odstrelu v lome Mnichová Lehota sú v tabuľke 2. Podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 platí:

$$v = K \cdot \frac{\sqrt{Q_{ev}}}{L},$$

v - je nameraná maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosť kmitania) generovaná odstrelom, [mm/s],

Z uvedeného vzťahu, potom koeficient nezavodneného prenosového prostredia K pre lom Mnichová Lehota a sledované vodohospodárske objekty bude

$$\begin{aligned} K_1 &= v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 119 \cdot 27,5 / \sqrt{100} = 29,59 \\ K_2 &= v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 0,84 \cdot 900 / \sqrt{100} = 75,6 \end{aligned}$$

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 Mnichová Lehota a receptora – vodného zdroja MP - 1:

$$Q_{evmax} = v^2 \cdot L^2 / K^2 = (2.900 / 75,6)^2 = 566,5 \text{ kg.}$$

Na základe údajov z tabuľky 2 a hodnoty koeficientu nezavodneného prenosového prostredia, bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosť kmitania na

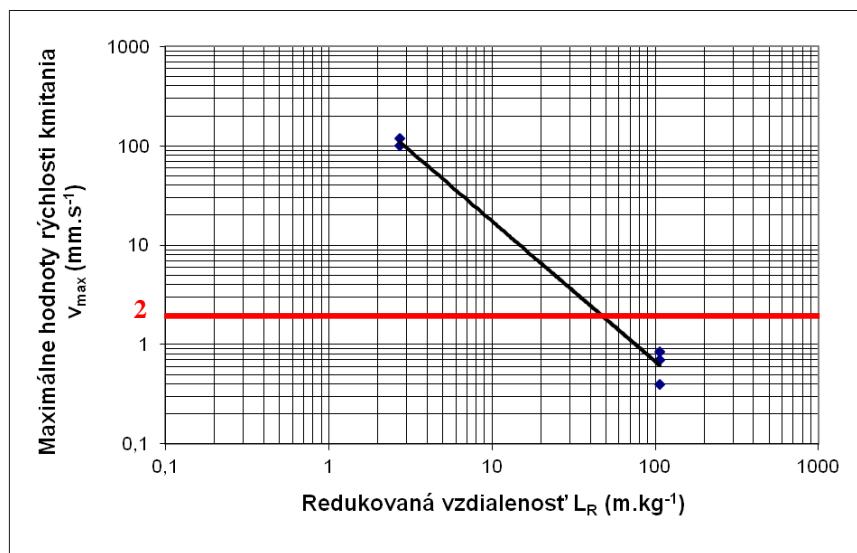
redukovanej vzdialenosťi pri clonových odstrelach. Graf na obr. 13 predstavuje tzv. zákon útlmu seismických vín pre lom Mníčová Lehota, v ktorom bola použitá hodnota Q v tvare

$$v = \left(\frac{L}{Q^{0.5}} \right) = K \left[\frac{L}{Q^{0.5}} \right]^n,$$

kde „v“ je maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosťi kmitania) generovaná odstrelom, [mm/s],

- $L/Q^{0.5}$ je tzv. redukovaná vzdialenosť, [$m/kg^{0.5}$],
- L je najkratšia vzdialenosť zdroja otriasov od ich receptora, [m],
- Q je hmotnosť nálože časového stupňa, [kg],
- K je súčineteľ závislý od podmienok odstrelu, vlastnosti prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,
- n je ukazovateľ útlmu seismických vín.

Zo zákona útlmu seismických vín je možné stanoviť pre konkrétny receptor veľkosť nálože pri známej vzdialnosti tak, aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosťi kmitania nepresiahli stanovené maximálne dovolené rýchlosťi kmitania.



Obr. 13 Zákon útlmu seismických vín pre lom Mníčová Lehota

Zo zákona útlmu seismických vín pre lom Mníčová Lehota je redukovaná vzdialenosť pre maximálne dovolenú rýchlosť kmitania $v_{max} = 2 \text{ mm/s}$ 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 Mníčová Lehota a receptora – vodného zdroja MP – 1 takto:

$$\text{pre vzdialenosť } 1500 \text{ m } Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (1500/60)^2 = 750 \text{ kg},$$

$$\text{pre vzdialenosť } 1000 \text{ m } Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (1000/60)^2 = 277 \text{ kg},$$

$$\text{pre vzdialenosť } 500 \text{ m } Q_{evmax} = (L/L_R)^2 = (500/60)^2 = 70 \text{ kg}$$

Takýmto spôsobom je možné vypočítať pre konkrétnu vzdialenosť zdroja seismických účinkov – trhacích prác v lome Mníchová Lehota maximálnu dovolenú nálož na časový stupeň, tzv. ekvivalentnú nálož Q_{evmax} .

13 Záver

Žažba na lokalite lomu Mníchová Lehota je uskutočňovaná clonovými odstrelmi. Tejto skutočnosti potom zodpovedá v závislosti na vzdialosti zdroj – receptor aj intenzita seismických účinkov.

Z výskumu, ktorý bol na Ústave geovied F BERG TU v Košiciach v uplynulých rokoch uskutočnený, jednoznačne vyplynulo, že pre posúdenie seismickej bezpečnosti trhacích prác väčšieho rozsahu je potrebné stanoviť zákon útlmu seismických vln pre sledovanú oblasť - študované horninové prostredie a stanoviť čo najpresnejšie oneskorenie milisekundového časovania v závislosti na štruktúrnych vlastnosťach horninového prostredia. V praxi je potrebné vyhodnotiť minimálne dve merania na dvoch stanoviskách, aby sme získali potrebný štatistický súbor jednak pre stanovenie zákona útlmu seismických vln, ale aj dostatok podkladov pre stanovenia hodnoty milisekundového časovania. Tieto informácie sú potrebne pre dosiahnutie dovolenej rýchlosťi kmitania pre sledované receptory a stanovenie dovolenej nálože pri trhacích prácach.

Literatúra:

- Dojčiar, O., Pandula, B., 1998. Výskum technickej seizmicity v lome Včeláre, Výskumná správa, F BERG TU Košice, 42 s.
- Dojčiar, O. a kol., 1996. Trhacia technika, Montanex, a.s., Ostrava 1996, 421 s.
- Mogi, G., Kou, S., 1999. Optimum delay time design in delay blasting, Sixth international symposium for rock fragmentation by blasting, 145-148.
- Kou S., Rustan A., 1992. Burden related to blasthole diameter in rock blasting. Int J Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 29(6), 543-553.
- Lalwani, M., Menon, S, 2016.: Electronic delay detonators-benefits and growth prospects in India. In: Advances in Rock Engineering, 2016, 243-252.
- Langefors, U., Kihlström, B., 1978.The modern technique of Rock Blasting. A Halsted Press Book., 281-288.
- Leššo, I., 2018. Optimalizácia milisekundového časovania pri trhacích prácach v lomoch. Manuskript, Košice 2018, 1 s.
- Müncner, E a kol., 2000. Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelcov, SSTVP Banská Bystrica 2000, 201 s.
- Pandula, B., Kondela, J., 2010. Metodológia seizmiky trhacích prác, SSTVP Banská Bystrica, DEKI Design, s. r. o., 156 s.
- Persson P. A., Holmberg. R, Lee, J., 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC press, Inc., 365-367.
- Wada, Y., Ma, G. C., Nakajima, T., Suk,C. G., Ogata, Y., Katsuyama, K., Miyake, A., Ogawa, T., 1994. A study on the control of vibration caused by a blasting. Explosion, Explosive and Pyrotechnics, Vo 1 . 55, No 6, 174-179.
- Tatsuya, H., Gento, M., Kou, S., 2000. Optimum delay interval desing in delay blasting. International Journal for Blasting and Fragmentation. Vol. 4, No. 2, 139 – 148.

Tento článok vznikol s podporou grantu VEGA 1/0585/20.

Vplyv technologických procesov výroby a používania výbušní na pracovné a životné prostredie

Influence of technological production processes of explosives and their application on both - the working and human environment.

Eduard Jakubček¹, Viliam Bauer², Ján Lokaj³

¹Holubia 13, 900 42 Dunajská Lužná

²Technická Univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav zemných zdrojov, Letná 9, 04200 Košice

³Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická Univerzita, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Materiálovotecnologická fakulta, Slovenská technická Univerzita, Pavlínska 16, 917 24 Trnava

Pri výrobe a spracovaní výbušní a výbušných predmetov, ale aj pri praktickej aplikácii trhacej techniky v rôznych priemyselných odvetviach, je na príslušných pracoviskách potrebné dodržiavať bezpečnostné predpisy. Pri uvedených procesoch je súčasne nutné permanentne sledovať hodnoty ergonomických parametrov v pracovnom prostredí a hodnotiť tiež kvalitatívne veličiny environmentálnych dopadov pri výkone trhacích prác. V príspevku sú popísané možnosti a existujúce technické spôsoby zabezpečenia vhodných podmienok realizácie hodnotených procesov vo výrobných technologických objektoch aj na vybraných pracoviskách v teréne.

During production and treatment of both, explosives and explosive materials, and also in practical application of blasting techniques in various industrial branches, it is imperative to follow the safety precautions in the specific working places. During the above mentioned processes it is necessary to continually check the values of ergonomical parameters in the environment and to evaluate the qualitative parameters of environmental impacts when carrying out the blasting procedures. In this paper, various possibilities and current technical methods for ensuring the suitable conditions for execution of evaluated processes are described, both- in production technological facilities, and also in selected outdoor workplaces.

Úvod

Jednotlivé činnosti pri technologických procesoch výroby výbušní a výbušných predmetov, pri ich skladovaní ,manipulácií a používaní počas výkonu trhacích prác ovplyvňujú pracovné a životné prostredie , ktoré súvisia s ochranou zdravia a bezpečnosťou pracovníkov.

Pre spoločnosti je dôležité dodržiavať bezpečnosť' a ochranu zdravia pri práci zamestnancov pri činnostach s jednotlivými chemickými faktormi, medzi ktoré sú zaradené aj výbušniny a výbušné predmety v zmysle platnej legislatívy.

V zmysle Zákona č. 163 / 2001 o chemických látkach a chemických prípravkoch v znení neskorších predpisov, sú výbušné látky a prípravky určené ako nebezpečné chemické látky /NCHL/ a nebezpečné chemické prípravky /NCHP/ pre život a zdravie ľudí a pre životné prostredie.

Podľa Nariadenia vlády SR (NV SR) č. 355/2006Z.z.o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci sú pracovné činnosti, pri ktorých zamestnanci sú, 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, ktoré vyplývajú z chemických faktorov, s ktorými prichádzajú zamestnanci do kontaktu pri manipulácií, prípadne s faktormi, ktoré na pracovisku vznikajú. Spoločnosť musí následne spracovať plán riadenia tohto rizika s cieľom znížiť ho na najnižšiu možnú mieru pre zdravie ľudí a životné prostredie.

Definície pojmov

Nebezpečné chemické látky a nebezpečné chemické prípravky pre ľudí sú látky a prípravky, ktoré môžu spôsobiť smrť, krátkodobé, dlhotrvajúce alebo opakujúce sa poškodenie zdravia, ak sú vydychované, požitie 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 trhu.

Nebezpečný chemický faktor je

- akýkoľvek chemický faktor, ktorý splňa 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 splňajú 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 akýkoľvek 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.

Riziko je pravdepodobnosť vzniku poškodenia zdravia v prípade použitia chemických faktorov alebo v prípade expozičie zamestnancov chemickým faktorom pri práci.

Kritériá na zaradovanie prác do kategórií z hľadiska zdravotných rizík sú stanovené vo vyhláške MZ SR č. 448/2007 Z. z. o podrobnostiach o faktoroch práce a pracovného prostredia vo vzťahu ku kategorizácii činností a o náležitostach návrhu na zaradenie pracovných činností do kategórií z hľadiska zdravotných rizík. Pracovné činnosti sú zaradované do 4 kategórií.

Karta bezpečnostných údajov (KBÚ) je súhrn identifikačných údajov o podnikateľovi, o nebezpečnej chemickej látke alebo o nebezpečnom chemickom prípravku a údajov potrebných na ochranu života a zdravia ľudí a životného prostredia.

KBÚ je povinný vyhotoviť podnikateľ pre každú nebezpečnú chemickú látku a každý nebezpečný chemický prípravok, ktorý uvádzia trh. KBÚ je povinný poskytnúť podnikateľ každému príjemcovi nebezpečnej chemickej látky alebo nebezpečného chemického prípravku v primeranom časovom predstihu pred prvým dodaním, najneskôr však súčasne s prvou dodávkou, aby príjemca mohol prijať účinné opatrenia týkajúce sa ochrany života a zdravia ľudí.

Prevádzkový poriadok je súhrn opatrení na ochranu zdravia zamestnanca a na ochranu verejného zdravia v zariadení, v ktorom existuje riziko poškodenia zdravia

Výbušnina je taká chemická látka alebo zmes, ktorá je schopná mimoriadne rýchlej exotermickej reakcie spojenej s vytvorením plynu veľkého objemu. K spusteniu reakcie dochádza inicializáciou mechanickým, termickým (teplotným) alebo elektrickým podnetom. Súčasťou výbušnosti je spravidla oxidačné činidlo alebo okysličovadlo, ktoré dodá chemickej reakcii potrebný kyslík na horenie, pretože množstvo kyslíku dodaného difúziou z okolitej atmosféry nepostačuje pre zhorenie zmesi v dostatočne krátkom časovom intervale.

1. Výbušné látky a výbušné predmety

Výbušniny sú všetky látky schopné výbušnej premeny.

Rozdelenie výbušnín:

- **streliviny** – výbušniny, ktorých hlavným typom výbušnej premeny je explozívne horenie.
- **trhaviny** – výbušniny, ktorých hlavným typom výbušnej premeny je detonácia, ktorá bola dosiahnutá silným podnetom, napr. detonáciou inej výbušniny (iniciáciou rozbuškou).
- **pyrotechnické zlože** – mechanické zmesi horľavín a okysličovadiel, prípadne s príďavkom ďalších látok k dosiahnutiu požadovaného technického účinku. používajú sa v pyrotechnických prostriedkoch pre dosiahnutie určitých efektov.
- **traskaviny** – výbušniny schopné rýchleho prechodu od výbuchového horenia k detonácii. používajú sa k vyvolaniu detonácie inej výbušniny. Sú citlivé na jednoduché fyzikálne podnety: úder, trenie, ktoré vyvolá ich iniciáciu (napr. traskává ortuť)

Výbušné predmety

Výbušnými predmetmi sú všetky výrobky obsahujúce výbušniny, z ktorých najdôležitejšie skupiny sú tieto:

Vojenská civilná munícia (kompletne, alebo ich jednotlivé súčasti obsahujúce niektorý druh výbušniny).

Iniciátory – sú neoddeliteľnou súčasťou munície slúžiace k iniciácii výbušní. Rozdeľujú sa na základné a pomocné.

Základné iniciátory spôsobujú priamo iniciáciu výbušní a delia sa na:

- **rozbušky** – slúžia k iniciácii trhavín
- **elektrické pilule** – roznecujú a elektrickým prúdom a slúžia k zážehu strelivín, pyrotechnických zloží alebo zážehových rozbušiek)

Pomocné iniciátory sú prostriedky, ktorými sa prenáša zážeh alebo výbuch. Podľa ich činnosti sa rozdeľujú na:

- **zápalnice** – slúžia k časovému prenosu plameň
- **elektrické palníky** – slúžia k zážehu zápalnice, rozbušky alebo pyrotechnických zmesí
- **bleskovice** – slúžia k prenosu detonácie na kratšie a väčšie vzdialenosť.

2. Technológia výroby výbušní - priemyselné trhaviny

Priemyselné trhaviny 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 sa realizuje na rôznych typoch náložkovacích strojoch typu automatoch príp. poloautomatoch.

Technologický proces môžeme rozdeliť na nasledovné nadvážujúce uzly

- a) **Príprava sypkých surovín** – drvenie, mletie, osievanie, navažovanie a transport surovín do miešarne.
- b) **Príprava kvapalných surovín**
 - výroba nitroesterov (nitrácia glycerínu a glykolu) na automatickej kontinuálnej nitračnej linke,

- denitrácia odpadových kyselín tepelným rozkladom v kolóne ,vznikajúcich po nitrácii
- transport do objektu miešarní

c) **Homogenizácia surovín**

Plastické želatinové trhaviny: do prázdnego miešača sa nadávkujú najprv nitroestery v ktorých sa následne rozpúšťa nitrocelulóza. Tento proces sa nazýva želatinácia a vzniknutý vysokoviskózny roztok je trhacia želatína. Do tejto zmesi sa potom nadávkujú všetky ostatné sypké komponenty

Poloplastické trhaviny: po nadávkovaní všetkých sypkých komponentov do miešača sa tieto homogenizujú na sucho a následne sa skrápajú nitroestermi.

Sypké trhaviny: sypké komponenty dusičnan amónny a trimitrotoluénom sa po nadávkovaní do miešača skrápajú kvapalnými zložkami ,napr. .minerálnym olejom

d) **Náložkovanie a balenie**

Želatinové trhaviny sa náložkujú do formy malopriemerových náložiek(do 40 mm) balených v červenom parafinovom papieri na poloautomatických strojoch typu Rollex a do formy veľkopriemerových náložiek balených do plastových fólií na automatickom stroji LDEx 701,ktoror sa potom ukladajú do papierových expedičných obalov.

Poloplastické trhaviny sa vyrábajú len vo forme malopriemerových náložiek 30 mm balených do parafinového papiera na náložkovacom stroji Cartex, ktoré sa v potrebnom počte kusov na špeciálnom baliacom zariadení vkladajú do PE-hadice a následne do expedičných obalov.

Sypké trhaviny sa vyrábajú ako voľne sypané balené do polypropylénových vriec s polyetylénovou vložkou alebo balené v polyetylene do formy veľkopriemerových náložiek na poloautomatickom stroji Slevex. ,ktoré sa následne vkladajú do lepenkových expedičných obalov.

e) **Skladovanie a expedícia**

Trhaviny zabalene do expedičných obalov sa ukladajú na palety a fixujú sa stretch-fóliou.

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 skrápa kvapalnými zložkami ,napr. .nafta ,minerálny olej.

Emulzné trhaviny

Emulzné trhaviny sú oxidačno-redukčným systémom, kde do reakcie v kvapalnej fáze vstupuje ako oxidačná zložka nasýtený roztok oxidovadiel a ako redukčný systém palivo doplnený vhodným senzibilizátorom , ktorý je schopný iniciovať a podporovať chemickú reakciu pri detonácii. Emulzie rozdeľujeme na dva typy:- emulzia olej vo vode(O/W) alebo voda v oleji W/O.

Zloženie emulzných trhavín.

Výhodou emulzných trhavín je, že väčšina vstupných surovín sú nevýbušné látky. Môžeme ich rozdeliť do nasledovných skupín:

Diskontinuálna anorganická fáza(vodná) tvorí približne 90% z celkového množstva zmesi a z väčej časti obsahuje vodný roztok alebo taveninu dusičnanu amónneho, dusičnanu sodného a dusičnanu vápenatého s malým obsahom vody. Zmes obsahuje vodu od 5%-20% .

Kontinuálna organická fáza(olejová) výrazne vplýva na stabilizáciu systému. Pre prípravu stabilných emulzií sa používajú mikrokryštalický vosk, polyolefíny, oleje a parafíny.

Emulgátory sú chemické zlúčeniny obsahujúce vo svojej štruktúre hydrofilnú a lipofilnú časť. Lipofilná časť molekuly emulgátora sa viaže k olejovej fáze a hydrofilná časť sa viaže k vodnej fáze . V emulziách sa používajú na vytvorenie spojitého rozhrania medzi diskontinuálnou a kontinuálnej fázou. Hydrofilná – lipofilná bilancia (HLB) je charakteristická hodnota určujúca aký druh emulzie vznikne. Pomerne nízka hodnota HLB (3-6)vedie k vytvoreniu emulzie typu voda v oleji W/O.

Najrozšírenejšie emulgátory sú estery vyšších mastných kyselín so sorbitolom, glycerínom, s deriváty oxazolínu ,estery kyseliny fosforečnej, anorganické soli vyšších alkylamínov.

Senzibilizátor

Emulzné trhaviny sú malo citlivé k vonkajším podnetom ,preto sa do emulzií pridáva senzibilizátor, ktorý zvyšuje ich citlosť k iniciácií. Senzibilizátory možno rozdeliť do troch skupín:

- inertné materiály ,ktoré sú tvorené dutými mikrobalónami vyrobené zo skla a termoplastov,
- chemické látky, pričom reakciu v emulzií dochádza ku vzniku plynných bubliniek

Najčastejšie používaným scitlivoodlom pri výrobe náložkovaných emulzných trhavín sú duté mikrobalóny zo skla, ktoré sa môžu kombinovať s látkami schopnými uvoľňovať chemickou reakciu plyny ,ktoré vytvárajú v trhavine tzv. horúce jadra. Medzi takéto látky zaraďujeme dusitanu a peroxydy.

Špeciálne prímesi sú látky, ktoré v malých množstvach zlepšujú kvalitu, stabilitu, ovplyvňujú hustotu a funkčné parametre emulzných trhavín.

Technológia výroby náložkovaných emulzných trhavín

Technológia výroby emulzných trhavín sa skladá z nasledovných častí: príprava surovín výroba emulzie, scitlivenie emulzie, náložkovanie trhaviny, chladenie náložiek a balenie.

Základom výroby 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. ,ktorá sa potom uskladní v zásobníku . Vyrobenná emulzná matrica sa čerpá zo zásobníka do zmiešavacieho šneku, v ktorom sa vykoná senzibilizácia mikrobalonmi a. takto pripravená trhavina sa potom balí na náložkovacom stroji do plastových náložiek ,ktoré sa dopravujú pásom do chladiaceho žľabu, kde sa ochladia na cca 35-45 °C. Následne sa každá náložka označí a vloží do expedičného obalu . Moderná linka výroby emulzných trhavín je sledovaná a ovládaná počítačom z panelu.

Čerpateľné emulzné trhaviny

Základom výroby čerpateľných emulzných trhavín je príprava emulznej matice 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 umiestnejenej 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 čerpateľnou emulznou trhavinou, ktorá je senzibilizovaná bublelkami plynu, ktorý vzniká reakciou chemickej látky a emulznej matice.

3. Výbušné predmety

Zo sortimentu výbušných predmetov sú pri trhacích prácach najpoužívanejšie elektrické a neelektrické rozbušky a bleskovica.

Elektrické rozbušky sa skladajú z objímky – dutinky a poistky. V objímke je zalisovaná vlastná náplň rozbušky. Poistikou sa nie len dosiahne väčšia manipulačná bezpečnosť (môže sa uvoľňovať náplň rozbušky), ale dosiahne sa aj zosilnenie steny, usmernenie detonácie, dosiahne sa aj zmenšenie medznej náplne traskavín. Najbežnejšie rozbušky sú s dutinkou medenou a s dutinkou hliníkovou. Hliníkové rozbušky, t.j. rozbušky s dutinkou a poistikou hliníkovou obsahujú ako primárnu náplň zmes technického azidu olovnatého a tricinátu, ako sekundárnu náplň brizantú trhavinu pentrit, TNT.

Rozbušky milisekundové, polsekundové, okamžité rozbušky sa môžu používať pri trhacích prácach samostatne alebo pre vytvorenie časovej roznetnej siete k iniciacii počinových náložiek alebo trhaviny na povrchu a v podzemí v nevýbušnom prostredí.

Neelektrické rozbušky

Neelektrické rozbušky skladajú z hliníkovej alebo medenej dutinky, primárnej náplne s obsahom azidu olovnatého, sekundárnej pentritovej náplne, kovového valčeka s oneskorovacou zložkou, tlmiča detonácie a špeciálneho gumového tesnenia slúžiaceho na pripojenie rázovej rúrky .Plastová rázová rúrka ,ktorá je pokrytá na vnútorej strane jemnou vrstvou výbušiny tvorenou zmesou oktogenu a hliníka (HMX/Hliník). Vonkajší povrch rázovej rúrky je zo špeciálneho plastu odolného proti oteru a namáhaniu. Neelektrické rozbušky milisekundového spolu s časovanými konektormi sú určené k iniciovaniu náložkovaných a voľne sypaných, ako aj pneumatický nabíjaných trhavín v povrchových lomoch.

Bleskovica pentritová

Duša bleskovice je z pentritu – ktorá je uložená v trubičke vzniknutej zvinutím prúžku z celofánu alebo iného materiálu. Stredom duše prechádza vodiaca niť, celá duša je potom opradená niťami z pevného textilného materiálu. Ako ochranný obal k dosiahnutiu vodotesnosti sa dnes používa najčastejšie povlak zo zmäkčeného PVC zelenej farby, aby sa dosiahlo rozlišenie od zápalnice. K detonácii sa bleskovica privádzá jedine rozbuškou. Pretože sa bleskovica podobá určitými účinkami rozbuške, môže ju v niektorých prípadoch nahradíť pri iniciacii trhavín.

4. Nebezpečné chemické látky v technologickom procese výroby , pri manipulácií a skladovaní výbušní a výbušných predmetov.

Zo stručného prehľadu technológie výroby uvedených typov výbušní a z príslušných KBÚ jednotlivých trhavín a surovín vyplýva ,že používané výrobky sú v zmysle platných predpisov definované ako nebezpečné chemické látky / NCHL/ a prípravky /NCHP/ ohrozujúce život a zdravie ľudí ako aj životné prostredie. V procese výroby pri všetkých typov trhavín vznikajú alebo sa používajú NCHL a NCHP , ktoré sú uvedené v § 3, bod a -o v Zákone č. 163 / 2001 Z.z.o chemických látach a prípravkoch a v znení neskorších predpisov o zmene a doplnení niektorých zákonov .Najrizikovejšie technologické uzly ohrozujúce zdravie pracovníkov a životné prostredie sú:

- výroba nitroesterov (nitroglycerínu a nitroglykolu) na automatickej kontinuálnej nitračnej linke,
- denitrácia odpadových kyselín tepelným rozkladom v kolóne ,vznikajúcich po nitrácii

- homogenizácia, náložkovanie a balenie plastických a poloplastických trhavín
- homogenizácia, náložkovanie a balenie sypkých trhavín na baze trinitrotoluénu

Pracovníci ,ktorí vykonávajú činnosti pri obsluhe určených zariadení sú vystavení vplyvu veľmi jedovatými kvapalnými výbušnými látkami nitroestery ako s nebezpečným chemickým faktorom (NCHF). Ich výparы môžu vnikať do ľudského organizmu hlavne vdychovaním v uzavorenom priestore alebo pokožkou len v prípade pri nepoužívaní predpísaných osobných ochranných pracovných prostriedkov (OOPP).

Pracovníci pri obsluhe zariadení aj vo vonkajšom prostredí v procese denitrácie odpadových kyselin a absorpcie oxidov dusíka a síry sú obmedzene exponovaní NCHF vdychovaním, inhalačne pozitívm ale aj kontaktom cez pokožku a sliznicu v závislosti od druhu chemickej látky.

V procese výroby sypkých trhavín sú pracovníci pri obsluhe zariadení exponovaní výbušninou trinitrotoluén (NCHF) po zomletí, vdychovaním a kontaktom cez pokožku a sliznicu. Uvedené v KBÚ sú veľmi dôležité pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci s nebezpečnými chemickými.

V KBÚ pre každú nebezpečnú látku - chemický faktor sú popísané fyzikálno-chemické a toxikologické vlastnosti ako aj pokyny pre skladovanie, dopravu, manipuláciu ako aj riešenie mimoriadnych situácií. Výstražné symboly, symboly ohrozenia a nebezpečenstva a symboly pre bezpečné používanie faktormi. uvedené v KBÚ sú veľmi dôležité pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci s nebezpečnými chemickými.

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. pre plastické, poloplastické a sypké trhaviny.

Najvyššie prípustné expozičné limity

Najvyššie prípustné limity (NPEL) pre nebezpečné chemicke faktory sú stanovené priemernou hodnotou a hraničnou hodnotou. Najvyššie prípustné expozičné limity priemerný sa nesmie prekročiť v celozmenovom priemere a vzťahuje sa na osiemhodinovú pracovnú zmenu a 40 hodinový pracovný týždeň.

Tabuľka 1

Por. číslo	Chemická látka	CAS	NPEL				Poznámka	
			priemerný		krátkodobý			
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³		
1.	Nitroglycerín (glyceroltrinitrát)	55-63-0	0,01	0,095	0,02	0,19	K	
2.	Nitroglykol dinitrát etylénglykolu)	628-96-6	0,05	0,32	0,1	0,6	K	
3.	Etylénglykol (etán-1,2-diol)	107-21-1	20	52	40	104	K	
4	2,4,6-Trinitrotoluén	18-96-7	0,011	0,1	0,022	0,2	K	

¹⁾ CAS – skratka pre **Chemical Abstracts Service** (Úrad pre registráciu chemických látok), ktorý poskytuje periodicky indexované informácie o štruktúrach chemických zlúčenín.

²⁾ K – znamená, že chemický faktor môže byť ľahko absorbovaný kožou.

Spôsoby na elimináciu expozície pracovníkov s chemickým faktorom (CHF) v pracovnom prostredí.

- znížením množstva CHF v objekte, ak to nie je potrebné
- zabezpečiť vhodným zariadením výmenu vzduchu
- znížiť čas expozície zamestnanca v objekte
- používať vhodné ochranné pracovné prostriedky
- vylúčiť zdroje vznietenia a tým zabrániť požiaru alebo výbuchu
- vypracovať havarijný plán pre bezpečnosť a ochranu zamestnancov v prípade vzniku miorniadnej udalosti

Technológia výroby sypkých trhavín typu DAP, náložkovaných a čerpateľných emulzných trhavín výrazne nevpĺýva negatívne na pracovné a životné prostredie .

K výraznému znečisteniu životného prostredia môže nastať len v prípade požiaru alebo výbuchu.

5. Výbušné predmety

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 oktogenu s hliníkom ,ktoré sú v zmysle platnej legislatívy o chemických látkach a prípravkoch v znení neskorších predpisov, klasifikované ako nebezpečné faktory. Pôsobenie uvedených nebezpečných látok na zdravie pracovníkov je eliminované ich zapracovaním do vnútorej časti kovového a plastového materiálu ,ktorý je hermetický uzavorený. Materiál použitý pre vonkajšie časti neelektrického rozhnetného systému nie je zdraviu škodlivý. Pri používaní neelektrických rozbušiek nedochádza k priamemu kontaktu nebezpečných látok s organizmom.

Bleskovica obsahuje brizantnú trhavinu pentrit. Vzhľadom na to, že výbušnina je uzavretá konštrukciou bleskovice, nehrozí nebezpečenstvo ohrozenia zdravia pracovníkom.

6. Používanie výbušní a ich vplyv na životné a pracovné prostredie.

Výbušniny ako NCHF , ktoré sa vyrábajú ,skladujú, dopravujú .sa používajú pri výkone trhacích prác malého a veľkého rozsahu Táto činnosť sa realizuje na základe nasledovných podmienok:

- oprávnenie dodávateľa na túto službu odborne spôsobilou osobou
- povolenie na odber výbušnín vydaného príslušným OBÚ
- zabezpečenie skladovania výbušnín v prenajatom sklage výbušnín
- doprava výbušnín vozidlom ADR
- manipulácia s výbušinami pri nabíjanií vývrtov vyškolenými pracovníkmi
- dodržiavanie schválených technologických postupov pri výkone trhacích prác

Výroba a spracovanie výbušní na mieste spotreby

Výroba výbušní sa zabezpečuje priamo na mieste spotreby u odberateľa zo schváleného miešacieho a nabíjacieho vozidla na ktorom sa vyrába a dodáva čerpateľná emulzna trhavina, ktorá sa následne nabíja priamo do vývrtov na mieste spotreby u odberateľa .Predmetné vozidlo a uvedená trhavina boli schválené v zmysle platných predpisov pre výbušnosti Hlavným banským úradom v Banskej Štiavnici a v Konštrukte - Defence, a.s. Trenčín.

Identifikácia vlastnosti nebezpečných chemických faktorov

Skladované a používané trhaviny a rozbušky sú chemické látky alebo zmesi ,ktoré sa na základe KBÚ svojim zložením a chemicko-fyzikálnymi vlastnosťami zaraďujú medzi nebezpečné

chemické faktory – výbušné látky s obsahom veľmi jedovatých látok a jedovatých látok, oxidujúcich, škodlivých, nebezpečných, horľavých, dráždivých a pod.

Uvedené výrobky sa , skladujú ,dopravujú a manipuluje sa s nimi pre vykonávaní trhacích prác malého a veľkého rozsahu pri dobývaní nerastných surovín na povrchu a podzemí.

Spoločnosť z prenajatého skladu výbušnín dopravuje výbušninu a rozbušky s ktorími manipuluje pri výkone trhacích prác priamo u odberateľa.

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.2 uvedené najvyššie prípustné expozičné limity (NPEL) plynov, pár a aerosólov s prevažne toxickej účinkom v pracovnom prostredí pri razení tunela.

Tabuľka 2

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 ako NO ₂	630-08-0 10102-44-0	20 1	25 2	- -	- -	NPEL do 21. 08. 2023 pre podzemnú ťažbu a razenie tunelov 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, ktoror 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 expozičiu 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.

Pri cyklickom razení tunelov a špeciálnych tunelových rúr Novou rakúskou tunelovacou metódou (NRTM) , sa pri rozpojovaní skalných hornín využívajú moderné výbuchové technológie a progresívne prostriedky trhacej techniky. Aj keď sú v súčasnosti stále častejšie konštruované a vyrábané trhaviny a rozbušky s menším podielom toxickejch a karcinogénnych látok, zostáva na existujúcom trhu s prostriedkami trhacej techniky dosť takých výrobkov, ktoré spôsobujú neželané zamorenie a znečistenie pracovného prostredia na povrchových a podzemných ťažobných pracoviskách. Výnimkou nie sú ani razené čelby tunelových rúr pri výstavbe cestných

a železničných tunelov, v ktorých sa vo veľkom rozsahu používajú rôzne druhy dovážaných priemyselných trhavín, ako aj rôzne typy rozbušiek. Povýbuchové splodiny, vytvorené v priestore čelby razenia po periodicky vykonávaných odstrelach, za účelom dosiahnutia požadovaného postupu záberu, spolu s výfukovými splodinami vznetových motorov ťažobných mechanizmov, spôsobujú nežiaduce znečistenie a zníženie kvality banského ovzdušia na konkrétnych podzemných pracoviskách. Negatívny vplyv rozpojovania skalných hornín výbuchovou energiou priemyselných trhavín, najčastejšie trhacími prácamai malého rozsahu, sa vzťahuje na všetky banské pracoviská i na tunely.

Z toho dôvodu je neodmysliteľnou súčasťou pri razení čielieb banských chodieb a cestných tunelov ich odvetrávanie, nakoľko sa pri výkone trhacích prác a pri práci dieselových vŕtacích a odťažobových mechanizmov, vytvárajú aj nežiaduce povýbuchové splodiny. Aj keď neexistuje jednotný a presne stanovený postup vetrania pri razení banských chodieb a tunelov, ktorý by postihol súčasne, banskú činnosť (baňa) a činnosť vykonávanú banským spôsobom (tunel), princíp separátneho vetrania zostáva v obidvoch prípadoch rovnaký. Nutnosť využitia umelého odvetrávania priestoru čelby razenia banskej chodby alebo tunela je daná potrebou zriedenia vyprodukovaných toxickejch a karcinogennych splodín na priprustné hodnoty. Pri odvetrávaní banských pracovísk po vykonaných odstrelach na záber postupu, využívajú zodpovedné vetracie technici existujúce typizačné smernice, ktoré sú v mnohých prípadoch aplikované aj v tuneloch, pre ktoré podobné smernice chýbajú.

Projektované parametre vetrania pri razení banských chodieb a tunelov preto musia zohľadniť viaceré požiadavky a okrem iného hlavne zabezpečiť :

- dýchatelné 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 splodin 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 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 toxicke 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.

Vo všeobecnosti platí, že uvedené faktory priamo ovplyvňujú uvoľňovanie škodlivých chemických látok na pracoviskách, na ktorých sa odstrelly resp. strelné práce v tuneloch vykonávajú. Na tomto

mieste je treba kriticky doplniť, že testovanie toxickej 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 prejavíť ešte výraznejšie v prípade, keď pri trhacích práciach veľkého rozsahu dôjde k nepredvídanej mimoriadnej udalosti a celkovému zlyhaniu odstrelu.

Miera vystavenia zamestnancov chemickým faktorom vo vzťahu k limitným hodnotám uvedeným v nariadení vlády č. 355/2006 Z. z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozičiou chemickým faktorom pri práci nie je známa, nakoľko merania koncentrácií chemických faktorov v pracovnom ovzduší neboli realizované vzhľadom na rozsah a charakter vykonávaných prác.

Pracovníci pri manipulácii sú počas výkonu trhacich prác na vonkajšom prostredí obmedzene exponovaní CHF v závislosti od druhu látky inhalačne požitím ale aj kontaktom cez pokožku a sliznice.

Záver

Kontakt pracovníkov a tým aj expozičia s CHF sa musí minimalizovať technickými a organizačnými opatreniami:

- neporušené expedičné obaly ,používanie OOPP,
- zavedenie nových typov výbušnín bez obsahu veľmi toxickejch látok
- použiť nové technológie na výrobu výbušnín priamo na mieste spotreby,
- využívať pri trhacích práciach mechanizované zariadenia na pneumatické nabíjanie trhavin typu DAP.

Literatúra

1. Zákon NR SR č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov a Zákon 475/2019 s účinnosťou od 01.01.2020.
2. Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 355/2006 Z.z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozičiou chemickým faktorom pri práci.
3. Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 356/2006 Z.z. o ochrane zdravia zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozičiou karcinogénym a mutagénnym faktorom pri práci a Nariadenie vlády 110/2019 s účinnosťou od 01.05.2019
4. Zákon č.58/2014 o výbušninách, výbušných predmetoch a municií a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
5. Zákon č. 163/2001 Z.z.o chemických látach a chemických prípravkoch
6. Zákon č. 405/2008 Z.z.o chemických látach a chemických prípravkoch v znení neskorších predpisov o zmene a doplnení niektorých zákonov
7. 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 expozičiou chemickým faktorom pri práci v znení neskorších predpisov
8. Jakubček. E.: Príspevky z medzinárodnej konferencie Trhacia technika.
9. Jakubček. E.: Technická dokumentácia, KBÚ a návody na používanie uvedených trhavín od citovaných výrobcov.
10. Bauer,V.: Prostriedky vŕtacej a trhacej techniky. Equilibria Košice,2014. 170 s. ISBN: 978-80-8143-147-0.

OPTIMALIZÁCIA TRHACÍCH PRÁC V LOME SEDLICE OPTIMIZATION OF BLASTING WORKS IN SEDLICE QUARRY

Martin Konček^{1)*}, Marian Šofranko¹⁾, Jozef Čambál¹⁾, Ján Fehér¹⁾, Martin Šuver²⁾

¹⁾*Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Košice, Slovenská Republika*

²⁾*EUROVIA - Kameňolomy, s.r.o., Lom SEDLICE*

*Korešpondenčný autor: e-mail: martin.koncek@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 3124, Ústav zemských zdrojov - Oddelenie montánnych vied, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika

Abstrakt

Trhacie práce v lome predstavujú jeden zo základných technologických procesov, ktorého cieľom je získanie rozvalu rúbaniny o vhodnej fragmentácii. Pri realizácii odstrelrov je pritom dôležité zabezpečiť, aby tieto trhacie práce negatívne neovplyvňovali bezpečnosť okolia (pôsobením seizmických účinkov, nadmerného rozletu a pod.). Z tohto dôvodu je potrebné sa neustále zaoberať optimalizáciou trhacích prác jednak z hľadiska ich parametrov, ale aj používaných trhavín a pomôcok trhacej techniky. V príspevku sú uvedené riešenia optimalizácie trhacích prác v lome Sedlice z hľadiska splnenia kvalitatívnych a bezpečnostných požiadaviek.

Klúčové slová: trhacie práce, seizmické účinky, fragmentácia

Abstract

Blasting operations in the quarry represent one of the basic technological processes, the aim of which is to obtain a span of timber of suitable fragmentation. When doing blasting, it is important to ensure that these blasting operations do not adversely affect the safety of the environment (due to seismic effects, excessive take-off, etc.). For this reason, it is necessary to constantly address the optimization of blasting operations, both in terms of their parameters, but also ingested explosives and blasting aids. The paper presents solutions to optimize blasting operations in the quarry Sedlice in terms of meeting quality and safety requirements.

Keywords: blasting works, seismic effects, fragmentation

Úvod

Trhacia technika zaznamenala veľký vývoj od vynálezu dynamitu Alfrédom Nobelom (1867) a tracie práce sú stále najefektívnejšou a najekonomickejšou metódou na rozpojenie horninového prostredia. Trhacie práce majú a oddávna mali rozhodujúcu úlohu pre človeka pri získavaní nerastných surovín. Na druhej strane však rozpojovanie horninového masívu výbuchom sa deje v dôsledku uvoľnenia energie výbuchu, ktorá sa mení na energiu seismických vln, čo spôsobuje aj veľa problémov spôsobených hlukom a vibráciami. Najmä vibrácie spôsobené trhacími prácamy rozpojovania horninového masívu, môžu prekročiť únosné – bezpečné hranice kedy sa stávajú škodlivými a môžu zapríčiniť veľké škody na okolitých budovách a nepríjemné pocity pre obyvateľov. S rastúcou hmotnosťou nálože trhaviny rastie aj intenzita vlnenia seismických vln, ktoré sa šíria v horninovom prostredí a spôsobujú kmitanie jednotlivých časti tohto prostredia.

Redukcia alebo regulácia seismických účinkov vibrácií je preto veľkým problémom pre väčšinu lomových prevádzok. Clonové odstrelty sú známe ako účinný spôsob redukcie otriasov. Pri tejto metóde sú jednotlivé vývrty odpálene jeden po druhom s určitým časovým oneskorením. Vibračné vlny, vybudené pri trhacích prácach z vývrtov sa navzájom rušia a rýchlosť kmitania sa môže znížiť pomocou vhodných časových intervalov. Napriek teoretickej jednoduchosti je zvyčajne ľažké predvídať rýchlosť kmitania s dostatočnou presnosťou v dôsledku chyby v načasovaní oneskorenia a nehomogénnosti horninového prostredia.

Nesmierne dôležitým a aktuálnym problémom je definícia nežiaducich efektov a určenie seismickej bezpečnosti. Je požadované vypracovať ekonomicky a hospodárne prospešnú metódu, ktorá by z jedného pohľadu zaistila určitosť neporušovania objektu a z druhého pohľadu najúspornejšiu technológiu trhacích prác pri fragmentácii horniny.

V súčasnej dobe je skúmanie seismických účinkov neoddeliteľnou súčasťou trhacích prac. Odstrelty sú vopred plánované v závislosti od aplikovaných meraní. S využitím nameraných údajov sa upravujú parametre ďalšieho odstrelu. Medzi upravované parametre patria napríklad uhol, rozostup vrtov, zaber a neposlednom rade časovanie odstrelov v jednotlivých vrtoch aby splňali fragmentáciu horniny a chrámenie objektov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti vykonávaného odstrelu.

1 Geologická stavba horninového prostredia v okolí lomu Sedlice

Dobývací priestor EUROVIA - Kameňolomy, s.r.o., Lom SEDLICE sa nachádza v pohorí Čierna hora, vzdialený cca 1 km juhovýchodným smerom od

obce Sedlice a cca 1 km juhozápadne od obce Suchá Dolina patriaci do Prešovského kraja. Prístupný je panelovou cestou o dĺžke 1 km, ktorá sa napája na štátnu cestu III. triedy pred obcou Suchá Dolina v smere od obce Ľubovec. Celkovo je toto územie mierne členité, prevažne vrchovinného charakteru, zväčša zalesnený bukovo hrabovým lesom a jedľovo smrekovým lesom na hnedých lesných pôdach, rendzinách a karbonátových pôdach. Vrchoviny pozostávajú z druhohorných kryštalických a flyšových hornín.



Obr. 1 Letecká snímka lomu EUROVIA - Kameňolomy, s.r.o., Lom SEDLICE

Dobývaným nerastom v tomto kameňolome je výlučne dolomit stredného a vrchného triasu obalového mezozoika. Najrozšírenejším typom dolomitov v lome sú tmavosivé celistvé až jemnozrnné dolomity, ktoré majú veľmi jemnozrnnú štruktúru a ich textúra je všesmerná, zriedkavo aj páskovaná. Druhým najrozšírenejším petrografickým typom sú zastúpené brekciovité a organodetritické dolomity a okrem nich aj svetle kryštalické strednozrnné dolomity a hrubozrnné dolomity.

2 Meracie stanoviská a použitá aparátúra pri meraní technickej seizmicity

Posudzovanie dynamických účinkov odstrelov veľmi závisí na meracej technike, ktorá je použitá na získanie výsledkov. Pre presné a objektívne výsledky merania je dôležité poznáť meracie prístroje a postupy pri meraniach. Podstatné je uloženie a množstvo snímačov, ktoré ma podstatný vplyv na presnosť merania. Uloženie snímačov môže byť bez prídavného zakotvenia alebo so zakotvením. Pri výbere vhodného snímača je rozhodujúca jeho hmotnosť. V prípade že je jeho hmotnosť nižšia ako sila, ktorá pôsobí kmitavým pohybom, je nutné dôkladné pripojenie k miestu merania. Ak je hmotnosť zariadenia vyššia takéto opatrenie nie je nutné. bezpochybne veľkú mieru

v presnosti merania hrá aj správna orientácia snímača k centru plánovaného odstrelu.

Na meranie a grafický záznam seismických účinkov odstrelu boli použité nasledujúce digitálne seismické prístroje na uvedených meracích stanoviskách:

- Minimate Pro 6 - Instantel (Obr. 2),
- Svantek 958 A - Trieda 1 (Obr. 3).



Obr. 2 Minimate Pro 6 - Instantel



Obr. 3 Svantek 958 A - Trieda 1

Meracie stanoviská boli situované na najbližšie objekty a to: obytný dom v obci Miklušovce (S1) a obytný dom v obci Sedlice (S2). Na stanovisku S1 bol umiestnený vibrograf Svantek 958A na základoch pri vchode do obytnej budovy a na stanovisku S2 bol vibrograf Minimate Pro 6 tiež pri vchode do obytnej budovy. Vibrografy zaznamenali účinky seismických vĺn na monitorovaných objektoch. Polohy použitých aparatúr so snímačmi sú zakreslené na Obr. 4 a 5. Vibrografy poskytujú digitálny a grafický záznam všetkých troch rýchlosť kmitania častic prostredia, horizontálna pozdĺžna - vx, horizontálna priečna - vy, vertikálna - vz. Vibrografy pracujú autonómne, automaticky uskutočňujú test kanálov bez zásahu a vplyvu operátora do nameraných a zaregistrovaných charakteristik kmitania.



Obr. 4 Pozícia a vzdialosť clonového odstrelu v lome Sedlice voči meraciemu stanovisku - obytný dom v obci Miklušovce



Obr. 5 Pozícia a vzdialosť clonového odstrelu v lome Sedlice voči meraciemu stanovisku - obytný dom v obci Sedlice

3 Parametre clonového odstrelu v lome Sedlice

Zdrojom seizmických účinkov bol clonový odstrel na ložisku EUROVIA - Kameňolomy, s.r.o., Lom SEDLICE. Z ochrany osobných údajov (GDPR), nezverejňujeme technické parametre o odstrele ako je: priemer vývrtov, sklon vývrtov, hĺbka vývrtov, rozostup vývrtov, záber, názov trhaviny, hmotnosť nálože v jednom vývrte, celková nálož, časovanie.

4 Metodika merania a vyhodnotenie nameraných údajov

V marci 2020 bolo uskutočnené meranie technickej seismicity clonového odstrelu na hore uvedených stanoviskách. Z nameraných hodnôt sme zhodnotili účinky clonového odstrelu na individuálny obytný dom v Sedliciach a Miklušovciach. Meracie aparátury boli umiestnené na stanoviskách tak, aby registrovali priebeh vlnenia v blízkosti trhacích prac na najbližšie obytné domy, kde by mohlo dochádzať k poškodeniu objektov účinkom trhacích prac.

Aparátury uložené na stanoviskách boli pred meraním kalibrované a prekontrolovaná bola ich citlivosť. Na meracích stanoviskách bol zaznamenaný grafický priebeh jednotlivých zložiek seizmického vlnenia pri odstrele. Vibrografy boli na meracích stanoviskách umiestnené tak, aby bolo možné posúdiť vplyv vybudenej technickej seismicity na posudzované objekty.

Na základe nameraných hodnôt rýchlosťí a frekvencií jednotlivých zložiek vlnenia pri clonovom odstrele sme mohli vyhodnotiť podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 (Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií) účinky jednotlivých odstrelov na bytovú zástavbu v obci Sedlice a Miklušovce.

Tab. 1 Namerané hodnoty rýchlosťi kmitania pri odstrelu

Stanovisko	Vzdialenosť	V_x mm. s ⁻¹	V_y mm. s ⁻¹	V_z mm. s ⁻¹
obytný dom v obci Miklušovce (S1)	1 060 m	1,78	1,16	0,94
obytný dom v obci Sedlice (S2)	1 100 m	1,65	1,21	0,85

5 Analýza a zhodnotenie nameraných údajov

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 seismicite je možno stavebné objekty v obciach Sedlice a Miklušovce zaradiť do triedy odolnosti B (pozri Tab. č.2).

Tab. 2 Závislosť stupňa poškodenia od maximálnej rýchlosťi kmitania, druhu objektu a základovej pôdy podľa STN EN 1998-1/NA/Z1.

Maximálna rýchlosť kmitania pre frekvenčnú oblasť			Stupeň poškodenia	Trieda odolnosti objektu	Druh základovej pôdy
$f_k < 10$ Hz	$10 \text{ Hz} < f_k < 50$ Hz	$f_k > 50$ Hz			
do 3	3 až 6	6 až 5	0	A	a
3 až 6	6 až 12	12 až 20	0	A	b,c
				B	a
6 až 10	10 až 20	15 až 30	0	B	b,c
				C	a
			1	A	a
8 až 15	15 až 30	20 až 30	0	C	b
				B	c
			1	A	b,c
				B	a

Čo sa týka druhu a kategórie základovej pôdy chránených objektov, túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristík a údajov, môžeme zatriediť do kategórie b, čo je najbližšie ku skutočnosti (hladina podzemnej vody je viac ako 3 m pod úrovňou povrchu).

Okrem nameraných hodnôt frekvencie kmitov ($f < 10$ Hz) je potrebné zobrať do úvahy dlhodobejší charakter odstrelov na ložisku dolomitu a taktiež vyšší vek obytných objektov (stanoviská), na ktorých boli zistené menšie

praskliny. Z týchto dôvodov možno stanoviť maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosťi):

$$v_d \leq 3 \text{ mm.s}^{-1}.$$

Na základe nameraných údajov, môžeme vypočítať množstvo trhavín, pričom nebude presiahnutá povolená maximálna rýchlosť kmitania. Ak podľa STN EN 1998-1/NA/Z1 platí:

$$v = K \cdot \frac{\sqrt{Q_{ev}}}{L},$$

(v - je nameraná maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosťi kmitania) generovaná odstrelom, [mm.s^{-1}])

potom z uvedeného vzťahu koeficient prenosového prostredia K pre blízke okolie v lome Sedlice má hodnotu:

$$\begin{aligned} K_1 &= v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 1,78 \cdot 1060 / \sqrt{150} = 1886,6 / 12,24 = 154,1, \\ K_2 &= v \cdot L / \sqrt{Q_{ev}} = 1,65 \cdot 1100 / \sqrt{150} = 1815 / 12,24 = 148,3. \end{aligned}$$

Ťažba na lokalite Sedlice je uskutočňovaná clonovými odstrelmi. Na základe nameraných a vypočítaných hodnôt pri clonovom odstrele v lome Sedlice pri opakovanych clonových odstrelach v lome Sedlice je možne použiť maximálnu dovolenú nálož na jeden časovací stupeň v závislosti od vzdialenosť takto:

$$\begin{aligned} \text{Pre vzdialenosť } 1000 \text{ m } Q_{vmax} &= v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 1000^2 / 154^2 = 379,5 \text{ kg,} \\ \text{Pre vzdialenosť } 1500 \text{ m } Q_{vmax} &= v^2 \cdot L^2 / K^2 = 3^2 \cdot 1500^2 / 154^2 = 854 \text{ kg,} \end{aligned}$$

Zároveň dosiahneme aj lepšiu fragmentáciu rozdrvenej horniny.

Záver

Namerané hodnoty použitou aparátúrou pri meraní technickej seismicity neboli prekročené najnižšie hodnoty, ktoré stanovuje platná Slovenská technická norma STN EN 1998-1/NA/Z1 Seismické zaťaženie stavieb $v_d = 3 \text{ mm.s}^{-1}$ pre frekvencie menšie ako 10 Hz a pre základovú pôdu typu „b“. Tieto hodnoty sú z pohľadu seismickej bezpečnosti pre stavebné objekty aj obyvateľov bezpečné. Na základe nameraných hodnôt, môžeme konštatovať, že z hľadiska vplyvu seismických účinkov odstrelu na ľudí v bytových objektoch v dedinách Sedlice a Miklušovce, kde clonový odstrel neprekročil maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania.

Použitá literatúra:

- [1] Dojčiar, O., Pandula, B., 1998: Výskum technickej seizmicity v lome Včeláre, Výskumná správa, F BERG TU Košice, 42 s.
- [2] DVOŘÁK, A.: „Základy inženýrskej seismiky“, Praha, 1969.
- [3] Dojčiar, O. a kol., 1996: Trhacia technika, Montanex, a.s., Ostrava 1996, 421 s.
- [4] DOJČÁR, O., HOŘKY, J., KOŘINEK, R., „Trhacia technika“, Montanex a.s., Ostrava, 1996, 421 s.
- [5] Interné materiály EUROVIA - Kameňolomy, s.r.o., Lom SEDLICE
- [6] Mello, J., Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D., Vozárová, A., 1996: Geologická mapa slovenského krasu. MŽP-GSSR, Bratislava.
- [7] Müncner, E a kol., 2000: Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelov, SSTVP Banská Bystrica 2000, 201 s.
- [8] Pandula, B. a Kondela, J., 2010: Metodológia seismiky trhacích prác, SSTVP Banská Bystrica, DEKI Design, s. r. o., 156 s.
- [9] STN Eurokód 8, Navrhovanie konštrukcií na seismickú odolnosť. Časť 1, národná príloha, zmena 1 (STN EN 1998-1/NA/Z1).

Poděkovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantového projektu VEGA s číslom 1/0317/19 "Výskum a vývoj nových smart riešení na báze princípov Industry 4.0, logistiky, 3D modelovania a simulácie pre zefektívnenie výroby v banskom a stavebnom priemysle." Slovenskej grantovej agentúry pre vedu.

Nové trendy pri vykonávaní trhacích prác v spoločnosti Austin Powder

„New trends in Austin’s blasting services“

Ing. Vladimír Novotný, Ph.D. Austin Powder Slovakia, s.r.o.

Stručná história firmy

- ♦ Austin Powder Slovakia, s.r.o., je súčasťou korporácie Austin Powder Company, Cleveland, Ohio, USA.
- Austin Powder Slovakia, s.r.o., bola založená v roku 2003.
- ♦ Austin Powder Slovakia, s.r.o., je spoľahlivým dodávateľom trhavín, roznetných systémov a servisných služieb v oblasti trhacích prác.
- ♦ Naša spoločnosť sa aktívne podieľa na zavádzaní moderných progresívnych technológií a výrobkov pri vykonávaní trhacích prác na Slovensku.

Technika, s ktorou pracujeme dlhodobo.

Geodetická súprava Topcon



Meranie inklinácie vrtov Pulsar Probe MK3



Meranie detonačnej rýchlosťi- Microtrap Meranie seismiky MINI SUPERGRAPH II



Dron na zameriavanie rozvalu, lomovej steny



Zameriavanie presnej pozície vrtov

Systém EMLID REACH M+



Na spracovanie geodetických dát slúži program Quarry 6

Pre optimalizáciu clonových odstrelcov používame software Paradigm, ktorý je špeciálne navrhnutý pre potreby Austin Powder

Hlavné využíte programu Paradigm:

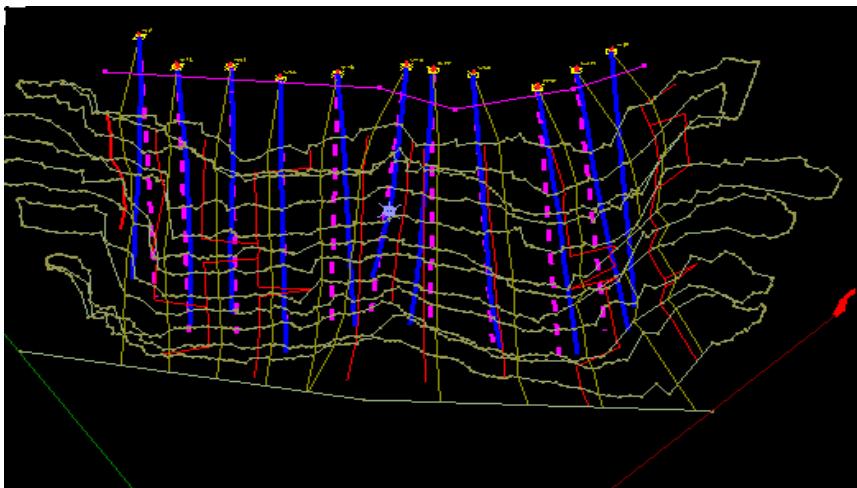
Je to analytický nástroj na:

- projektovanie odstrelcov
- nabíjania
- časovania
- fragmentácie
- obmedzenie rozletu
- seismiky
- obmedzenie účinkov tlak.vlny

Podporuje import súborov aj z Quarry 6, ktorú používame.

V našom prípade je prezentácia využitia programu pre optimalizáciu fragmentácie pomocou elektronického roznetu. Tento systém využívame zatiaľ na lokalite v lome Mníchova Lehota.

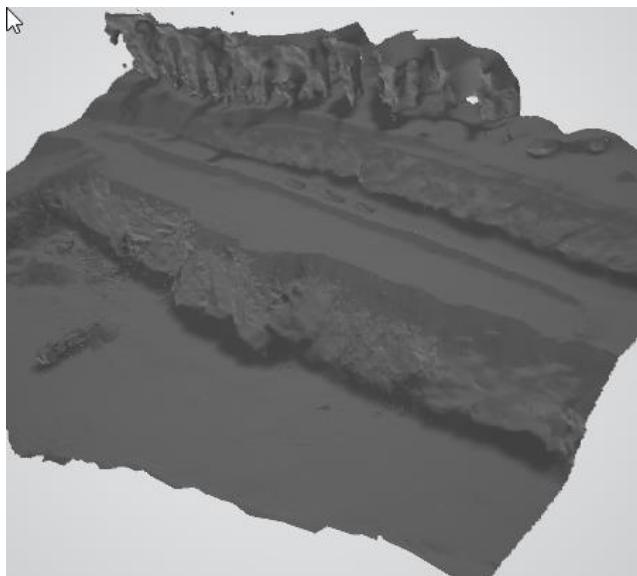
Zameranie lomovej steny pomocou geodetickej stanice TOPCON a vytýčenie odstrelu.



Presné zameranie pozície vrtov pomocou prístroja EMLID



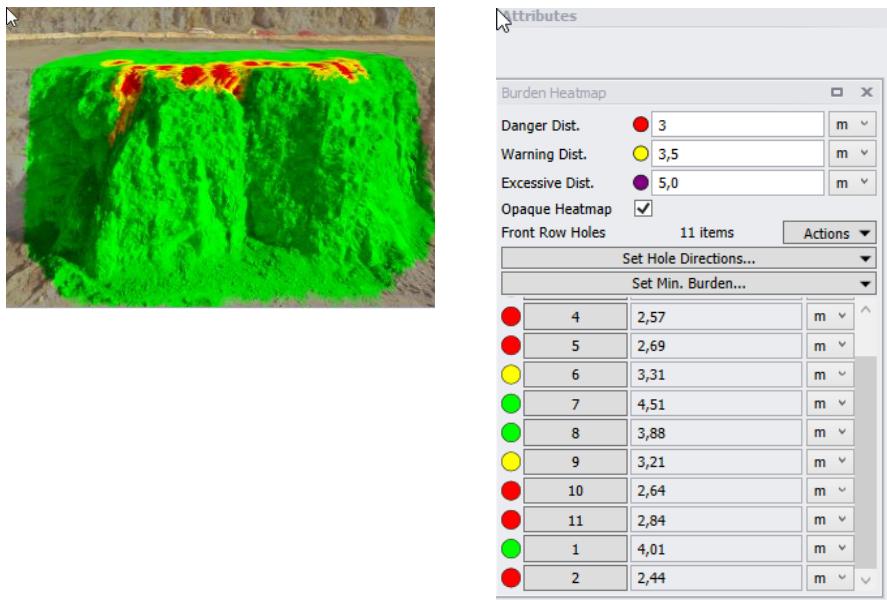
Sken lomovej steny pomocou dronu a vytvorenie 3D modelu



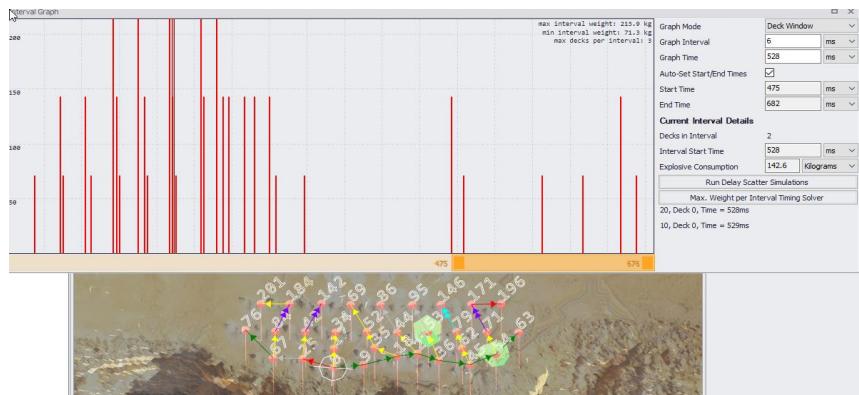
Import pozície vrtov do 3D modelu



Kontrola záberu



Časovanie odstrelu



Kalkulácia fragmentácie

Current Geology Type

Name	Geology 1	Select Holes With This Geology
------	-----------	--------------------------------

Simple Advanced

Max Block Size

<input type="radio"/> 100 - 300 mm	<input type="radio"/> 300 - 600 mm	
<input checked="" type="radio"/> 600 - 900 mm	<input type="radio"/> 900 - 1200 mm	
<input type="radio"/> 1200 - 1500 mm	<input type="radio"/> Custom	
600	900	mm

Rock Strength

<input type="radio"/> Very Soft	<input type="radio"/> Soft	
<input checked="" type="radio"/> Medium	<input type="radio"/> Hard	
<input type="radio"/> Very Hard	<input type="radio"/> Custom	
50	100	MPa

Rock Density

<input type="radio"/> Very Low	<input type="radio"/> Low	
<input type="radio"/> Normal	<input type="radio"/> High	
<input type="radio"/> Very High	<input checked="" type="radio"/> Custom	
2.4	2.65	g/cc

Joint Condition

<input checked="" type="radio"/> Fresh, Tight	<input type="radio"/> Weathered, Open
---	---------------------------------------

In-Situ Block Size Distribution

Kalkulácia časovania

Current Geology Type

Name	Geology 1	Select Holes With This Geology
------	-----------	--------------------------------

Simple Advanced

Block Size

	Lower-Limit	Upper-Limit	
Max Block Size, Bmax	600	900	mm
80% Passing Size	462	682	mm
50% Passing Size	399	582	mm

B50 Adjuster

Rock Strength

UCS Rock Strength	50	100	MPa
-------------------	----	-----	-----

P-Wave Scale Factor 1

P-Wave Velocity 3.373 [4.136] m/sec

Optimum Timing 4.62 [3.77] ms/m

Rock Density

2.4	2.65	g/cc
-----	------	------

Joint Condition

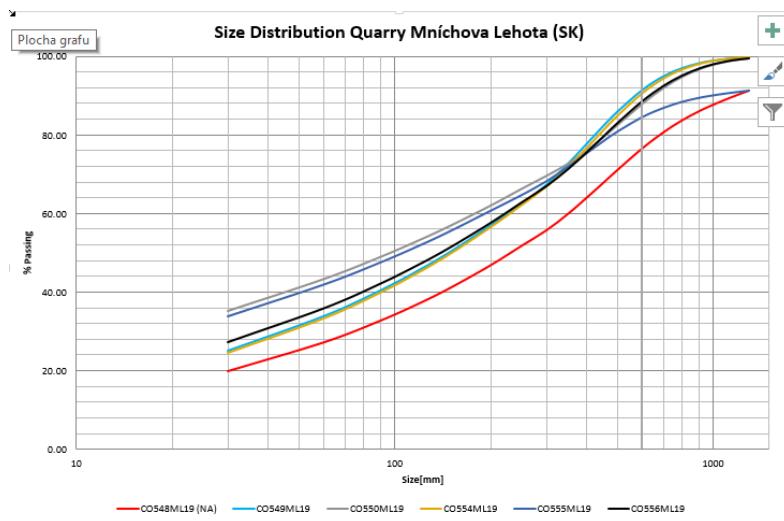
<input checked="" type="radio"/> Fresh, Tight	<input type="radio"/> Weathered, Open
---	---------------------------------------

In-Situ Block Size Distribution

Analýza fragmentácie v lome Mn. Lehota – elektronický roznet



Porovnanie odstrelkov



Záverom môžeme konštatovať, že používanie digitálnych technológií pre optimalizácie výkonu trhacích prác výrazne zvyšuje bezpečnosť a ekonomiku trhacích prác ako na strane objednávateľa tak i na strane dodávateľa trhacích prác.

HISTÓRIA SEIZMIKY TRHACÍCH PRÁC NA F BERG TU V KOŠICIACH

**Prof. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Doc. Mgr. Julián Kondela, PhD.,
Ústav geovied F BERG TU v Košiciach**

Abstrakt

Identifikácia škodlivých účinkov a hodnotenie seizmickej bezpečnosti pri trhacích prácach je v dnešnej dobe aktuálny problém. Na jednej strane je potrebné nájsť najvhodnejší spôsob, ako zabezpečiť neporušenie daného objektu v blízkosti dobývacieho priestoru a na druhej strane definovať najefektívnejšiu technológiu trhacích prác. Cieľom práce bolo priblížiť história výskumu seizmiky trhacích prác na F BERG TU v Košiciach. Bol vypracovaný metodologický postup merania vibrácií, rýchlosť šírenia a frekvencie seizmických vln a na základe ich útlmu hodnotenie účinkov konkrétneho zdroja vibrácií na daný receptor.

Kľúčové slova: *trhacie práce, rýchlosť šírenia a frekvencia seizmických vln, seizmická bezpečnosť, milisekundové časovanie, zákon útlmu seizmických vln*

Abstract

Identifying harmful effects and evaluating seismic safety in blasting operations is a topical issue today. It is necessary on the one hand to find the most appropriate way how to ensure non-violation of the given object situated near to the blasting area and on the other hand to define the most effective technology of blasting. The aim of this paper was to describe the history of research of seismic analysis of blasting at F BERG TU in Košice. A methodological procedure for measuring vibration, velocity and frequency of seismic waves propagation, was developed and based on their attenuation the effects of a particular vibration source on the receptor were evaluated.

Keywords: *blasting, velocity and frequency of seismic waves propagation, seismic safety, milisecond timing delay, law of seismic waves attenuation*

Úvod

Seizmika trhacích prác je súčasťou inžinierskej seizmiky. V praxi sa seizmika trhacích prác zameriava hlavne na riešenie nasledovných problémov:

- meranie a zhodnotenie účinkov známeho zdroja otrássov na určitý receptor,
- prognózovanie účinkov možného zdroja na určitý receptor,
- predpoveď účinkov známeho zdroja na možný receptor.

Prakticky všetky úlohy seizmiky trhacích prác vznikajú kombinovaním týchto troch základných úloh. Z formulácie úloh je zrejmé, že existujú tri zložky, ktoré sú v popredí záujmu seizmiky trhacích prác:

1. zdroj otrássov,
2. prenosové prostredie,
3. receptor.

Na základe experimentov, ktoré boli uskutočnené v lome Včeláre, Trebejov, Kučín a Maglovec, sme pomocou najmodernejšej meracej techniky zmerali seizmické účinky trhacích prác v blízkej zóne zdroja, interpretovali sme jednotlivé typy seizmických vln vznikajúce pri odstrelcoch, stanovili sme rýchlosť šírenia a frekvenciu seizmických vln vznikajúcich pri trhacích prácach. Táto interpretácia umožnila správne stanoviť milisekundové časovanie

v závislosti od porušenosti horninového prostredia a optimalizovať seizmické účinky trhacích prác.

História hodnotenia seizmických účinkov trhacích prác na F BERG TU v Košiciach

Metodológia seizmiky trhacích prác bola vypracovaná na základe dlhoročnej výskumnnej práce prof. Ing. Ondreja Dojčára, CSc., prof. RNDr. Blažaja Pandulu, CSc., prof. Ing. Jána Puzdera, CSc., prof. Ing. Pavla Rybára, CSc., prof. Ing. Michala Cehlára, CSc., prof. Ing. Igora Lešša, CSc., prom. fyzika Imricha Marfiaka, technikov Ivana Pavlova, Juraja Baraníka, Ondreja Jesenského a doktorandov Ing. Rastislava Mihálka, Ing. Jána Bauloviča, PhD., Ing. Ivana Buchlu, Ing. Jána Féhera a Ing. Jozefa Čambala na Katedre dobývania ložísk a prof. Ing. Tibora Šašváriho, CSc., doc. Mgr. Juliána Kondelu, PhD. a Mgr. Vladimíra Budinského, PhD. z Ústavu geovied F BERG Technickej univerzity v Košiciach. Vychádza tiež z výskumných prác českých kolegov A. Dvořáka, I. Brothánka, I. Bartoša, J. Novotného, L. Soukupa a J. Vodu. Tento dlhoročný výskum sa uskutočnil v spolupráci s Ústavom geotechniky SAV v Košiciach (Ing. Michal Kočí, CSc., RNDr. Pavol Slančo, RNDr. Zuzana Krištáková, CSc., RNDr. Annamária Mockovčiaková, CSc.), s Ústavom geoniky AV ČR (prof. Ing. Karel Müller, DrSc., prof. Ing. Zdenek Kaláb, CSc., RNDr. Karel Holub, DrSc., Ing. Jaroslav Knežlík, CSc.), s Ústavom štruktúry a mechaniky hornín AV ČR (RNDr. Vladimír Rudajev, DrSc., Ing. Milan Brož, CSc., Ing. Ján Sklenář, CSc.) a s Geofyzikálnym ústavom AV ČR (prof. Ing. Ludvík Vanek, DrSc., Ing. Alex Plešinger, CSc., Ing. Tomáš Lokajíček, CSc.) a Prírodovedeckou fakultou Univerzity Komenského v Bratislave (RNDr. Jozef Viskup, CSc., doc. RNDr. Viktor Janotka, CSc., doc. RNDr. Vojtech Gajdoš, CSc.).

Výskum optimálnych parametrov trhacích prác začal na vtedajšej Katedre hlbinného dobývania ložísk a výstavby baní Baníckej fakulty Vysokej školy technickej v Košiciach v roku 1958. Prvý pokusný clonový odstrel s milisekundovým časovaním 40 ms bol uskutočnený 26. apríla 1958 v podmienkach bane Bankov. Realizáciou trhacích prác bola poverená skupina pracovníkov Katedry dobývania ložísk a výstavby baní BF VŠT v Košiciach Ing. Puzder, Ing. Šiška, Ing. Trančík, Ing. Kubišta, strelmajster p. Trávníček a bezpečnostný technik závodu Bankov p. Pikula. Cieľom pokusného clonového odstrelu bolo optimalizovať fragmentáciu vhodnú pre nakladanie lopatovými bágrami a drvenie čeľusťovými drvíčmi, zníženie objemu nadrozmerných kusov na minimum a tým zníženie časových strát pre sekundárne rozpojovanie, znížiť otrasy v lome a tým zaručiť zníženie škôd na prevádzkových budovách závodu a budovách v okolí lomu.

Tento výskum pokračoval na ložisku magnezitu na lokalite Burda – Poproč s cieľom zníženia podielu drobnej frakcie pod 3 mm a dosiahnutie lepších ekonomických výsledkov pomocou technológie razenia porubových chodieb. Tento výskum úspešne realizovali pracovníci Katedry dobývania ložísk Baníckej fakulty VŠT v Košiciach doc. Puzder, Ing. Jankovič, Ing. Dojčárik, Ing. Vrabec a p. Pavlov. Výsledkom výskumu bola záverečná výskumná správa „Zníženie drobných frakcií v rozvale pri razení porubových chodieb so širokým predkom na bani Burda SMZ Hačava“. Tento výskum bol realizovaný od marca do augusta 1967. Bola navrhnutá optimálna vrtná schéma – rozmiestnenie a časovanie náloží a technológia trhacích prác.

Ďalší výskum pokračoval na Katedre dobývania ložísk Baníckej fakulty VŠT v Košiciach pod vedením doc. Puzdera, Ing. Jankoviča, Ing. Dojčára a p. Pavlova pri realizácii výskumnnej úlohy „Výskum použitia trhaviny DAP na lome Včeláre“ v roku 1968. Prvé pokusné odstrely s trhavinou DAP v lome Včeláre sa uskutočnili v roku 1967. Išlo o dva pokusné odstrely, ktoré neboli úspešné v dôsledku odklonenia vrtov, vplyvom čoho bol záber zväčšený. Ďalšie dva odstrely boli uskutočnené v roku 1968. Pri prvom odstrele išlo o potvrdenie účinnosti

zmesi trhaviny DAP. Bol použitý granulovaný dusičnan amónny zo Severočeských chemických závodov Lovosice, zmiešaný s motorovou naftou v pomere 94,2 : 5,8 %. Trhavinou DAP boli plnené horné časti dvoch vrtov zo skupiny vrtov clonového odstrelu. Ostatné vrty boli plnené klasickými priemyselnými trhavinami Danubit 1 a Superit VS. Vizuálne hodnotenie preukázalo dostatočnú účinnosť použitej trhavinovej zmesi. Preto sa prikročilo k vyprojektovaniu a uskutočneniu kompletného clonového odstrelu, ktorého parametre boli: výška lomovej steny 22 m, úklon lomovej steny 68°, priemer vrtu 115 mm, plnenie vrtu trhavina 9,86 kg/bm, koeficient priblíženia náloží 1,0 m, priamka najmenšieho odporu 5,13 m, záber 5,3 m, vzdialenosť medzi vrtmi 4,5 m, hĺbka podytania 1,65 m, dĺžka upchávky 4,5 m, celková dĺžka vrtu 25,3 m, celkové množstvo trhaviny 22 kg Danubit 1 a 145 kg DAP. Spodná časť vrtov do úrovne cca 3 m od dna sa nabíjala priemyslovými trhavinami Danubit 1 a Superit VS v pomere 1 : 1 (15 kg : 15 kg). Spodná nálož bola od vrchnej oddelená medziupchávkou a taktiež horná nálož bola medziupchávkou rozdelená na dve časti. Dĺžka medziupchávok bola zvolená tak, aby sa zamedzilo tvorbe nadzorných kusov v rozvale. Pre roznet náloží bol použitý úplný bleskovicový roznet bez použitia spozdňovačov. Výsledok tohto odstrelu bol pokladaný za úspešný. V rovnakých podmienkach sa uskutočnil aj ďalší clonový odstrel s podobnými parametrami s použitím trhaviny DAP a Superit VS. Porovnaním výsledkov obidvoch odstrelov sa zistil ekonomický prínos s použitím trhaviny DAP cca 0,41 Kčs na tónu. Pri predpokladanej ročnej ťažbe 1 250 000 ton išlo o úsporu 512 500 Kčs. Výsledok odstrelu bol veľmi dobrý aj z hľadiska fragmentácie rozvalu, s nepatrným množstvom nadmerných kusov. Na základe výskumných prác v lome Včeláre bol vypracovaný technologický predpis pre používanie trhaviny DAP pre clonové odstrel. Na základe tohto výskumu bol v roku 1972 pre študentov Baníckej fakulty pripravený študijný materiál s názvom „Hromadné odstrelky“. V tomto študijnom materiály autori doc. Puzder, Ing. Dojčára a p. Pavlov podrobne popisujú podmienky použitia clonových odstrelov pri trhacích práciach, parametre clonových odstrelov a znižovanie siezmickej účinkov trhacích práci pomocou milisekundového časovania.

Ďalší výskum pokračoval na Katedre dobývania ložísk Baníckej fakulty VŠT v Košiciach pod vedením doc. Puzdera a Ing. Dojčára pri realizácii výskumnej úlohy „Regulácia fragmentácie rúbaniny energiou výbuchu“. Na výskumných prácach sa podieľali aj študenti III. ročníka Viliam Filin, Stanislav Gurský a technik Ivan Pavlov. Cieľom výskumu bolo optimálne stanovenie hmotnosti trhavín pre rozpojenie horninového masívu, matematický popis priebehu trhacích práciach a stanovenie optimálneho riešenia pre dané podmienky. Záverečná správa bola úspešne obhájena v novembri 1975.

V ďalšom období bol výskum pod vedením prof. Puzdera a doc. Dojčára zameraný na analýzu výpočtových vzťahov pri určovaní vplyvu hmotnosti nálože na výslednú fragmentáciu. Podetápová úloha bola úspešne obhájena v decembri 1980.

V rokoch 1980 – 1985 bol výskum zameraný na riešenie etapovej úlohy II-6-1/07 „Systém prenosu energie na horninu v procese rozpojovania“ pod vedením zodpovedného riešiteľa Ing. Felixa Sekulu, DrSc. a spoluriešiteľov Ing. Michala Kočího, CSc., RNDr. Pavla Slanča, RNDr. Zuzany Krištákové, CSc. a RNDr. Annamárie Mockovčiakové, CSc., z Baníckeho ústavu SAV vo Košiciach. Etapa II-6-1/03 „Určenie funkčných vzťahov medzi energiou výbuchu a stupňom rozpojovania horniny v závislosti od banskogeologických faktorov“ mala za cieľ získať údaje o energetickej náročnosti jednotlivých typov hornín z hľadiska primárnej porušenosť a rozpojiteľnosti. Riešiteľský kolektív viedol Ing. Pavol Rybár a tvorili ho prof. Ján Puzder, doc. Ondrej Dojčára, Ing. Ladislav Novák, RNDr. Blažej Pandula, Ing. Štefan Szabo, Juraj Baranič, Lubica Dojčárová, Eva Szabadšágová a Ondrej Jesenský. Pre určovanie porušenosť horninového masívu boli vypracované metódy fotograficko – úsečková, infračervená a siezmickej metóda. Bol vypracovaný matematický model trhacích práci. Pomocou tohto modelu bolo možné zostavovať optimálne parametre

clonových odstrelov podľa požiadavky na výslednú fragmentáciu. Výsledky tohto výskumu boli úspešne aplikované v rokoch 1986 – 1987 pri riešení optimalizácie parametrov trhačích prác vo vybraných lomoch Železničného stavebnictví Brno. Zodpovedný riešiteľ bol Ing. Rybár a spoluieštitelia doc. Novák, RNDr. Pandula a p. Baraník.

Na základe výskumu uskutočneného v lome Včeláre v roku 1987 prof. Dojčára a RNDr. Pandula zistili, že i v prípade merania toho istého odstrelu na tom istom stanovisku viacerými rovnakými prístrojmi je možné namerat' trojnásobný aj väčší rozptyl nameraných charakteristik kmitania. Preto pre meranie, hodnotenie a posudzovanie seizmických účinkov stanovili matematicko-štatistický prístup. Teória a experimenty v mnohých lomoch ukázali, že rýchlosť kmitania sa dobre riadi poloempirickým zákonom útlmu seizmických vln, ktorý je daný vzťahom:

$$v = K \left(\frac{L}{Q^{0.5}} \right)^n = K \left(\frac{Q^{0.5}}{L} \right)^n [mm.s^{-1}], \quad (1)$$

kde K , n sa stanovia experimentálnym meraním, Q [kg], L [m].

Medzi oboma premennými, hodnotou v a L_R (resp. Q_R) existuje teoreticky vzťah účinku a príčiny. V dôsledku veľkej disperzie registrovaných hodnôt v od jedného odstrelu k druhému, z jedného miesta na druhé, sa rýchlosť kmitania v považuje za závisle premennú a redukovaná vzdialenosť $L_R = \left(\frac{L}{Q^{0.5}} \right)$ za nezávisle premennú. Obe veličiny sú viazané nie funkčne ale stochasticky. Tako, na základe skúšobných odstrelov, je možné metódami matematickej štatistiky, pre skúmanú oblasť stanoviť zákon útlmu seizmických vln. Logaritmovaním vzťahu (1):

$$\log v = \log K - n \cdot \log \left(\frac{L}{Q^{0.5}} \right) \quad (2)$$

máme vzťah, ktorý v pravouhlých logaritmických súradničiach predstavuje priamku (úsečku) s uhlom β . Štatisticky sa určia parametre n a K tejto regresnej priamky.

Ako však ukázal výskum v lome *Včeláre* aj inde, pri takom rozsahu odstrelov aké sa realizujú v lomoch (veľkosti náloží, rozpojované objemy jedným odstrelom, výšky etáží, a pod.), tradičné stanovenie maximálnej dovolenej nálože na jeden časový stupeň rozbušky nestačí, ale musí byť zvolený adekvátny prístup pre podmienky rozpojovania v lome, a to: **celková dovolená nálož na odstrel, tým je myšlené celkové maximálne dovolené množstvo horniny rozpojenej jedným odstrelom.**

Hlavné technické údaje o sledovaných odstreloch:

- výšky etáží,
- zábery,
- rozostupy vrtov,
- hmotnosti náloží a ich časovanie,
- skutočné rozpojené množstvo horniny,
- situácia odstrelov v lome a pod.

Parametre jednotlivých odstrelov boli poskytnuté pracovníkmi lomu.

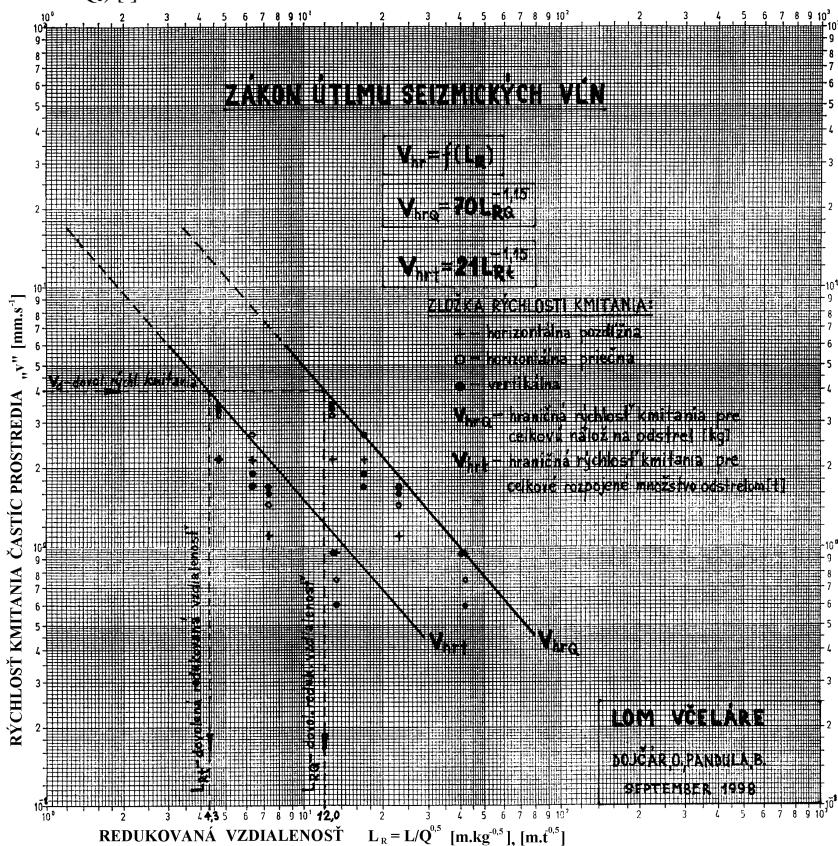
Rýchlosť kmitania v vyjadrimo v závislosti na tzv. redukovanej vzdialenosťi L_R

$$v = f(L_R) = f\left(\frac{L}{Q_c^{0.5}}\right) = f\left(\frac{L}{H^{0.5}}\right) [mm.s^{-1}] \quad (3)$$

kde L je najkratšia vzdialenosť zdroja otriasov od ich receptora [m],

Q_c je celková hmotnosť nálože odstrelu [kg],

T je celková hmotnosť horniny rozpojovaná (rozpojená) jedným odstrelom (náložou Q_c) [t].



Obr. 1 Zákon útlmu v lome Včeláre

Z nameraných údajov sú v grafu na obrázku 1 vynesené závislosti $v = f(L_{RQ})$ a $v = f(L_{Rt})$, ako stanovenie zákona útlmu seismických vln pre lom Včeláre. Matematicko-štatistické stanovenie zákona útlmu seismických vln pre hraničné (maximálne) hodnoty rýchlosť kmitania jednotlivých zložiek, pre celkovú nálož trhaviny na odstrel

$$v_{hrQ} = 70L_{RQ}^{-1.16} \text{ [mm.s}^{-1}\text]}, \quad (4)$$

pre celkovú hmotnosť horniny odstrelu

$$v_{hrt} = 21,0L_{Rt}^{-1.16} \text{ [mm.s}^{-1}\text]}, \quad (5)$$

$$\text{kde } L_{RQ} = \frac{L}{Q_c^{0.5}}, \quad L_{Rt} = \frac{L}{H^{0.5}}, \quad L, Q, H \text{ dosadzujeme [m], [kg], [t].}$$

Tieto vzťahy umožňujú pre danú celkovú nálož na odstrel, resp. pre celkovú predpokladanú hmotnosť horniny odstrelu a pre minimálnu vzdialenosť odstrelu od posudzovaného objektu

L , stanoviť (predbežne) očakávanú rýchlosť kmitania vygenerovanú odstrelom na posudzovanom (chránenom) objekte.

Druhý, oveľa dôležitejší spôsob použitia zákona útlmu je nasledovný:

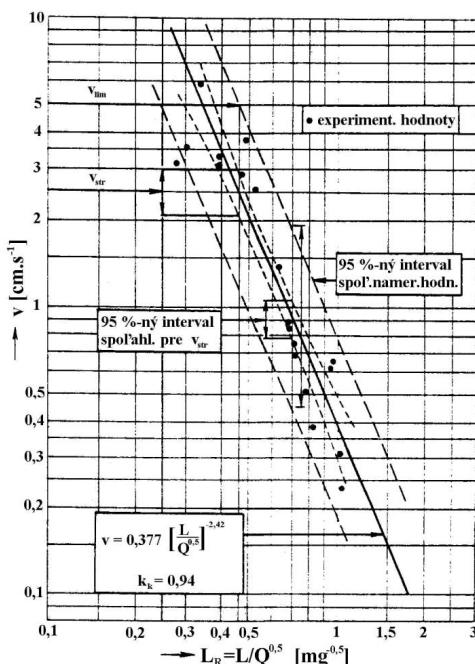
Pre vopred stanovenú dovolenú rýchlosť kmitania posudzovaného stavebného objektu v_d , v grafe na obrázku 1 stanovíme maximálnu dovolenú redukovanú vzdialenosť L_{Rd} , z ktorej pri známej vzdialosti L , vypočítame maximálnu dovolenú hmotnosť horniny na odstrel

$$Q_{cd} = \left(\frac{L}{L_{RQd}} \right)^2 \text{ [kg]} \quad Q_{dt} = \left(\frac{L}{L_{rdt}} \right)^2 \text{ [t]} \quad (6)$$

Takto, pre obec Včeláre, kde $v_d \leq 4 \text{ mm.s}^{-1}$, z grafu na obrázku 30 máme $L_{RQ} = 12 \text{ m.kg}^{0.5}$, $L_{rdt} = 4,3 \text{ m.t}^{-0.5}$, z predošlých vzťahov dostoneme:

$$Q_{cd} = (1/12)^2 L^2 = 0,007 L^2 \text{ [kg]}, \quad (7)$$

$$Q_{dt} = (1/4,3)^2 L^2 = 0,054 L^2 \text{ [t]}. \quad (8)$$



Obr. 2 Experimentálne stanovenie zákona útlmu seismických vln priamym meraním: závislosť rýchlosť kmitania „v“ na redukovanej vzdialnosti L_R , $v=f(L_R)$

A pre odstrely realizované vo vzdialosti $L = 1250 \text{ m}$ od posudzovaného objektu (meracie stanovisko v obci Včeláre), celková maximálna dovolená nálož na odstrel

$$Q_{cd} = 0,007 \cdot 1250^2 = 10\,900 \text{ kg} \quad (10)$$

a celková maximálna dovolená hmotnosť horniny na jeden odstrel

$$H_{dt} = 0,054 \cdot 1250^2 = 84\,000 \text{ t.} \quad (11)$$

Uvedený spôsob a postup hodnotenia seizmickej bezpečnosti trhacích prác v lome Včeláre platí pre:

- výšky etáž od 15÷16 m do 27÷30 m; je potrebné d'alej dooverovať vplyv výšky etáže,
- nálože, alebo skupiny náloží, resp. odstrel časovaný milisekundovými rozbuškami, rozesnetmi NONEL, INDET a pod., je potrebné dooveriť možnosť odpalu celého odstrelu 0 – tým stupňom rozbušiek.

Zvláštne posúdenie, resp. meranie je potrebné uskutočniť v prípadoch keď výška etáže presahuje 30 m, napr. komorové odstrelky.

Skúmanie seizmických účinkov v lome Včeláre, ale aj v ďalších lomoch Slovenskej republiky ukázali, že zdrojom maximálnych otrásov (ktorých meritkom i kritériom je rýchlosť kmitania častic prostredia v), nie sú len detonácie jednotlivých, alebo skupín náloží príslušných časových stupňov rozbušiek, ale aj celková hmotnosť nálože trhaviny jedného odstrelu a dopad rozpojenej horniny na podložku alebo prekážku.

Poznatky a skúsenosti získané pri tomto výskume boli aplikované pri meraní a vyhodnocovaní seizmických účinkov trhacích prác na priemyselné a občianske objekty a meraní vibrácií vyvolaných priemyselnou činnosťou. Táto metóda hodnotenia seizmických účinkov v lomoch poskytuje nový pohľad na danú problematiku a umožňuje získať ďalšie praktické poznatky aj v tejto oblasti.

Zákon útlmu seizmických vĺn je v súčasnosti jediný spoľahlivý spôsob stanovenia a predpovede intenzity otrásov, za predpokladu správnej realizácie a zhodnotenia meraní, čo predpokladá:

- dostatočne veľký súbor meraní (nie ojedinelé merania),
- jeho matematicko-štatistické spracovanie a hodnotenie,
- meranie konkrétnego zdroja na konkrétny receptor (receptory).

Opísaný spôsob hodnotenia seizmických účinkov opäť potvrzuje skutočnosť, že problém seizmickej bezpečnosti trhacích prác zdôleka nie je doriešený. Narastajúci objem poznatkov a požiadavky maximálnej hospodárnosti trhacích prác pri zaistení ich plnej seizmickej bezpečnosti, logicky a zákonite vyúsťia do revízie platnej STN. Pritom by nemali byť opomnenuté novšie poznatky, hlavne tieto:

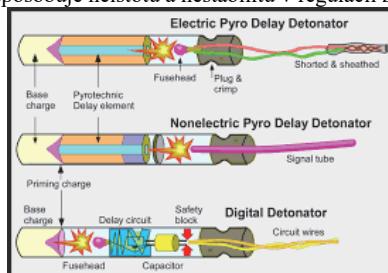
- prípustné rýchlosťi kmitania musia zohľadňovať technický stav a konštrukčný stav stavebných objektov,
- je nanajvýš aktuálne vypracovať a priať predpis pre posudzovanie povrchových, banských a iných podzemných diel, tvorených priamo horninovým masívom,
- v prognóze zohľadniť významné technické a technologické parametre trhacích prác,
- charakterizovať prenosové prostredie jeho fyzikálnymi a elastickými vlastnosťami.

Skúmanie seizmických účinkov trhacích prác v lome Včeláre, ale aj v ďalších lomoch Slovenskej republiky ukázali, že zdrojom maximálnych otrásov (ktorých meradlom i kritériom je rýchlosť kmitania častic prostredia v), nie sú len detonácie jednotlivých, alebo skupín náloží príslušných časových stupňov rozbušiek, ale aj celková hmotnosť nálože trhaviny jedného odstrelu a dopad rozpojenej horniny na podložku alebo prekážku. Na základe tohto výskumu bola v roku 1996 pre študentov a pracovníkov v oblasti trhacích prác pripravená celoštátna učebnica s názvom „Trhacia technika“. V tomto študijnom materiály autori prof. Dojčiar, doc. Horký a Ing. Kořínek podrobne popisujú podmienky použitia trhacích prác a optimalizáciu seizmických účinkov trhacích prác na environment.

Poznatky a skúsenosti získané pri tomto výskume boli aplikované pri meraní a vyhodnocovaní seismických účinkov trhacích prác na priemyselné a občianske objekty a meraní vibrácií vyvolaných priemyselnou činnosťou. Táto metóda hodnotenia seismických účinkov v lomoch poskytuje nový pohľad na danú problematiku a umožňuje získať ďalšie praktické poznatky aj v tejto oblasti. Autori doc. Pandula a Mgr. Kondela zhrnuli všetky nadobudnuté poznatky o seismických účinkoch trhacích prác do monografie. Túto monografiu s názvom „Metodológia seismiky trhacích prác“ v roku 2010 vydala Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce, ako základnú príručku pre pracovníkov pracujúcich v oblasti trhacích prác.

Ďalší výskum uskutočňovaný v lomoch Včeláre, Maglovec, Kučín, Dargov a Trebejov bol orientovaný na interpretáciu seismických vln v blízkej zóne výbuchu s cieľom optimalizácie parametrov trhacích prác. Zavedenie jedného meracieho stanoviska v blízkom okolí odstrelu, umožnilo veľmi presne stanoviť zákon útlmu a optimalizovať parametre trhacích prác. Tento výskum pod vedením doc. Pandulu realizovali Mgr. Julián Kondela, Ing. Marcel Kolesár, Ing. Ján Baulovič a p. Jesensky za úzkej spolupráce s prof. Ing. Karlom Müllerom, DrSc., doc. Ing. Zdenkom Kalábom, CSc., RNDr. Karolom Holubom, DrSc., Ing. Jaroslavom Knejzlíkom, CSc. z Ústavu geoniky AV ČR v Ostrave, s RNDr. Vladimírom Rudajevom, DrSc., Ing. Milanom Brožom, CSc., z Ústavu štruktúry a mechaniky hornín AV ČR v Prahe a s RNDr. Jozefom Viskupom, CSc., doc. RNDr. Viktorom Janotkom, CSc. a doc. RNDr. Vojtechom Gajdošom, CSc. z Príroovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave.

V súčasnosti sú pri trhacích prácach na reguláciu vibrácií pomocou milisekúndového časovania široko používané nedelektrické rozbušky; takéto rozbušky však majú mnoho obmedzení. Pretože nedelektrické rozbušky sú odpálené pri milisekúndovom časovaní v rovnakom čase s viacerými vývrtmi, vibrácie trhacích prác môžu byť znížené zmenšením záberov, použitím malých hmotností náloží a rozdelením na viac časových stupňov. Tento prístup však znižuje efektivitu trhacích prác a predlžuje dobu výstavby. Ak sa používa technológia trhacích prác s milisekúndovým oneskorením, presnosť oneskorenia nedelektrických rozbušiek je pomerne nízka, s chybou oneskorenia približne $\pm 3\sigma$, kde σ je smerodajná odchýlka. Nedelektrické rozbušky dosahujú oneskorenie 9, 17, 25, 33, 42 a 67 milisekúnd riadením rýchlosťi chemického spaľovania. Preto rozpojovanie hornín pomocou nedelektrických rozbušiek spôsobuje neistotu a nestabilitu v regulácii znižovania vibrácií.



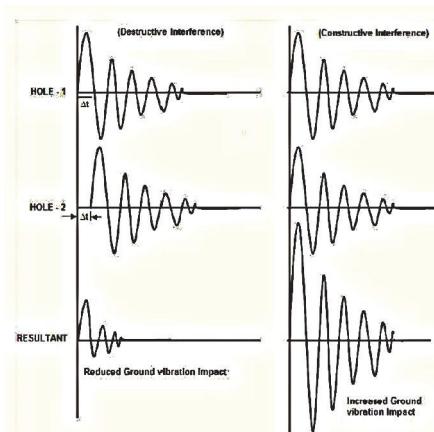
Obr. 3 Ukážka konštrukčných detailov elektrických, nedelektrických a elektronických rozbušiek podľa (Lalwani a Menon, 2016)

S vývojom vysoko presných digitálnych elektronických rozbušiek sa umožnilo veľmi presné časovanie trhacích prác. Digitálne elektronické detonátory dosahujú presné milisekundové oneskorenie pomocou čipu integrovaného obvodu (Obr. 3). Rozsah oneskorenia je približne 1 ms až 16 s a chyba oneskorenia je len približne 0,1 ms. Digitálne elektronické rozbušky dokážu presne dosiahnuť časové oneskorenie zapaľovania podľa potrieb podmienok na mieste. Pomocou digitálnych elektronických rozbušiek je možné

dosiahnuť potrebný účinok rozpojenia horniny a dostatočnú ochranu environmentu v blízkosti trhacích prác.

Ked' sa trhacie práce vykonávajú pomocou digitálnych elektronických rozbušiek, vibrácie vyvolané trhacími prácamí sa môžu účinne znížiť nastavením primeranej doby oneskorenia. Vibrácie môžu byť d'alej redukované použitím spôsobu, pri ktorom sú vlny superponované na seba vo fáze alebo v protifáze. Kl'úcom k zníženiu vibrácií pomocou elektronickej rozbušky je správne nastaviť čas oneskorenia. Pri trhacích práchach sa predpokladá, že spôsob výpočtu času oneskorenia sa určí podľa štruktúrnych vlastností horninového prostredia. Po prvé, pre trhacie práce je zdôraznená dôležitosť efektu rozpojenia horninového prostredia. Ďalej sa pri výpočte doby oneskorenia berie do úvahy účinok rušenia pomocou superpozície seizmických vln. Podľa teórie, dve seizmické vlny môžu dosiahnuť maximálne rušenie vibrácií, keď čas oneskorenia je polovičný čas periódy seizmického vlnenia vyvolaného výbuchom trhaviny. Časy oneskorenia sa určujú na základe efektu rozpojenia horninového prostredia a efektu superpozície vln. Štruktúrne vlastnosti horninového prostredia, v ktorom sa uskutočňujú trhacie práce, sa získajú pomocou merania rýchlosťi šírenia a frekvencie seizmických vln in situ.

Pri milisekundovom časovaní trhacích prác sa súčasne šíri vlnenie od viacerých zdrojov. Každý bod prostredia kmitá s rovnakou períodou no s rozdielou fázou. Za čas $1/T$ (T períoda) sa vlnenie rozšíri zo zdroja do vzdialenosťi, ktorá sa nazýva vlnová dĺžka λ . Je vyjadrená vzťahom $\lambda = v \cdot T = v/f$, kde f je frekvencia vlnenia. Vlnová dĺžka je vzdialenosť dvoch najbližších bodov kmitajúcich s rovnakou fázou. Rýchlosť v , ktorou sa vlnenie šíri pružným prostredím, volá sa fázová rýchlosť vlnenia. Je to rýchlosť, ktorou sa premiestňuje rovnaká fáza kmitania jednotlivých bodov. Fázová rýchlosť vlnenia je pre telesá z rovnakej látky rozličná pri priečnom a pozdĺžnom vlnení. V miestach, v ktorých vlnenia prechádzajú jedno cez druhé vzniká otázka, aká bude výchylka daného bodu prostredia. Výsledné kmitanie je vektorovým súčtom jednotlivých čiastočných kmitov. Princíp superpozície, platí aj pri skladaní vlnení. Vlnenie od jedného zdroja prechádza určitým priestorom tak, ako by iná, v tom istom priestore sa šíriaca vlna, vôbec neexistovala. V oblasti, kde sa vlnenia prekrývajú, bude podľa princípu superpozície výsledné vlnenie vektorovým súčtom jednotlivých vlnení. Teda výchylka určitého elementu prostredia bude vektorovým súčtom výchyliek, ktoré by daný element mal mať od každého z vlnení. Môže nastať zväčšenie, zmenšenie alebo dokonca aj zrušenie výchylky v danom mieste (obr. 4). Ak je fázový rozdiel dvoch vlnení v určitom bode 2 alebo iný párný násobok nastáva interferenčné zosilnenie. Ak fázový rozdiel je nepárný násobok nastáva interferenčné zoslabenie. Rôzne prípady interferencie sú veľmi zložité, lebo interferujúce vlnenia sa môžu lísiť vlnovou dĺžkou, amplitúdou, fázou i smerom šírenia. Najjednoduchším prípadom interferencie je interferencia dvoch vlnení s rovnakou vlnovou dĺžkou, postupujúcich prostredím rovnakou fázovou rýchlosťou a rovnakým smerom. K takému prípadu interferencie dochádza pri trhacích práchach. Výsledná amplitúda pri interferencii dvoch rovnakých vlnení je najväčšia v miestach stretu vlnení s rovnakou fázou, najmenšia v miestach stretu vlnení s opačnou fázou. Preto je potrebné milisekundové časovanie trhacích prác naprojektovať v závislosti na štruktúrnych vlastnostiach horninového prostredia, ktoré sú vyjadrené rýchlosťou a frekvenciou seizmických vln (Lalwani a Menon, 2016; Lešo, 2018).



Obr. 4 Deštruktívne a konštruktívne deformácie pri odpale dvoch vrtov podľa (Lalwani a Menon, 2016)

Experimenty s elektronickými rozbuškami boli uskutočnené v novembri v roku 2018 v lome Trebejov kolektívom pod vedením prof. Pandulu. Realizačný kolektív tvorili prof. RNDr. Blažej Pandula, CSc., doc. Mgr. Julián Kondela, PhD., Ing. Ivan Buchla, Ing. Ján Baulovič, Mgr. Vladimír Budinský, Ing. Peter Sabol, Ing. Jozef Šoltys, Ing. Marcel Kolesár, p. Ladislav Lukáč, Ing. Ján Féher a Ing. Jozef Čambal. Na základe experimentov v lome Trebejov bola navrhnuté milisekundové oneskorenie 15 ms a 20 ms v závislosti na porušenosť horninového prostredia. Porušenosť bola určovaná na základe rýchlosť šírenia a frekvencie seismických vln, nameraných pri pokusných odstrelach. Vibrácie boli utlmené v takej miere, že ani obyvatelia tieto účinky nepociťovali ako negatívne. Výsledky týchto experimentov boli úspešne prezentované doc. Kondelom, Ing. Baulovičom, a prof. Pandulom v Helsinkách na 10-tej svetovej konferencii inžinierov trhacej techniky EFEE 2019.

Záver

Na základe výskumu realizovaného pomocou elektronických rozbušiek v lome Trebejov sa dospelo k poznaniu, že vhodné časovanie trhacích prác výrazne znížuje riziko nežiaducich účinkov pri odstreloch. Pomocou skúšobných odstrelov bolo zistené, že pri úprave milisekundového časovania, boli namerané výrazne nižšie hodnoty rýchlosť kmitania seismických vln, ako pri odstrelach, kde bolo časovanie odstrelov odlišné od hodnôt stanovených na základe merania rýchlosť šírenia a frekvencie seismických vln vznikajúcich pri odstrelach. Výskum a výsledky, ktoré boli dosiahnuté pri skúšobných odstrelach v lomoch Trebejov, Včeláre, Malá Vieska, Kučín, Dargov, Vechec, Mnichová Lehota, Lopušné Pažite, Maglovec, Nižný Hrabovec, Vajarská, Kraľovany, Pohranice, Lietavská Lúčka, Kučín, Snežnica a Slanec umožňujú zistené poznatky zhrnúť do týchto bodov:

1. v prípade, že je potrebné pri trhacích prácach v lomových prevádzkach znížiť vplyv seismických účinkov trhacích prác na enviroment je potrebné zmerať v horninovom prostredí rýchlosť šírenia a frekvenciu seismických vln,
2. na základe nameraných rýchlosť šírenia a frekvencie seismických vln stanoviť optimálne milisekundové časovanie odstrelov,

3. na základe nameraných rýchlosťí kmitania stanoviť zákon útlmu seismických vĺn pre odstrely v lomovej prevádzke a potencionálnych receptorov seismických účinkov odstrelrov,
4. na základe zákona útlmu seismických vĺn stanoviť redukovanú vzdialenosť,
5. na základe redukowanej vzdialenosťi vypočítať maximálne prípustné nálože na jeden časovací stupeň pre predpokladané vzdialenosťi medzi odstrelmi v lome a potencionálnymi receptormi.

Aplikácia uvedenej metodiky pri projektovaní a vykonávaní trhacích práciach pri ťažbe nerastných surovín zabezpečí:

- seismický bezpečné trhacie práce pre stavebné objekty a infraštruktúru v okolí ťažobnej prevádzky,
- zníženie negatívnych účinkov trhacích práci na environment a obyvateľstvo.

V konečnom dôsledku uvedená metódika takto napomáha ku trvalo udržateľnému rozvoju ťažby nerastných surovín v regióne a priamo tak ku zabezpečeniu dostatočného množstva nerastných surovín pre priemysel, poľnohospodárstvo a obyvateľstvo na Slovensku.

Literatúra:

- BROTHÁNEK, I., DVOŘÁK, A. BARTOŠ, L., NOVOTNÝ, J., SOUKUP, L., VODA, J.: „Výskum jevu inženýrske seismiky a stanovení limitných hodnôt“; Záverečná sprava 2. etapy výskumného úkolu Výskum trhací techniky a ochrany pred nežádoucimi účinky odstrelu, Brno, 1974, 102 s.
- DVOŘÁK, A.: „Základy inženýrske seismiky“, Praha, 1969, 125 s.
- DVOŘÁK, A., OSNER, Z.: „Trhací technika a seismické projevy při stavbě metra v Praze“; Rudy č. 5, 1972.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B., FLOREKOVÁ, L., BENKOVÁ, M.: „Seismický monitoring trhacích práci pri výstavbe vodného diela Ružín II.“; SZV KDLaG BF TU, Košice, 1995, 27 s.
- DOJČÁR, O., HORKÝ, J., KOŘÍNEK, R.: „Trhacia technika“; Montanex a.s., Ostrava, 1996, 421 s.
- DOJČÁR, O.: „K problému seismickej bezpečnosti trhacích práci v lomoch“; Rudy 12/1981, Praha, 1981, s. 28 – 35.
- DOJČÁR, O.: „Niektoré problémy trhacích práci v lomoch“; Stavivo 7/8, 1983.
- DOJČÁR, O.: „K problematike stanovenia seismických účinkov trhacích práci pred meraním“; Rudy 4/7, 1985, s. 14 – 19.
- DOJČÁR, O.: „Seismické účinky výbuchu trhavín“; Stavivo 11/12, 1964, s. 24 – 28.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B., BARANÍK, J.: Seismické účinky Dobšiná. Razenie štôlne pre ČVO - dom Banícka ul.655. Výskumná správa, Košice 7/92, KDLaG BF TU, 14 s.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B., BARANÍK, J.: „Seismické účinky pri výstavbe objektov pre zvýšenie kapacity výpustných zariadení vodného diela Ružín I.“; Výskumná správa, Košice 08/93, KDLaG F BERG TU, 46 s.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B.: „Posúdenie trhacich práci v a.s. Sloval Žiar n/ Hronom“; Výskumná správa, Košice 02/94, KDLaG F BERG TU, 38 s.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B., LEŠŠO, I.: „Výskum technickej seimicity pri výstavbe tunela Branisko“; Výskumná správa, Košice 10/1996, KDLaG FBERG TU, 44 s.

- DOJČÁR, O., PANDULA, B.: „Výskum technickej seismicity pri výstavbe vodného diela Žilina“; Výskumná správa, Košice 03/96, KDLaG F BERG TU, 38 s.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B.: „Výskum technickej seismicity na bratislavskom hrade“; Výskumná správa, Košice 10/98, KDLaG F BERG TU, 34 s.
- DOJČÁR, O., PANDULA, B.: „Výskum technickej seismicity diaľnica Fričovce obchvat“; Výskumná správa, Košice 3/2001, KDLaG F BERG TU, 22 s.
- DOJČAR, O., PANDULA, B.: „Výskum technickej seismicity v lome Včeláre“; Výskumná správa, F BERG TU Košice, 1998, 16 s.
- LALWANI, M., MENON, S.: „Electronic delay detonators-benefits and growth prospects in India“. In: Advances in Rock Engineering, 2016.
- LEŠŠO, I.: „LeSeiz - podporný programový prostriedok pre vyhodnocovanie seismických účinkov trhacích prác“ ; Manuskript, Košice 1996, 11 s.,
- LEŠŠO, I.: „Optimalizácia milisekundového časovania pri trhacích prácach v lomoch“. Manuskript, Košice 2018, 2 s.
- MÜLLER, K.: Použití geofyzikálnich metod v geologickém průzkumu; Výskumní zpráva, VŠB, Ostrava, 1976, 254 s.
- NOVÁK, L., DOJČÁR, O., RYBÁR, P., BARANÍK, J., DOJČÁROVÁ, L.: „Tvorba modelov procesu rozpojovania horninového masívu energiou výbuchu“. Záverečná správa etapy 02 čiastkovéj úlohy II_6 2/06, Košice 1990, 36 s.
- PANDULA, B., KONDELA, J., LEŠŠO, I., BUDINSKÝ, V., BUCHLA, I., BAULOVÍČ, J., SABOL, P., ŠOLTYS, J., KOLESÁR, M., FEHER, J., ČAMBAL, J.: „Optimalizácia seismických účinkov trhacích prác v lome Trebejov pomocou milisekundového časovania.“ Zborník z konferencie Trhacie práce 2019, Stará Lesná 2019, str. 189 – 2001. ISBN 978-80-80014-06-07
- PANDULA, B., KONDELA, J.: „Metodológia seismiky trhacích prác“, SSTVP, Banská Bystrica, 2010, 142 s.
- PODĚL, R., VODA, J.: „Šíření seismických vln odstrelu a jejich přenos na konstrukce“; Záverečná správa výskumnéj úlohy č. III-8-6/2c, Brno, 1980, 152 s.
- PUZDER, J., DOJČÁR, O., PAVLOV, I.: „Hromadné odstrelky“; Edičné stredisko VŠT Košice, Košice, 1972, 140 s.
- PUZDER, J., JANKOVIČ, Š., DOJČÁR, O., PAVLOV, I.: „Výskum použitia trhaviny DAP na lome Včeláre“; Záverečná výskumná správa, Košice, 1969, 97 s.
- PUZDER, J., JANKOVIČ, Š., DOJČÁR, O., PAVLOV, I.: „Zvýšenie záberov pri razení horizontálnych banských diel na závode ŽB Slovinky“; Záverečná výskumná správa, Košice, 1967, 80 s.
- PUZDER, J., ŠIŠKA, F., TRANČÍK, P., VRABEC, F., DOJČÁR, O.: „Zniženie drobných frakcií v rozvale pri razení porubových chodieb so širokým predkom na bani Burda“; Záverečná výskumná správa, Košice, 1967, 71 s.
- PUZDER, J., JANKOVIČ, Š., DOJČÁR, O., VRABEC, F., PAVLOV, I.: „Výskum optimálnych parametrov trhacích prác pri dobývaní magnezitu na závode Bankov – Košice“; Záverečná správa výskumnnej úlohy č. B/H – 16, Košice, 1959, 117 s.
- RYBÁR, P., NOVÁK, L., PANDULA, B., P., BARANÍK, J.: „Optimalizácia parametrov trhacích prác vo vybraných lomoch ŽPSV“. Výskumná správa, VŠT, Košice, 1987, 18 s.

Tento článok vznikol s podporou grantu VEGA 1/0585/20.

T.O. Liunenko, master's degree

V.V. Vapnichna, candidate of technical sciences, associate professor

National Technical University of Ukraine

"Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

OPTIMIZING THE USE OF BLOCK STONE FOR FINISHING WORKS

Abstract. Deposits of block decorative stone of Ukraine have favorable mining and geological conditions of occurrence, low power of cover rocks and are mined in an exclusively open way. During the extraction of the rocks must be preserved strength and decorative quality of the rock. In addition, the size of the extracted blocks is determinative, due to the natural fracture and the equipment used in the extraction. The yield of finished blocks is in the range of 6-10 to 50-60% of the volume of the developed rocks.

Natural stone is a valuable decorative-facing and finishing material. But in some quarry and rubble quarries, this value is lost, as there is a lack of sound development that would allow the production of low-fractured granite blocks, which is relevant today. This will increase the technical, economic and environmental performance of the production of the crushed stone.

The purpose of the work is to expand the nomenclature of raw materials of crushed stone for the purpose of obtaining facing products from natural stone.

The paper substantiates the use of the technology of natural stone processing with a diamond disk tool in combination with the drilling method of extraction of raw materials. The technological line allowing to get the block of granite of the correct form, with a fracture of not more than 100 μm , which is suitable for macro geometric parameters as a facing raw material, is developed

Express diagnostics were performed using a LomMetam P-1 microscope (after spraying the samples) in order to compare the obtained micro crack values (gray-red - 10-60 μm , red - 230-400 μm). As a result of the analysis of samples of fracture products (sludge) by magnetic separation using a LomMet microscope, different cutting modes with a diamond disc tool, it is found that, at the second cutting, the sludge particles with significant dimensions of 900 mm / min are cut off with a large overall dimensions of μm . , compared to the machine feed table of 315 mm / min with a thickness of 200-300 μm , so the cutting process is less energy intensive, but the surface of the sample is damaged.

The surface profiler measured the surface roughness and fracture of the specimens according to DSTU B EN 1467: 2007. The economic technological mode of cutting by a disk tool which influences the roughness of the test specimen is determined in such a way that reduces the cost of polishing works.

In the process of extraction and processing of natural stone, the major part of the cost is associated with the wear and tear of an expensive diamond tool. In this case, the tool wear is highly dependent on its operating modes. Thus, when operating mining equipment in the field of rational modes, the cost of the diamond tool is 75% of the total cost of separation of the block from the array, and in the operation of processing - 52% of the cost of the processing operation. If the diamond tool is used in modes other than the rational one, this figure increases significantly. Therefore, in order to reduce the cost and increase the competitiveness of the finished products of natural stone products,

it is necessary to establish rational sawing, milling and grinding modes with a diamond tool, in which the consumption of the diamond tool will be minimal.

Introduction. Analysis of recent research and publications. The process of destruction of rocks is characterized by features of their fractured structure. The physical laws of the origin and development of cracks underlie the theories of strength of A. Griffiths, E. Orován, J. Irwin and other scientists.

The output of blocks from the rock mass depends on the system of fracture of the arrays and methods of extraction of blocks. Fracture system, direction, incidence angles and frequency of cracks are the main factors that influence the sizes of blocks that can be extracted and the percentage of their output from the rock mass [1-5].

One of the most important technical characteristics of facing stone is its durability, i.e. the ability of the stone to resist various kinds of external influence, while maintaining its properties in certain operating conditions.

Physical-mechanical parameters of rocks are divided into: deformation, strength, rheological. [1-3] addresses the pressing issue of establishing a link between the physical and mechanical properties of a stone and its durability.

For practical research, we used samples of granite stone from different sections of the same quarry, which were mined at Zverkivskyi Granite Field using explosive technology (Fig. 1-2). They can be conditionally divided into 2 groups: the samples with a red tint were assigned to the group # 1; this group can be attributed to the weathered breed, strongly cracked; the group number 2 included rocks that have a gray-pink color [6].



Figure 1 - Explosive extraction technology: a) - drilling (drilling), b) - split due to the drill



Figure 2 - Zverkivsky deposit granites extracted by the BWS method: a) - red granite, b) - gray layered granite

In the process of processing stone blocks to finished products, the material goes through several technological stages: block production, sawing blocks, polishing blocks.

The working process, which results in the stone acquiring a predetermined shape and size, and the face surface - a predetermined invoice, is commonly called stone processing [7]. Sawing is by rope or circular saw. After cutting, granite slabs ("slabs") with unpolished surfaces on both sides and sludge (granite dust) remain.

In the stone industry, cutting tools based on the use of diamond circular saws are the most widely used, which the most productive tool of all is known in the field. In this way, the specimens of the test specimens were sprayed (Fig. 3).

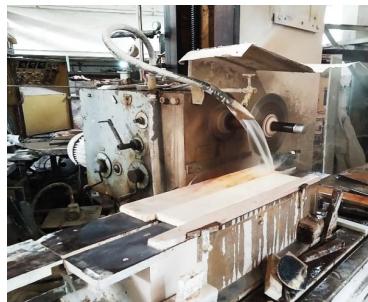


Figure 3 - Horizontal milling machine

Cutting is carried out by a diamond disk tool with the following parameters: disk diameter - 250 mm, thickness of the diamond layer - 2.1 mm and its granularity - 300/250 microns (this is a numerical characteristic of diamond circles, the value of which is directly influenced by the size of diamond grains and their concentration on working surfaces of the tools), under different modes (Fig. 4), the speed of the saw is unchanged - 1600 rpm, but the speed of movement of the table was different with two cuts - red pattern 1 time - 800 mm

/ min, 2 times - 315 mm/min; gray-red - 1 time - 315 mm / min, 2 times - 800 mm / min.

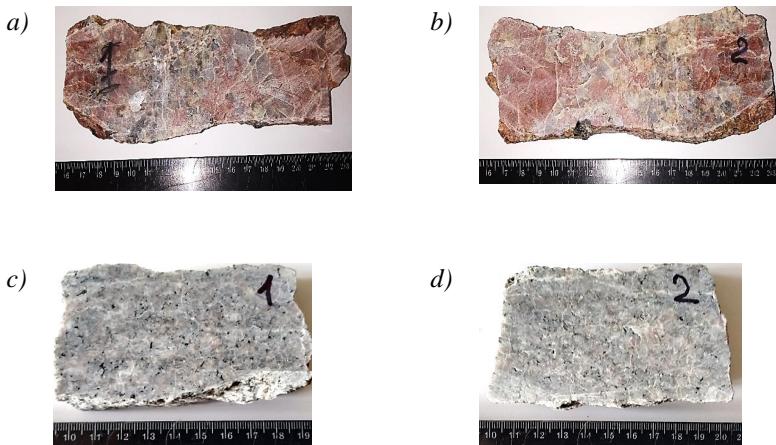


Figure 4 - Zverkivsky deposit granites sprayed with a diamond disc tool:
a, b - red granite, c, d - gray-red granite

Setting objectives. Setting the operating modes of a diamond disk tool, in which its development will be maximum, and operating costs for the processing process – minimal and is an urgent task.

Methods of research and presentation of the basic material.

The deformation properties of rocks are determined by many modern methods. The simplest method of defectoscopy is visual - with the naked eye or with the help of optical devices, it allows to detect only surface defects. With the development of modern technical means it is possible to make a more accurate assessment of natural stone. The paper uses the research methodology developed by V.A. Alexander, academician of the Institute of Superhard Materials named after V.N. Bakula who used a microscopic method to study the working surface of a diamond-abrasive tool. The main parameters that characterize the work surface of the tool include the shape, geometry and working condition of the grains, the distribution of grains and the distance between them in the volume of the diamond layer and on the surface of the working elements, the distribution of grains over the projection above the level of communication. The microscope revealed the cracks I1-10, which directly affect the strength characteristics of the rock. It was found that the red granite sample taken from the Zvirkivsky field is not suitable for decorative finishing material, since the depth of the cracks ranges from 230 to 400 μm (measurement data taken by the "pallet" method), and also has large quartz inclusions, which exceed norms (25-30%), which is also the reason for its unsuitability for finishing works.

Research results.

The dependence of the size of the cracks on their number is summarized in Table 1 for plotting the distribution of the number of cracks depending on their size, the so-called Gaussian curve (Fig. 5, Fig. 6).

Table 1 - Dependence of the depth of cracks on their number

1 time - 315 mm / min		2 times 800 mm / min	
Crack size, μm	Number of cracks	Crack size, μm	Number of cracks
Gray-red pattern			
646	12	963	4
1268	9	1469	7
1864	6	4236	4
4635	12	6872	7
6956	2	10726	4
1 time - 800 mm / min		2 times - 315 mm / min	
Red pattern			
2672	3	2876	9
6954	8	19153	12
19768	6	22254	6
23815	10	26932	15
29634	12	29357	7

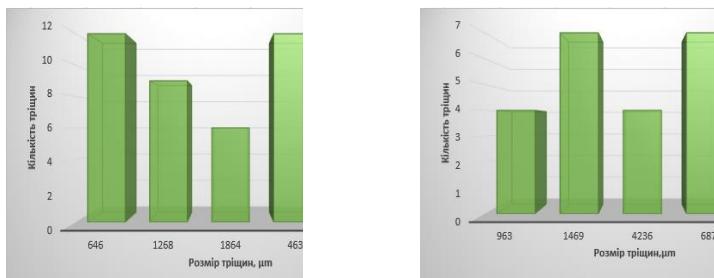


Figure 5 - Dependence of the depth of cracks on their number (sample gray-red), a) - table feed 315 mmx, b) - table feed 800 mmx

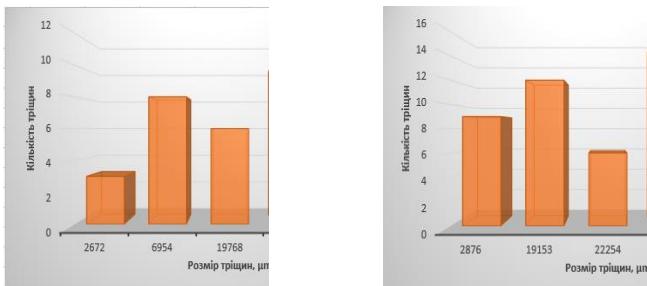


Figure 6 - Dependence of the depth of cracks on their number (sample red), a) - table feed 800 mmx, b) - table feed 315 mmx

Examination of surface roughness of samples

Any surface, even a carefully trimmed surface, cannot be perfectly flat. In any case, the surface smoothness and smoothness value will differ from the set point, i.e. from the nominal value. However, the deviation can be either macro geometric or micro geometric. Macro geometric deviations can be characterized by the surface waviness and shape mismatch. Micro geometric deviations, in turn, are defined as surface roughness - a set of micro-irregularities that appear on the surfaces of finished products. In this case, the step of inequalities, taken as roughness, should be very small, relative to the length of the entire surface.

There are three types of surface roughness:

- Initial roughness - resulting from the technological treatment of the product with various abrasives;
- Operational roughness is the roughness that arises in the course of operation as a result of wear and friction;
- Equilibrium roughness is a type of operational roughness that can be reproduced in stationary friction conditions.

The roughness parameters are defined in GOST 2789-73 "Surface roughness. Parameters, characteristics and designations » [8].

Roughness estimation can be done in two ways: either individually, by comparing individual parameters, or in combination, using a comparative analysis of the test sample with a standard.

The most accurate is the elemental method, which is carried out by various methods of determining roughness.

A probe method for measuring surface roughness is a contact method that is measured using a profilometer. The profilometer is a sensitive sensor equipped with a thin, sharply sharpened diamond needle. The diamond needle is pressed and moved parallel to the surface being examined. In places of occurrence of micro-irregularities (projections and depressions), mechanical vibrations of the measuring head of the needle occur. These vibrations are transmitted to the sensor, which converts the mechanical energy of the oscillation into an electrical signal, which is amplified by the transducer and measured. The recorded parameters of this signal exactly repeat the irregularities on the rough surface of the sample.

In addition to profilometers, there are profilometers that allow you to not only measure but also to record rough profile parameters. The studies used a portable profilometer (workshop) RT-10 Plus (Fig. 7).



Figure 7 - Stand for measuring surface roughness: 1 - PC display; 2 - portable profilometer (workshop) RT-10 Plus; 3 - the test sample.

It was established from the previous paragraph that the red specimen does not meet the requirements of DSTU B EN 1469: 2007 [9], so further inspection and analysis will be directed only to the specimen granite with gray-red color.

Surface roughness study of gray-red granite. The experiments were performed when feeding the table of the horizontal milling machine 315 mm / min and 800 mm / min shown in figure 8 and 9.

Parameter	Value	Tol-	Tol+
R _a	0,446 µm	0,000	129,990
R _q	0,534 µm	0,000	129,990
R _t	3,101 µm	0,000	129,990
R _z	2,043 µm	0,000	129,990
R _c	1,057 µm	0,000	129,990
R _{Sm}	55,476 µm	0	12 999
R _{Pc}	200 /cm	0	1 300
R _{max}	2,846 µm	0,000	129,990



Figure 8 - Profile roughness curve (1 time - 315 mm / min) and its performance

Parameter	Value	Tol-	Tol+
R _a	0,44 µm	0,000	129,990
R _q	0,51 µm	0,000	129,990
R _t	2,944 µm	0,000	129,990
R _z	1,856 µm	0,000	129,990
R _c	0,63 µm	0,000	129,990
R _{Sm}	31,822 µm	0	12 999
R _{Pc}	344 /cm	0	1 300
R _{max}	2,677 µm	0,000	129,990



Figure 9 - Profile roughness curve (2 times 800 mm / min) and its performance.

Investigation of the geometric parameters of the wear products

As a result of the analysis of samples of fracture products using a LomMetam microscope equipped with a video camera, fragments of rock fracture products with diamond grain and micro particles of matrix material under different modes of cutting a diamond disk tool are presented.

Shown are the products of destruction of gray granite of the Zvirkivsky deposit, obtained at the cut # 1 - 315 mm / min by diamond segment cutting

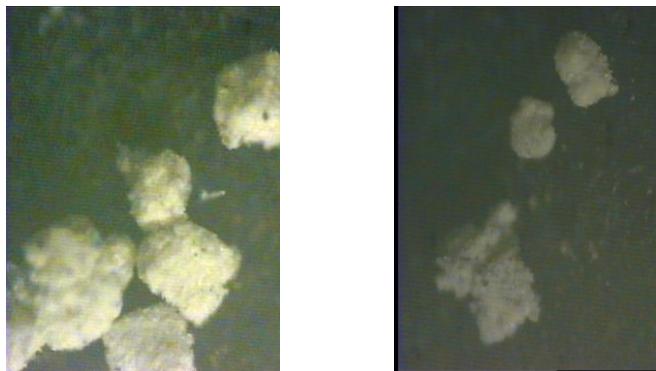


Figure 10 - Products of granite destruction a) - particle thickness of 150-200 microns, b) - particle thickness of 40, 90, 100, 200 microns

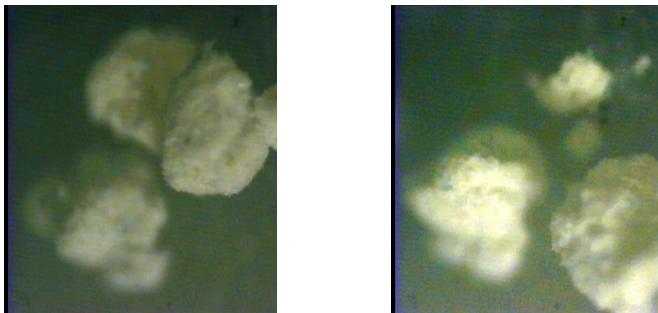


Figure 11 – Products of granite destruction a) – a particle with a thickness of 400, 250, 100, 100 microns b) – -/- 350-200 microns

The products of destruction of gray granite of the Zvirkivsky deposit at a cutting No. 2 - 800 mm / min are shown by a diamond segment cutting circle (Fig. 12). The width of the rock particles under these conditions ranges from 50 to 900 microns.

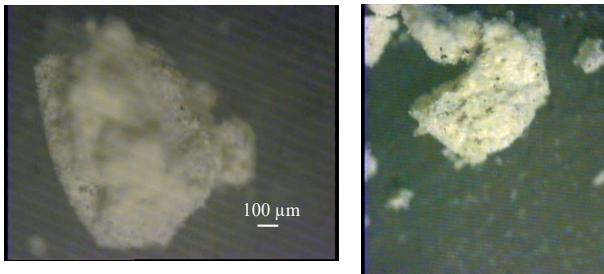


Figure 12 - Products of granite destruction a) - particle with a thickness of 900 μm , b) - particle with a thickness of 400 μm

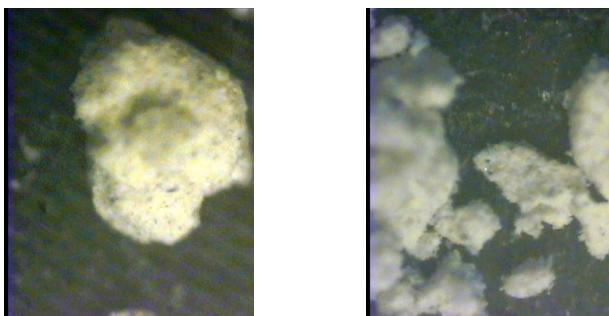


Figure 13 - Products of destruction of granite a) - a particle with a thickness of 850 μm , b) - a particle with a thickness of 200-300 μm



Figure 14 - Image under the microscope LomMetam: 1 - particles of products of destruction of granite, 2 - particles of the matrix material of the circle (AVSK)

Conclusions. Considering the Ukrainian standard for blocks of natural stone DSTU B EN 1467: 2007, it can be concluded that the sample of gray-red granite is suitable for use in finishing works, and red granite does not meet these requirements [10-11].

From the results of the studies it can be concluded that, as the flow increases, the value of surface roughness increases.

Based on these studies, we can conclude that the second cut cleaves the sludge particles with large overall dimensions. The cutting process is less energy intensive, but the surface of the facing boards is damaged.

The wear resistance of the saw matrix was also investigated as a result of magnetic separation of the wear products of the diamond segment of the cutting circle from the products of the destruction of the gray-red specimen of the Zvirkovsky granite deposit. The separation of wear particles from the matrix is fragile.

References:

1. O.V. Myasnikova, V.A. Shekov, Investigation of the dynamics of micro crack behavior induced by an explosion in granites // Geological and technological studies of Fennoscandia industrial minerals. Petrozavodsk: KarNC RAS, 2003. P. 82–85.
2. O.V. Myasnikova, V.A. Shekov Some aspects of the assessment of rock destruction // Building materials. 2008. № 7. S. 26–27.
3. O.V. Myasnikova Investigation of micro cracks of eruptive rocks at dynamic loads // Relations of surface structures of the crust with deep ones: Proceedings of the 14th International Conference. Petrozavodsk: KarNC RAS, 2008. Part 2. P. 67–70.
4. V.V. Korobychuk Development of a methodology for determining the geometric features of fracture of samples of decorative natural stone: 7th Annual International Industrial Conference and Blitz-Exhibition "Efficiency of Realization of Scientific, Resource and Industrial Potential in Modern Conditions" / V.V. Korobychuk, Y.U. Podchashinsky, O.O. Remezova, R.V. Sobolevsky // (February 12–16, 2007) - Slavskoe, 2007. - P. 298–300.
5. R.V. Sobolevsky, Substantiation of optimal technological parameters of granite blocks extraction on the basis of fracture indices / R.V. Sobolevsky, V.G. Levitsky // Eastern European Journal of Advanced Technologies. - 2014. - №3. - pp. 48–52.
6. N.M. Barska Geological and economic estimation of additional and residual reserves of Zvirkovskiy granite deposit in Uman district of Cherkasy region / N.M. Barska, M.F. Sobolevska, NO Recently // Report of the non-metallic raw materials batch of SE "Centrukgeology" of NJSC "Nadra of Ukraine", Cherkasy. - 2013. - 251 p.

7. A.M. Orlov Extraction and processing of natural stone. - M.: Stroizdat, 1977. - 350 p.
8. GOST 2789-73 "Surface roughness. Options and Features »
9. DSTU B EN 1469: 2007. Natural stone products. Facing plates. Requirements (EN 1467: 2003, IDT) [Effective 01.10.2008]. Kind. offic. Kyiv Technical Committee for Standardization TC 305 "Construction products and materials"
10. T.O. Lunenko (2019), Optimization of the use of block stone for finishing works, Dyss. of magistranta, spec. 184 Girnyctvo, Kyiv, 98 p.
11. O.V. Horobchishin, Estimation of the gloss of the polished surface of a decorative stone / O.L. Geleta, O.V. Gorobchishin, I.A. Sergienko // Precious and ornamental stones. - 2011. - Kyiv, State Technical University - № 3 (65). - pp. 12–15.

Vapnichna Viktoriya - PhD, Associate Professor

Department geo-engineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056

E-mail: v.vapnichna@kpi.ua

SWEET

SYSTEM FOR
WAREHOUSE EVIDENCE OF EXPLOSIVES
AND
EXPLOSIVES TRACING

Vlastnosti:

Naplnenie Smernice
EU 2008/43/ES

Univerzálny

On-line archív

Synchronizácia

Rozhranie XML
súborov

V slovenskom jazyku

Evidovanie výbušnín od:

AUSTIN
DAPMON
EXPLOZIA
NITROERG
ORICA
SSE
STV GROUP

Systém pre skladovú evidenciu výbušní a sledovateľnosť výbušní

Systém funguje nezávisle od výrobcov, od typu použitého kódu, od čítacieho zariadenia, od systému kódovania a dodržania odporúčania značenia výbušní 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 vyhadený počítač.

- SWEET Web** je webová služba, pomocou ktorej sa môže používateľ prihlásiť, kontrolovať, vyhľadávať a spravovať zabezpečené úložisko cez ľubovoľný počítač s internetom.



Výbušníky	Množstvo
→ Rozbušky Elektrické	28 ks
→ Rozbušky Neelektrické	210 ks
Nášivky	Množstvo
INDETHOICK MS 25/50 Č 1x4,2m	10 ks
INDETHOICK MS 25/50 Č 2x4,2m	10 ks
INDETHOICK MS 28/60 Č 2x4,2m	100 ks
INDETHOICK MS 28/60 Č 4,2m	10 ks
INDETHOICK MS 25/50 Č 4,2m	20 ks
SURFACE 28m 7,8m	40 ks
SURFACE 42m 7,8m	10 ks
→ Rozbušky Elektronické	0 ks
→ Trhaviny Sýpké	175 kg
→ Trhaviny Plastické	845 kg



LUVEMA, spol. s r.o. Ing. Marián Beňovský
M. R. Štefánika 43 Tel: +421 903 830 927
968 01 Nová Baňa luvema@luvema.sk
Slovensko www.sweeet.sk



AUSTIN POWDER SLOVAKIA

BEZPEČNOSŤ · KVALITA · TRADÍCIA · PARTNERSTVO

Austin Powder Slovakia, s.r.o. je spoločne s výrobcom a dodávateľom prostriedkov trhaciej 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 vnútrostátnu 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., Rybničná 40, 831 06 Bratislava
tel.: +421 244 882 347, austinslovakia@austinpowder.sk
www.austinpowder.sk