

Urabianie złóż materiałami wybuchowymi w kopalniach rud miedzi LGOM

Excavation of deposit by the use of explosives in LGOM mines conditions



*Dr inż. Piotr Mertuszka**



*Mgr inż. Piotr Kondol**)*



*Mgr inż. Jerzy Pawłowicz***)*



*Mgr inż. Wojciech Baran****)*



*Mgr inż. Tadeusz Dulko*****)*

Treść: Do pozyskiwania urobku w kopalniach rud miedzi w rejonie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego od momentu rozpoczęcia eksploatacji stosowano materiały wybuchowe. W oparciu o ponad 50-letnie doświadczenie można wnioskować, że zastąpienie tej technologii innymi rozwiązaniami, nie będzie w najbliższym czasie możliwe, zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak i z uwagi na występowanie coraz trudniejszych warunków górniczo-geologicznych. Postęp technologiczny w zakresie techniki strzałowej w górnictwie światowym znalazł także swoje odzwierciedlenie w polskim górnictwie rud i metali nieżelaznych. Wykorzystywane początkowo dynamity zastąpione zostały niemalże całkowicie materiałami wybuchowymi emulsyjnymi, w tym w zdecydowanej większości materiałami luzem. Ręczny załadunek otworów strzałowych materiałami nabojuowanymi zastąpiono modułami produkcyjno-załadawczymi dla MWE luzem. Z kolei stosowane przez blisko 30 lat zapalniki elektryczne, pod koniec lat 90. zostały zastąpione systemami inicjacji nieelektrycznej. W ramach artykułu przedstawiono wybrane etapy ewolucji robót eksploatacyjnych w kopalniach rud miedzi LGOM, bazujących na technice strzałowej ze szczególnym uwzględnieniem stosowanych w kolejnych latach środków strzałowych.

Abstract: Explosives have been used for exploitation of the deposit in the Legnica-Głogów Copper Belt since the beginning of operations in this area. Based on more than 50 years of experience one may conclude, that replacing of this technology with other solutions will not be possible in the near future, both from economic reasons as well as due to difficult mining and geological conditions. Technological progress in the field of blasting techniques in the world's mining industry has also been reflected in the Polish mining of non-ferrous metal ores. The primary used dynamites were almost completely replaced with the emulsion explosives, delivered mainly in the bulk form. The manual loading of cartridge explosives into the blastholes was replaced with mixing-charging units for bulk emulsion explosives. In turn, electric detonators used for almost 30 years, at the end of '90s were replaced with non-electric initiation systems. The article presents selected stages of the evolution of mining in the LGOM copper mines based on the blasting technology, with particular reference to the explosives and initiation systems used in subsequent years.

*) KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe Wrocław

***) KGHM Polska Miedź S.A., 59-301 Lubin

****) KGHM Polska Miedź S.A. oddział Zakłady Górnicze „Rudna” Polkowice

*****) KGHM Polska Miedź S.A. oddział Zakłady Górnicze „Lubin” Lubin

*****) KGHM Polska Miedź S.A. oddział Zakłady Górnicze „Polkowice-Sieroszowice” Polkowice, Kaźmierzów

Słowa kluczowe:

materiały wybuchowe, systemy inicjacji, roboty strzałowe

Key words:

explosives, initiation systems, blasting works

1. Wprowadzenie

Złoże rud miedzi w rejonie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) eksploatowane jest obecnie przez trzy oddziały górnicze należące do KGHM Polska Miedź S.A. Z początkami górnictwa w tym obszarze związana jest szczególnie postać Jana Wyżykowskiego, który wraz ze swoim zespołem pod koniec lat 50. ubiegłego stulecia w wyniku prowadzonych badań potwierdził okruszcowanie w próbkach skalnych uzyskanych w trakcie wiercenia otworów badawczych. Ustalono, że średnia zawartość miedzi w złożu w tym rejonie wynosi ok. 1,42%. Całkowite zasoby oszacowano na blisko 20 milionów Mg miedzi. Z początkiem lat 60. nastąpił intensywny rozwój polskiego górnictwa rud miedzi w rejonie LGOM. W roku 1960 powstały „ZG Lubin w budowie”, które przekształcono następnie w „Kombinat Górniczo-Hutniczy Miedzi w Lubinie w budowie”. Rok 1968 to rozpoczęcie eksploatacji złóż w Zakładach Górniczych „Lubin” i „Polkowice”. Następnie w roku 1974 powstała kopalnia „Rudna” będąca w tym czasie największą jednostką zagłębia miedziowego. W roku 1980 natomiast rozpoczęto eksploatację złóża w Zakładach Górniczych „Siersoszowice” (Siewierski i in. 1996). W chwili obecnej złoże rud miedzi w rejonie LGOM wydobywane jest w trzech oddziałach górniczych, tj.: „Lubin”, „Rudna” i „Polkowice-Siersoszowice”, który powstał w roku 1996 w wyniku połączenia kopalń „Polkowice” i „Siersoszowice”.

Zasoby przemysłowe kopalni „Rudna” wynoszą około 432 miliony ton rudy miedzi. Średnia zawartość miedzi wynosi 1,88% przy średniej zawartości srebra na poziomie 62,52 g/Mg. Głębokość zalegania skał miedzionośnych w złożu „Rudna” wynosi od 844 do 1250 m, a złoża „Głógów Głęboki-Przemysłowy” sięga aż do 1385 m. Zasoby przemysłowe złoża „Lubin-Małomice” wynoszą ponad 328 milionów ton rudy miedzi. Zawartość miedzi w rudzie wynosi średnio 1,28%, a srebra 54,5 g/Mg. Głębokość zalegania złoża „Lubin-Małomice” wynosi od 368 do 1006 m. Kopalnia „Polkowice-Siersoszowice” prowadzi roboty górnicze w obrębie czterech złóż: „Polkowice”, „Radwanice Wschód”, „Siersoszowice” i części złoża „Głógów Głęboki-Przemysłowy”. Zasoby przemysłowe wynoszą 409 milionów ton rudy miedzi. Średnia zawartość miedzi wynosi około 2,30%, a srebra 62 g/Mg.

Od momentu rozpoczęcia eksploatacji złóż rudy miedzi w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A., metody urabiania oparte są na materiałach wybuchowych (MW) i technice strzałowej, co determinuje przede wszystkim dużą wytrzymałość skał złożowych i ich abrazywność (Speczik i in. 2003). Warstwy okruszczowane zlokalizowane są na kontakcie trudno urabialnych warstw piaskowców i dolomitów o wysokich pramateriach wytrzymałościowych. Z uwagi na dużą zmienność litologii złoża, stosuje się różne metryki strzałowe, dostosowane odpowiednio do skał furty eksploatacyjnej, przy czym materiał wybuchowy dobiera się do najtrudniej urabialnych skał w profilu furty eksploatacyjnej. Testowane w ostatnich latach różne systemy mechanicznego urabiania złóż nie przyniosły dotychczas w pełni satysfakcjonujących rezultatów. I choć są one technicznie możliwe do zastosowania, to z ekonomicznego punktu widzenia, na obecnym etapie nie ma możliwości zastosowania ich na skalę przemysłową (Młynarczyk i in. 2015).

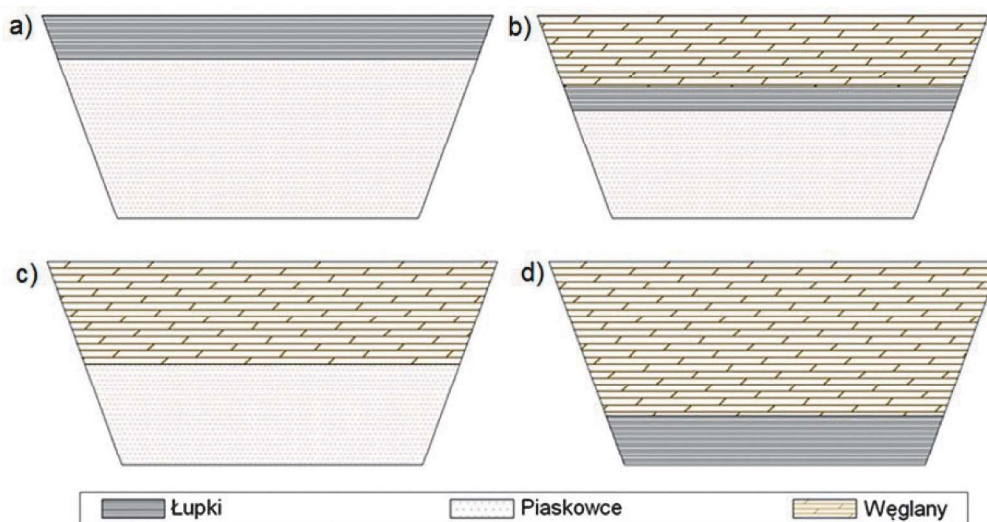
Wieloletnie doświadczenia potwierdziły, że komorowo-filarowy system eksploatacji złóż wydaje się być najbardziej efektywnym i ekonomicznie uzasadnionym systemem urabiania w warunkach polskich kopalń rud miedzi (Butra 2010). System ten jest jedną z najstarszych metod podziemnej eksploatacji złóż poziomych bądź o małym nachyleniu, zalegających w skałach zwiezłych (Farmer 1996). Jak dotąd, w kopalniach LGOM opracowano i wdrożono ponad 45 odmian systemów komorowo-filarowych (Butra i Kicki 2003), z których obecnie stosuje się około połowę. Do wiercenia otworów strzałowych wykorzystywane są samojezdne wozy wierzące (SWW) na podwoziu oponowym, które zbudowane są z ciągnika i platformy wierzącej. Do odwierconych otworów strzałowych ładowane są materiały wybuchowe, zarówno ręcznie, w przypadku MW nabojowanych, jak również mechanicznie – w przypadku materiałów wybuchowych emulsyjnych (MWE) luzem. Maszynami górniczymi, które stosuje się do załadunku otworów strzałowych są samojezdne wozy strzelnicze (SWS), które można podzielić na dwa typy: (1) do obsługi przodków górniczych w zakresie transportu środków strzałowych i załogi strzałowej oraz (2) wyposażone w moduły mieszalniczo-załadkowe, wykorzystywane do produkcji i mechanicznego załadunku MWE luzem.

W zależności od oczekiwanego efektu prac strzałowych oraz panujących warunków górniczo-geologicznych, stosowane są różnego rodzaju materiały wybuchowe. Obecnie są to przede wszystkim materiały wybuchowe emulsyjne luzem. Dobór danego materiału wybuchowego odbywa się z uwzględnieniem warunków geomechanicznych skał w rejonie wykonywania prac strzałowych w oparciu o ocenę szeregu parametrów materiału wybuchowego oraz czynników technologicznych wpływających na jego zachowanie w danych warunkach górniczo-geologicznych.

2. Czynniki determinujące przyjęty system eksploatacji

Złoże rud miedzi zalegające na obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego cechuje duża zmienność warunków geologicznych, a w szczególności głębokość zalegania, miąższość złoża bilansowego czy parametry wytrzymałościowe skał złożowych i otaczających. Czynniki te determinują konieczność wprowadzania modyfikacji do stosowanych metod urabiania lub też warunkują potrzebę opracowywania zupełnie nowych systemów eksploatacji, dopasowanych do istniejących warunków geologiczno-górnich.

Stosowane obecnie środki strzałowe wykorzystuje się przede wszystkim do urabiania rudy na oddziałach eksploatacyjnych zakładów górniczych, odprężania górotworu oraz drażenia wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych. Na furtę złożową składają się trzy typy skał: dolomity wapniste i wapienie dolomityczne, łupki dolomityczno-ilaste i piaskowce kwarcowe, co należy uwzględniać przy doborze metryk strzałowych w danych warunkach eksploatacyjnych. W zależności od okruszczowania poszczególnych warstw, furta eksploatacyjna przyjmuje jeden z następujących układów: łupek-piaskowiec, dolomit-łupek-piaskowiec, dolomit-piaskowiec i dolomit-łupek (rys. 1). Poszczególne warstwy skał złożowych są w różnym stopniu podatne na urabianie techniką strzałową (Janowski i in. 1996).



a) łupek-piaskowiec; b) dolomit-łupek-piaskowiec; c) dolomit-piaskowiec d) dolomit-łupek

Rys. 1. Typowe układy warstw litologicznych w furtach złożowych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A.
Fig. 1. Typical lithological profiles within the ore body in KGHM mines

Najłatwiej urabialne są łupki dolomityczne, aczkolwiek wiercenie otworów strzałowych w tych warstwach jest mocno ograniczone ze względu na ich zaciskanie. Dolomity zalicza się do skał stosunkowo dobrze urabialnych. Piaskowce należą do skał trudno urabialnych ze względu na ich porowatość i tłumienie fali detonacyjnej.

Wraz ze zmieniającym się ułożeniem warstw skalnych, zauważa się dużą zmienność parametrów wytrzymałościowych skał furty eksploatacyjnej. Wytrzymałość skał złożowych na jednoosiowe ściskanie (σ) rozpatrywana dla całego obszaru LGOM (bez podziału na oddziały górnicze) waha się w granicach od kilku do nawet 220 MPa, przy czym blisko 90% furt można opisać średnioważoną wytrzymałością na ściskanie mieszczącą się w przedziale od 20 MPa do 140 MPa i 65% w zakresie od 40 MPa do 120 MPa. Z uwagi na dostępny park maszynowy, nie jest możliwe dobieranie różnych materiałów wybuchowych do poszczególnych warstw furty złożowej. W związku z tym dobiera się go w taki sposób, aby dostosowany był do skały o najwyższych parametrach wytrzymałościowych.

Biorąc pod uwagę warunki górniczo-geologiczne, które panują w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A., materiał wybuchowy powinien spełniać szereg kryteriów, z których najważniejszymi są: (1) odpowiednio duża siła i zdolność do wykonania pracy, (2) wysoka zdolność do niszczenia ośrodka skalnego, (3) wodoodporność, (4) niska wrażliwość na bodźce mechaniczne, (5) luźna postać ze względu na mechaniczny ładunek otworów, (6) niska zawartość gazów postrzałowych w produktach wybuchu, (7) splonkoczulość, tj. możliwość inicjacji od samego zapalnika oraz (8) odporność na wysoką temperaturę do 50°C. Ostatnie kryterium jest w tej chwili szczególnie istotne z uwagi na zwiększającą się głębokość prowadzenia eksploatacji. Jak zaznaczają Bartlett i in. (2013), polskie kopalnie rud miedzi zlokalizowane są na obszarze, który charakteryzuje się niekorzystnym gradientem geotermicznym. Przykładowo, w Zakładach Górniczych „Rudna”, pierwotna temperatura górotworu na poziomie spągu cechsztynu, który jest głównym poziomem wyrobisk górniczych, waha się od 34,5°C do 47,7°C i wynosi średnio 39,2°C (KGHM ... 2012), a gradient geotermiczny w tym rejonie wynosi średnio od 2,5°C do 3,0°C na każde 100 metrów (Oszczepalski 2007). Oznacza to, że w najbliższych

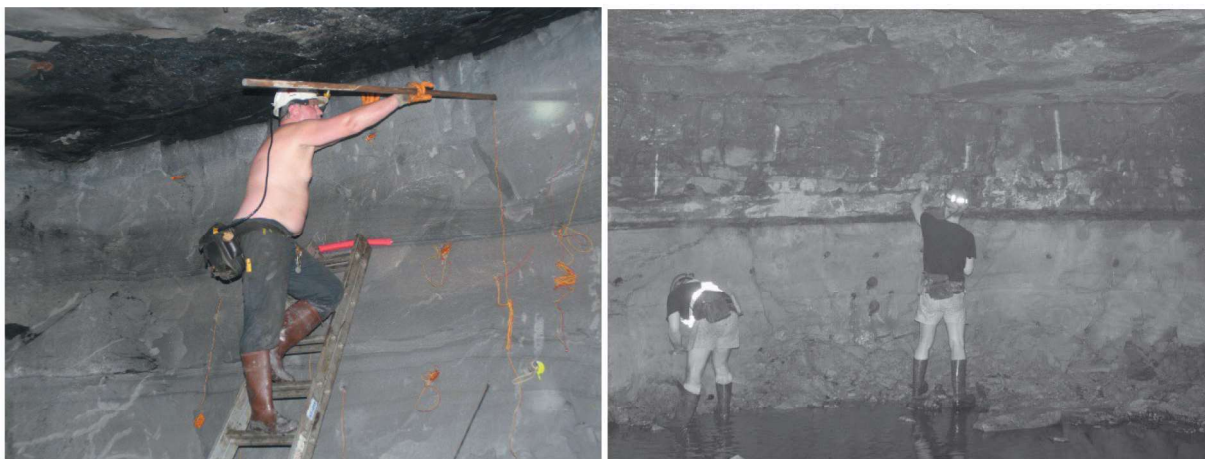
latach wraz z postępowaniem eksploatacji, temperatura pierwotna skał wzrośnie, co może wpływać niekorzystnie na skuteczność stosowanych środków strzałowych.

3. Materiały wybuchowe

W pierwszych latach prowadzenia eksploatacji w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. dominującymi typami stosowanych materiałów wybuchowych były dynamity, amonity i saletrole. Dynamity były dość dobrze dopasowane do istniejących warunków górniczo-geologicznych, ponieważ charakteryzowały się stosunkowo dużą siłą działania oraz były praktycznie całkowicie wodoodporne. Niestety wysoka wrażliwość na bodźce mechaniczne stwarzała zagrożenie samoistnej detonacji na skutek uderzenia lub nawiercenia się na resztki niezdetonowanego MW. Istotnym problemem było także wydzielanie szkodliwych oparów nitroestrów powodujące bóle głowy u górników strzałowych w trakcie ładowania. Wysoka wrażliwość dynamitów na bodźce mechaniczne utrudniała mechanizację ładunku. Testy ładownic pneumatycznych przerwano z przyczyn technicznych. Głównym problemem było rozcinanie ładunków na wylocie węża ładowniczego związane z wysokim strumieniem tłoczonego powietrza, a także blokowanie się ładunków MW w wężu z uwagi na ich niewłaściwe wymiary. Dlatego też ładowanie otworów strzałowych wykonywano metodą tradycyjną (rys. 2).

W sytuacji ograniczonej dostępności dynamitów stosowano także amonity, które zawierają około 10% nitroestrów i około 80% saletry amonowej. Są one znacznie słabszymi materiałami wybuchowymi w porównaniu do dynamitów. Z uwagi na niewielką wodoodporność, ich stosowanie w otworach zawodnionych jest ograniczone.

W pierwszych latach prowadzenia robót górniczych w rejonie kopalń LGOM, najpopularniejszymi nitroestrowymi materiałami wybuchowymi były dynamity skalne 5G1 i 5G3 do skał zwięzłych suchych i zawodnionych, dynamity skalne beztrotylowe 8GH i 3GH2 do skał bardzo zwięzłych i mocno zawodnionych oraz skał bardzo zwięzłych suchych, a także wodoodporne amonity skalne 15GH do skał słabych i średnio zwięzłych, suchych lub zawiłgoonych.



Rys. 2. Ładowanie otworów strzałowych metodą tradycyjną
Fig. 2. Loading of the blastholes with the traditional method

Kolejną grupą materiałów wybuchowych wprowadzoną do stosowania w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. były różne odmiany materiałów wybuchowych typu ANFO (saletroli), tj. mieszaniny saletry amonowej i oleju mineralnego. Niewielka siła oraz brak wodoodporności sprawiały, że ten typ MW stosowano przede wszystkim ze względu na możliwość mechanicznego załadunku, co było szczególnie istotne w trakcie ładowania otworów długich, np. otworów odprężających w stropie. Główną zaletą MW typu ANFO była zdecydowanie niższa cena od klasycznych materiałów wybuchowych nabojujących i możliwość mechanizacji załadunku otworów. W kolejnych latach wykorzystywano zarówno saletrole sporządzane na dole kopalni, jak i saletrole produkowane jako gotowy materiał wybuchowy.

Konieczność mechanizacji robot strzałowych doprowadziła do opracowania i wdrożenia urządzeń do pneumatycznego ładowania otworów strzałowych saletrolem. Pierwszym tego typu urządzeniem był system „Nikol” opracowany przez ŻG „Lena” w Wilkowie. Producent ten w kolejnych latach opracował także i wdrożył do stosowania w podziemnych kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. samojezdne wozy strzałowe typu SWS, na których znajdowały się sprężarki i zbiorniki ciśnieniowe dostarczające do urządzenia „Nikol” sprężone powietrze. Na wozach tych znajdowały się również pojemniki na materiał wybuchowy nabojujący oraz zapalniki.

Do sporządzania saletrolu wykorzystywano także powszechnie betoniarki wolnospadowe o napędzie elektrycznym lub powietrznym, zarówno stacjonarne, jak i montowane na samojezdnych maszynach. Z kolei ładowanie długich otworów stropowych saletrolem prowadzono przy użyciu zabudowanej na wozie ładownicy pneumatycznej ŁP-100.

Niewątpliwym przełomem w mechanizacji robót strzałowych nastąpił w roku 1995, kiedy to opracowano i wdrożono do ruchu samojezdny wóz strzałowy typu SWS-5 z zabudowanym integralnie układem do pneumatycznego załadunku otworów strzałowych saletrolem. Łącznie zakupiono dwa pojazdy tego typu, których producentem była firma Nitro Nobel ze Szwecji (rys. 3). Gotowy saletrol transportowano w zabudowanych na wozach zbiornikach o pojemności 500 i 1000 dm³. Do ładowania otworów wykorzystywano urządzenie ładujące typu ANOL CC (Pietkiewicz, Janusz 2004). Materiał wybuchowy sporządzany był wcześniej stacjonarnie przy użyciu urządzenia AMIX i przepompowywany do zbiorników zabudowanych na wozie strzałowym.

Dynamity oraz saletrole były podstawowym środkiem urabiającym w kopalniach LGOM przez blisko 30 lat. Pod koniec lat 90. opracowano i dopuszczono tzw. dynamity ekologiczne. Dzięki wyeliminowaniu nitrozwiązków z ich składu oraz zmniejszeniu ilości toksycznych składników w gazach postrzałowych, ich wdrożenie wpłynęło korzystnie



Rys. 3. Samojezdny Wóz Strzałowy typu SWS z modulem do mechanicznego załadunku otworów saletrolem
Fig. 3. Blasting Utility Vehicle type SWS with mechanical blasthole loading unit of ANFO

na poprawę warunków pracy. Jako pierwsze dopuszczono do stosowania dynamity ekologiczne D18G5H produkowane przez ZTS ERG-Bieruń S.A. oraz D20G5H produkowane przez ZTS Nitron S.A.

Dążąc do unowocześnienia robót strzałowych w kopalniach rud miedzi LGOM, w roku 1994 podjęto pierwsze próby zastosowania do urabiania skał materiałów wybuchowych emulsyjnych. Prace prowadzono w kopalni „Rudna”. Miały one na celu analizę skuteczności stosowania w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. materiałów wybuchowych tzw. nowej generacji i ocenę możliwości zastąpienia klasycznych materiałów wybuchowych materiałami emulsyjnymi. W kolejnych latach przeprowadzono szereg testów dołowych z wykorzystaniem MWE niemieckiej firmy Westspreng GmbH oraz MWE produkowanego przez ZTS Nitron. Analizowano kilka typów MWE, w tym luzem i nabojujących. Były to m.in. Impulsit RP-220, Emulgit 82GP, Emulgit 42G, Riomex-2 oraz Nitremul-3. Do inicjacji stosowano pobudzacze wybuchowe D-84 produkowane przez ZTS Nitron oraz zapalniki elektryczne węglowe i metanowe. Konfekcjonowany materiał wybuchowy dostarczano na teren kopalni w workach, a następnie zatłaczano do otworów pompami zabudowanymi na podwoziu wozu strzałowego typu SWS-4B, w tym pompą typu WSG-3 (Westspreng) oraz PE-35 (ZTS Nitron). Wyniki testów analizowano pod kątem efektywności robót oraz możliwości ich mechanizacji. W celu właściwej oceny robót w stosunku do stanu obecnego, przodki odpalano tymi samymi metrykami, co przy klasycznych materiałach wybuchowych.

Wyniki badań potwierdziły, że efektywność robót strzałowych przy użyciu MWE typu Emulgit 82GP, Emulgit 42G i Emulinit 1 nie odbiega od efektywności robót przy użyciu klasycznych MW. Ponadto wykazano niższy koszt robót strzałowych niż w przypadku robót z wykorzystaniem dynamitów. Innymi zaletami było większe bezpieczeństwo podczas transportu i składowania, zmniejszenie emisji gazów postrzałowych oraz utrata właściwości wybuchowych resztek MWE w przypadku niezdetonowania części ładunku. Prace z wykorzystaniem MWE typu Riomex-2 oceniono negatywnie. Z kolei testy z MWE luzem typu Impulsit RP-220 oraz Nitremul-3 – pozytywnie, choć wskazano szereg czynników ograniczających ładowanie przodków, w tym m.in. wycieki z węża załadunkowego, brak precyzji dozowania żądanych ilości MWE do otworów, uszkodzenia worków w trakcie

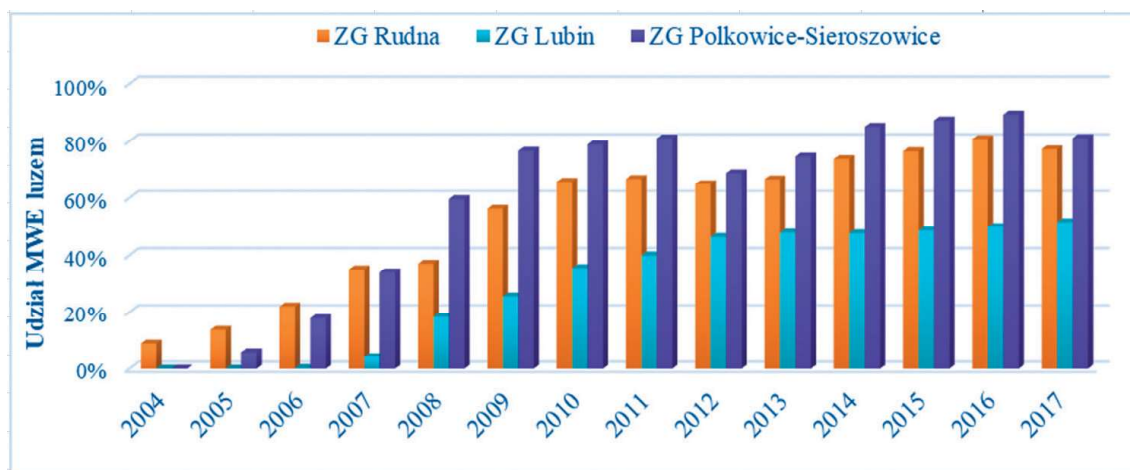
załadunku gotowego MWE do leja pompy oraz niską wydajność pomp tłoczących. Niemniej wzrost zużycia materiałów wybuchowych emulsyjnych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. postępował bardzo szybko. W roku 1997 zużycie MWE wynosiło 21,7 Mg (tylko kopalnia „Rudna”), 1084,3 Mg w roku 1998 i 2051 Mg w roku 1999.

Próby mechanizacji robót strzałowych kontynuowano od roku 2002 na terenie kopalni „Rudna”. Badaniom poddano materiał wybuchowy emulsyjny luzem typu RP-T1 sporządzany bezpośrednio w miejscu prowadzenia robót przy użyciu prototypowego urządzenia mieszalniczo-załadkowego RP-T firmy Blastexpol Sp. z o.o. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały m.in. zwiększenie tempa ładowania otworów, możliwość dozowania żądanej ilości MWE na otwór oraz obniżenie zawartości tlenków azotu w gazach postrzałowych. W wyniku pozytywnych testów opracowano i wykonano prototyp wozu strzałowego SWS-E zabudowanego na podwoziu Atlas Copco DC 17B z zamontowanym integralnie modulem do wytwarzania i zatłaczania MWE do otworów strzałowych (rys. 4). Już w roku 2004 tym jednym wozem strzałowym zatłoczono do otworów blisko 10% materiałów wybuchowych emulsyjnych zużytych w kopalni „Rudna” (Laskownicki i in. 2004). W kolejnych latach następował znaczny wzrost udziału MWE luzem w całkowitej ilości materiału wybuchowego wykorzystywanego w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A.

Obecnie w kopalniach rud miedzi LGOM stosuje się dwa typy materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem, w tym Emulinit 8L produkowany przez NITROERG S.A. oraz Emulgit RP-T2 produkowany przez MAXAM Polska Sp. z o.o. przy całkowitym rocznym zużyciu wynoszącym około 12÷14 tys. Mg. Załadunek otworów odbywa się przy użyciu 45 modułów produkcyjno-załadkowych zabudowanych na samojezdnych wozach strzałowych typu SWS. Materiały wybuchowe emulsyjne luzem stanowią obecnie ponad 70% wszystkich stosowanych materiałów wybuchowych, przy największym zużyciu w kopalni „Polkowice-Sieroszowice” (rys. 5). W uzupełnieniu do MWE luzem, stosowane są także dynamity stanowiące ponad 20% wszystkich materiałów wybuchowych oraz MWE nabojujące. Zwiększenie udziału MWE luzem w całkowitym wykorzystaniu MW ograniczone jest wyłącznie dostępnym parkiem maszynowym do mechanicznego załadunku otworów.



Rys. 4. Prototyp wozu strzałowego SWS-E z modulem do wytwarzania i zatłaczania MWE luzem
Fig. 4. Prototype of SWS-E blasting utility vehicle with the mixing-loading unit of bulk emulsion explosives



Rys. 5. Procentowe zużycie MWE luzem w stosunku do całkowitego zużycia MW w latach 2004-2017

Fig. 5. Percentage of bulk emulsion explosives in relation to total consumption of explosives in 2004-2017

Po roku 2000 do stosowania w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. dopuszczono szereg nowych materiałów wybuchowych, w tym m.in. MWE nabożowane (Emulgit, Emulinit, Senatel) i luzem (Emulgit, Emulinit, Riomex MPU), MW zawieszinowe nabożowane (Riogel Troner), zawieszinowe luzem (Rioflex U), dynamity (Ergodyn) oraz saletrole (Hanal 1), przy czym zastosowanie saletroli jest obecnie ograniczone wyłącznie do robót specjalistycznych (np. do szybików), przy których odpala się ładunki MW w długich otworach strzałowych.

4. Środki inicjujące

Ładunki materiału wybuchowego inicjowano od samego początku zapalnikami elektrycznymi. Z uwagi na znaczne wymiary przodków, wykorzystywane pierwotnie zapalniki sekundowe (dostępne w 1-sekundowych interwałach czasowych), zastąpiono 0,5-sekundowymi. Do inicjacji otworów włomowych stosowano zapalniki milisekundowe, najczęściej w połączeniu z 0,5-sekundowymi. Ze względu na wysoką twardość skał, same zapalniki milisekundowe nie dawały odpowiedniego efektu robót strzałowych. W związku z tym zabory były niepełne, a urobek rozrzucony był na dużej odległości od czoła przodka. Bezpieczny poziom prądu dla tego typu zapalników wynosił $0,2 \div 0,35$ A. W sytuacji występowania prądów błądzących powyżej 0,1 A stosowano zapalniki o podwyższonym prądzie bezpiecznym do 0,45 A i 2 A. Do inicjacji ładunków MW w długich otworach strzałowych, w celu zapewnienia pewności inicjacji, a także przy strzelaniach zawałowych w otworach o długości ok. $10 \div 12$ m stosowano lont detonujący.

Wysoka przewodność elektryczna skał złożowych determinowała dobór odpowiednich zapalarek elektrycznych. W związku z tym w głównych liniach strzałowych stosowano niskooporowe obwody strzałowe. Zapalniki w przodkach łączono przy użyciu tzw. połączeń szeregowych, równoległych oraz mieszanych. Niestety w połączeniu równoległym (tzw. antenowym), wykrycie w trakcie kontroli obwodu zapalników wadliwych lub niepodłączonych nie było możliwe. W związku z tym w roku 1993 zaprzestano stosowania tego typu połączeń. Wiodącym rozwiązaniem stało się łączenie zapalników w obwody równoległo-szeregowy bezantenowe. Ważne było jednak zachowanie maksymalnej rezystancji obwodu strzałowego, która była określana dla odpowiedniej liczby ZE w grupie w zależności od stosowanej zapalarki.

Problem odpalania jednocześnie dużej liczby przodków połączonych w układ równoległo-szeregowy rozwiązano

poprzez obniżanie oporu sieci strzałowej lub też zwiększanie napięcia wyjściowego zapalarki. W początkowym okresie eksploatacji stosowano sieciowe zapalarki kondensatorowe SZKSz-Barbara 2a oraz przenośne zapalarki typu Barbara TZKS-250, ZK-300/M i TZK-100G. Niestety wysokie napięcia zapalarek prowadziły nierzadko do przebieg izolacji w obwodach strzałowych i wpływów prądu, a w efekcie do niewypałów. W związku z tym przez wiele kolejnych lat zapalniki elektryczne w kopalniach LGOM inicjowano zapalarkami o średnim napięciu, w tym m.in. zapalarkami typu KZK-200, TZK-250 i TZK-350.

Ponieważ przyjęta metoda eksploatacji złoża wymagała jednoczesnego odpalania kilkuset lub kilku tysięcy otworów strzałowych, łączenie tak dużej liczby zapalników elektrycznych w sieci szeregowy lub równoległy nie było możliwe, głównie ze względu na ograniczenia dostępnych zapalarek. Dlatego też równoległe do testów dołowych z wykorzystaniem materiałów wybuchowych emulsyjnych, prowadzono prace mające na celu zastąpienie powszechnie stosowanych zapalników elektrycznych systemem inicjacji nieelektrycznej. Pierwszym w Polsce dopuszczonym do stosowania w podziemnych zakładach górniczych systemem nieelektrycznym był szwedzki system Nonel opracowany przez Nitro Nobel (obecnie Dyno Nobel). Zapalniki w tej technologii dostępne były w dwóch odmianach: Nonel MS o stopniach opóźnienia od 3 do 20 i interwale czasowym 25 ms ($75 \div 500$ ms) oraz Nonel LP o stopniach opóźnienia od 0 do 60 i zmiennym interwale czasowy ($25 \div 6000$ ms). Pierwsze próby z wykorzystaniem systemu Nonel przeprowadzono w roku 1996 w kopalni „Rudna”, a już w roku 1997 kilka tysięcy przodków zainicjowano tym systemem. Wzrost zużycia zapalników nieelektrycznych w kopalniach LGOM postępował bardzo szybko. W roku 1997 wynosiło ono 213 tys. sztuk (dotyczy tylko kopalni „Rudna”), 303,4 tys. sztuk w roku 1998 i 434,4 tys. sztuk w roku 1999. Jako główne zalety systemu inicjacji nieelektrycznej podawano szeroki wachlarz opóźnień, dzięki czemu możliwe było optymalizowanie stopnia rozdrobnienia urobku, prostota tworzenia sieci połączeń, zwiększenie bezpieczeństwa wobec prądów błądzących, zwiększenie ilości jednocześnie odpalanych zapalników oraz stosunkowo prosty sposób inicjowania. Podstawową wadą była bardzo wysoka cena w stosunku do klasycznych zapalników.

W związku z rosnącą konkurencją na rynku systemów inicjacji nieelektrycznej, w kolejnych latach testowano oraz wykorzystywano do robót górniczych następujące systemy: w roku 2000 system *Primadet* (UEE), w roku 2002 system *Nitronel* (ZTS Nitron), w 2004 system *Ergonel* (ERG-Bieruń),



Rys. 6. Procentowy udział zapalników nieelektrycznych w stosunku do całkowitego zużycia w latach 2003-2017
Fig. 6. Percentage of non-electric detonators in relation to total consumption of detonators in 2003-2017

w roku 2009 system *Indetshock* (Austin Powder) i w roku 2015 system *Rionel* (Maxam). W ostatnich latach nastąpił znaczny wzrost udziału zapalników nieelektrycznych w całkowitej ilości zapalników stosowanych w kopalniach. Zapalniki tego typu stanowią obecnie ponad 98% wszystkich stosowanych zapalników (rys. 6).

Do inicjacji ładunków MWE luzem w kopalniach LGOM stosuje się także różnego rodzaju dodatkowe ładunki udarowe, choć z założenia tego typu MW powinny detonować od zapalnika skalnego. Doświadczenia pokazały jednak, że stosowanie ładunków udarowych jest uzasadnione i ogranicza prawdopodobieństwa powstawania tzw. „fajek” czy resztek niezdetonowanego MW w otworach strzałowych, czego przyczyną są przede wszystkim występujące lokalnie wysokie parametry wytrzymałościowe skał. Pierwszymi zastosowanymi pobudzcami były pobudzacze lontowe *PL-80* produkowane przez ZTS Nitron, które w roku 2001 wykorzystano przy strzelaniu saletrolem. Do pobudzania MWE luzem stosowano natomiast kilka różnych rozwiązań ładunków udarowych, w tym m.in. w roku 2006 pobudzacze lontowe *PL-20* i *PL-40* (ZTS Nitron), w roku 2008 *Primer* produkowany przez UEE (obecnie Maxam) zastąpiony w kolejnych latach pobudzcami *Rioprime 25*. W roku 2014 wprowadzono do użytku pobudzacze *NKG-20* produkowany przez Austin Powder, a w roku 2016 pobudzacze wybuchowy *Nitrobooster* produkowany przez NITROERG S.A. Od roku 2017 powszechnie stosowanym ładunkiem udarowym jest pobudzacze wybuchowy *Nitrobooster 10M*, choć popularnym rozwiązaniem, szczególnie w twardych utworach anhydrytowych, jest stosowanie 300-gramowych ładunków dynamitu, które zwiększają impuls początkowy. Kryterium zastosowania dodatkowego ładunku udarowego uzależnione jest głównie od lokalnych parametrów wytrzymałościowych skał. W zdecydowanej większości jednak otwory załadowane MWE luzem są dodatkowo uzbrajane pobudzcami.

Kolejnym istotnym krokiem w ewolucji robót strzałowych w kopalniach rud miedzi LGOM było przeprowadzenie w roku 2011 pierwszych próbnych strzelań testowych z wykorzystaniem elektronicznego systemu inicjacji materiałów wybuchowych zapalnikami *i-kon* produkcji firmy Orica. Celem prób dołowych było sprawdzenie ich przydatności i możliwości zastosowania w warunkach kopalń rud miedzi LGOM. Wyniki testów analizowano pod kątem niezawodności systemu, czasu wykonywania obrotu strzałowego, czasu i sposobu programowania zapalników oraz możliwości ich zastosowania w profilaktyce tąpniowej. Jako główne zalety wskazywano tożsamy sposób ładowania otworów, jak przy stosowaniu klasycznych zapalników, łatwość wykonywania

obwodów przodkowych oraz skuteczność odpalania wszystkich zapalników w obwodzie. Główną wadą natomiast był natomiast znacznie dłuższy czas wykonywania obwodów w porównaniu do systemów nieelektrycznych (Laskowski i in. 2012). W rezultacie przeprowadzonych testów stwierdzono, że system *i-kon* może mieć zastosowanie w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. zarówno jako element wspomagający aktywne metody zwalczania zagrożenia tąpniami, jak i do kontrolowania poprawności wykonania wieloprzodkowych obwodów strzałowych.

W kolejnych latach w kopalniach LGOM analizowano możliwości wdrożenia oraz testowano z różnymi skutkami także inne systemy elektroniczne (Szumny, Ostiadet 2013). Obecnie dopuszczenia posiadają systemy *E*Star* (Austin Powder), *i-kon* (Orica) oraz *Ergonic-1* (Nitroerg). Niestety największą wadą tego typu zapalników jest w dalszym ciągu bardzo wysoka cena. Zapalniki elektroniczne są niemalże 20-krotnie droższe od zapalników nieelektrycznych.

5. Kierunki rozwoju

Pomimo tego, że poziom techniki strzałowej w kopalniach LGOM utrzymuje się na wysokim poziomie, nieprzerwanie prowadzi się prace i analizy nad jej doskonaleniem. Ostatnie lata doprowadziły do znacznego postępu technologicznego w zakresie systemów wspomaganie pracy operatorów maszyn wiertących, szczególnie w górnictwie podziemnym. System FGS (ang. *Feeder Guiding System*) zabudowany obecnie na kilku samojezdnych wozach wiertących pracujących w kopalni „Polkowice-Sieroszowice” umożliwia precyzyjne ustawianie ramy wiertącej i dokładne odwiercenie otworów według zadanej wcześniej do systemu metryki strzałowej, co istotnie wpływa na końcowy efekt robót strzałowych. Na podstawie przeprowadzonych do tej pory prac z wykorzystaniem systemu FGS stwierdzono, że jego stosowanie przekłada się bezpośrednio na wymierne efekty ekonomiczne np. w formie zwiększenia długości zabioru (Ostapów, Ławicki 2017). Innym rozwiązaniem pozostającym w fazie testów jest optyczny system wspomaganie wiercenia przodków, opracowany przez Politechnikę Wrocławską i KGHM Polska Miedź S.A. (Siwulski i in. 2015). System ten jest szczególnie istotny z uwagi na pogorszające się warunki klimatyczne w miejscach prowadzenia robót strzałowych w związku z rozpoczęciem eksploatacji złóż położonych na głębokościach przekraczających 1200 m, gdzie temperatura powietrza znacząco przekracza wartości dopuszczalne. Stanowi to podstawę do prowadzenia dalszych prac w zakresie automatyzacji procesu ładowania otworów strzałowych.

Zwiększająca się głębokość eksploatacji i zmieniające się parametry mechaniczne skał złożowych powodują, że stosowane materiały wybuchowe będą musiały być w niedalekiej przyszłości dopasowywane do lokalnie występujących warunków górniczo-geologicznych. Oznacza to, że od urządzeń produkcyjno-załadowczych oczekiwać się będzie wytwarzania materiałów wybuchowych o takich parametrach termodynamicznych, aby były one jak najlepiej dopasowane do danych warunków. Dobór odpowiednich parametrów MW powinien zatem bazować z jednej strony na analizie danych uzyskiwanych na bieżąco z wozów wiercących, ale także z uwzględnieniem efektów wcześniejszych robót prowadzonych w danym rejonie. Operacje te powinny być wykonywane w czasie rzeczywistym na zasadzie sprzężenia zwrotnego. Być może odpowiednim kierunkiem będzie zintegrowanie maszyn wiercących z modułami do wytwarzania MWE luzem, a także ze wspomaganiami komputerowym projektowania robót (Szumny 2012). Tego typu systemy stosowane są już w światowym górnictwie.

Wprowadzenie całkowitej automatyzacji załadunku MW do otworów strzałowych możliwe będzie w momencie dopuszczenia do powszechnego stosowania zapalników bezprzewodowych. Rozwiązania tego typu są już także wykorzystywane w kopalniach podziemnych na świecie. Pozwalają one na ciągłą komunikację dwukierunkową pomiędzy zapalnikiem i pozostałymi elementami systemu sterującego robotami strzałowymi. Rozwój metod informatycznych, które na bieżąco zbierają i analizują dane, pozwolą na opracowanie systemów zintegrowanych łączących ze sobą kilka powiązanych procesów. Systemy tego typu wdrażane są obecnie w światowym górnictwie w obszarze robót wiertniczo-strzałowych. Ich założeniem jest akwizycja i przetwarzanie przez wozy wierzące danych na temat procesu wiercenia, które następnie można wykorzystać do oceny bieżących parametrów wytrzymałościowych urabianych skał. Z kolei nowoczesne zapalniki umożliwiają dowolne programowanie czasów opóźnień i komunikację w obrębie systemu inicjacji, a stosowane moduły produkcyjno-załadowcze pozwalają na sterowanie parametrami wytwarzanych materiałów wybuchowych. Należy więc przypuszczać, że wszystkie elementy tych systemów staną się w niedalekiej przyszłości zintegrowane i stworzą jeden, spójny proces, który będzie w sposób ciągły zbierał dane, analizował je oraz na bieżąco korygował parametry robót wiertniczo-strzałowych.

6. Podsumowanie

Eksploatacja polskich złóż rud miedzi prowadzona jest na coraz większych głębokościach, a co za tym idzie – w coraz trudniejszych warunkach geologiczno-górnicznych. Od momentu rozpoczęcia eksploatacji w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. do urabiania złóż stosowano szereg rozwiązań technicznych. W latach 70. do urabiania przodka w wyrobisku korytarzowym w kopalni „Lubin” próbowano nawet zastosować działo artyleryjskie. Stosowano różne rodzaje pocisków, jednak metoda ta okazała się być mało efektywna. Próby wdrożenia systemów urabiania mechanicznego złoża rudy miedzi jak dotąd nie przyniosły w pełni satysfakcjonujących rezultatów. W oparciu o ponad 50-letnie doświadczenie można wnioskować, że zastąpienie technologii urabiania bazującej na materiałach wybuchowych innymi rozwiązaniami, nie będzie w najbliższym czasie możliwe, zarówno z przyczyn ekonomicznych, jak i z uwagi na występowanie bardzo trudnych warunków prowadzenia robót górniczych. W związku z powyższym, uzasadnione jest prowadzenie prac mających na celu zwiększenie efektywności stosowanej technologii

eksploatacji bazującej na technice strzałowej.

Wykonywanie robót wiertniczo-strzałowych w kopalniach LGOM jest i nadal będzie narażone na szereg niekorzystnych czynników związanych z warunkami eksploatacji złoża. Do czynników tych zaliczyć należy przede wszystkim zagrożenia klimatyczne oraz sejsmiczne, które uwarunkowane są wzrastającą głębokością zalegania złoża oraz zwiększającą się powierzchnią wybraną górotworu. Z punktu widzenia robót strzałowych, istotnym problemem, przed którym stoją obecnie służby kopalniane, wydają się być coraz trudniejsze warunki klimatyczne w polach eksploatacyjnych. Stanowi to podstawę do opracowania zautomatyzowanych systemów ładowania otworów strzałowych, które pozwolą na zwiększenie komfortu pracy górników strzałowych, ograniczając do minimum liczbę pracowników przebywających w przodkach eksploatacyjnych lub izolując ich w kabinach maszyn dołowych. Docelowo, obecność pracowników w tych obszarach powinna zostać całkowicie wyeliminowana. Wysoka temperatura pierwotna górotworu w rejonach prowadzenia robót wymusza rozpoczęcie prac nad opracowaniem materiałów wybuchowych o takich parametrach termodynamicznych, aby były one stabilne w temperaturach powyżej 50°C i utrzymywały zakładane parametry użytkowe w wymaganym czasie. Można zakładać, że zmiany te będą dotyczyły głównie modyfikacji materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem w zakresie dostosowania ich do panujących warunków eksploatacji.

Literatura

- BARTLETT S.C., BURGESS H., DAMJANOVIĆ B., GOWANS R.M., LATTANZI C.R. 2013 - Technical Report on the copper-silver production operations of KGHM Polska Miedź S.A. in the Legnica-Głogów Copper Belt area of southwestern Poland, MICON report.
- BUTRA J., KICKI J. 2003 - Ewolucja technologii eksploatacji złóż rud miedzi w polskich kopalniach, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- BUTRA J. 2010 - Eksploatacja złoża rud miedzi w warunkach zagrożenia tąpnięciami i zawałami, Wyd. KGHM CUPRUM sp. z o.o. CBR.
- FARMER I. 1996 - Room and Pillar Mining. [in:] SME Mining Engineering Handbook, 2nd Edition, Vol. 2, Chapter 18.1, [red.] Hartman H.L., Colorado.
- JANOWSKI A., CIESZKOWSKI H., DĄBSKI J., KATULSKI A., PIECHOTA S., ŻARSKI R. 1996 - Systemy eksploatacji, sposoby urabiania oraz rodzaje obudowy wyrobisk. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., część III - Górnictwo [red.] Mrozek K., Piechota S., Siewierski S., Lubin.
- KGHM Polska Miedź S.A. 2012 - Raport dotyczący aktywów górniczych KGHM Polska Miedź S.A. w rejonie LGOM, Lubin.
- LASKOWNICKI S., MAĆKOWIAK Z., GOŁĄBEK B., KASPERSKI J. 2004 - Mechanizacja robót strzałowych w zakładach górniczych KGHM Polska Miedź SA z zastosowaniem materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem. „Górnictwo i Geoinżynieria”, R. 28, z. 3/1, 219-230.
- LASKOWSKI M., PORĘBSKI K., MAĆKOWIAK Z., PIETKIEWICZ K. 2012 - Zastosowanie zapalników elektronicznych i-kon w górnictwie podziemnym na przykładzie KGHM Polska Miedź S.A. Oddział ZG/„Rudna”. Materiały XXI Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 323-330, Kraków 20-24 lutego 2012.
- MŁYNNARCZYK J., MERTUSZKA P., ZIĘTKOWSKI L., BODLAK M. 2015 - The evolution of mechanized excavating systems in LGOM mines conditions. Mining Science – Interdisciplinary topics in mining and geology, Volume 22, Special Issue 2, 93-104.
- OSTAPÓW L., ŁAWICKI P., SARECKI Ł. 2016 - Mechatroniczny układ sterowania dla ciągłej kontroli procesu wiercenia. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze” nr 4, 29-31.
- OSZCZEPALSKI S. 2007 - Geological, economic and social significance of discovery of the copper deposits. Bulletin of Polish Geological Institute.

- PIETKIEWICZ K., JANUSZ E. 2004 - Nowoczesne technologie mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych w górnictwie podziemnym i odkrywkowym. „Górnictwo i Geoinżynieria”, R. 28, z. 3/1, 397-415.
- SIEWIERSKI S., DĄBSKI J., MARKIEWICZ M., PAŹDZIORA J. 1996 - Historia organizacji przedsiębiorstwa KGHM Polska Miedź S.A. W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., część I – Historia rozwoju KGHM Polska Miedź S.A. [red.] Hadryś E., Speczik S., Lubin.
- SIWULSKI T., NIECHWIEJ A., KONDOŁ P., MAJAK M. 2015 - Innowacyjny system wspomagania wiercenia przodków. CUPRUM – Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud, nr 4 (77), 159-167.
- SPECZIK S., SIEWIERSKI S., BUTRA J. 2003 - Aktualny stan i kierunki rozwoju techniki strzałowej w górnictwie rud miedzi. Miesięcznik WUG, nr 7, 3-8.
- SZUMNY M. 2012 - Zintegrowane systemy inicjacji w robotach podziemnych. Materiały XXI Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 382-388, Kraków 20-24 lutego 2012.
- SZUMNY M., OSTIADEL W. 2013 - Nowoczesne systemy inicjacji MW – możliwości zastosowania w KGHM. Materiały XXII Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 18-22 lutego 2013.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2019

Artykuł akceptowano do druku – 2.01.2020



THIELE®

Fabryka Łańcuchów Przenośnikowych
i Technicznych Kuźnia Matrycowa

- Łańcuchy ogniwo- górnice i ogniwa złączne
- Łańcuchy zawiesiowe i uchwyty transportowe
- Łańcuchy ogniwo- węglane, kute i płytkowe



THIELE GmbH & Co. KG
Tel.: +49 2371-947 0



Werkstr. 3
Fax: +49 2371-947 295



58640 Iserlohn
info@thiele.de



Germany
www.thiele.de