

# Innowacyjne rozwiązania eksploatacji kopalin skalnych

## Innovative solutions for the exploitation of rock minerals



*Dr inż. Wojciech Głapa\**



*Mgr inż. Mariola Stefanicka\**

**Treść:** W artykule przedstawiono ważniejsze dane dotyczące innowacyjnych rozwiązań eksploatacji krajowych kopalin skalnych. Podano struktury zasobów i wielkości wydobycia tych kopalin w latach 2002–2016. Opiszono nowoczesne techniki wydobywania i przeróbki kopalin o podstawowym znaczeniu dla budownictwa i drogownictwa. Skoncentrowano się na dwóch grupach surowcowych: kopalin okruczowych (piaskach i żwirach) oraz kamieniach łamanych i blocznych ze szczególnym uwzględnieniem produkcji kruszyw łamanych oraz granitowych elementów blocznych.

**Abstract:** The article presents more important data on innovative solutions for exploitation of domestic rock minerals. Resources structure and volume of these minerals output were reported in 2002-2016. Modern techniques of mining and processing of minerals, essential for building and highway engineering, have been described. The focus was on two groups of raw materials: aggregates (sand and gravel) and crushed and dimension stones, with particular focus on the production of crushed aggregates and granite dimension stone elements.

### **Słowa kluczowe:**

*górnictwo odkrywkowe, kopaliny skalne, innowacyjne eksploatacje złóż*

### **Keywords:**

*surface mining, rock minerals, innovative exploitation of mineral deposits*

## **1. Wprowadzenie**

Kopaliny skalne dzięki swej różnorodności, a także znaczącym zasobom złóż, są źródłem powszechnie wykorzystywanych surowców w krajowej gospodarce. Szerokie możliwości zastosowania dotyczą w szczególności kopalin skaleniowych, kaolinów, kruszyw piaskowo-żwirowych, jak również kamieni łamanych i blocznych (w tym kruszyw łamanych). Kopaliny skalne uważa się za surowce stosunkowo łatwo dostępne, jako związane z płytko zalegającymi utworami geologicznymi o bardzo różnym charakterze litologicznym, genezie i wieku. Pozyskiwane są przede wszystkim metodą odkrywkową. Ten sposób eksploatacji implikuje z kolei szereg ograniczeń: środowiskowych, planistycznych, organizacyjno-technicznych (dostępność, dystrybucja).

W skali kraju obserwuje się duże regionalne zróżnicowanie złóż kopalin skalnych ze względu na odmienną, przypowierzchniową budowę geologiczną. Występowanie skał magmowych i metamorficznych o znaczeniu surowcowym ograniczone jest do kilku regionów (Dolny Śląsk, Małopolska), zwięzłe skały osadowe związane są głównie z pasem gór i wyżyn południowopolskich. Z kolei, utwory ilaste oraz piaski i żwiry rozpowszechnione są w całym kraju.

Wśród nich większość to kopaliny występujące powszechnie i łatwe do zastąpienia; w części jednak to surowce rzadkie, bądź o niewielkich zasobach, o dużym znaczeniu gospodarczym poszczególnych złóż (Sroga, Głapa 2016). Wśród kopalin skalnych wyróżnia się cztery główne grupy surowców (tab. 1).

**Kopaliny okruczowe** są grupą o największym udziale w wydobyciu krajowych kopalin skalnych. Należą tu piaski i żwiry, piaski formierskie, piaski podsadzkowe, piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych i cegły wapienno-piaskowej oraz kopaliny szklarskie. Najpowszechniej występującymi kopaliniami w kraju są złoża piasków i żwirów. Większość złóż związana jest z utworami czwartorzędowymi o genezie wodnolodowcowej, rzecznej i eolicznej. W Polsce południowej, obejmującej obszar sudecki i karpaccy, dominują utwory żwirowe z domieszką piasków, a złoża związane są głównie z dolinami rzecznyymi. W złożach pasa wyżyn środkowopolskich dominuje akumulacja lodowcowa o udziale frakcji piaszczystej około 65%. W północnych rejonach kraju większość złóż jest związana z utworami glacialnymi, część z sandrowymi.

Zmienność zapotrzebowania krajowego rynku dla potrzeb budownictwa i drogownictwa na kruszywa piaskowo-żwirowe spowodował w 2011 roku rekordowe roczne wydobycie 249 mln t (rys. 1). Największe ilości piasków i żwirów wydo-

\* Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Tabela 1. Krajowe kopaliny skalne w 2016 r. (Bilanse zasobów... 2003–2017)  
Table 1. Domestic rock minerals in 2016 (Bilanse zasobów... 2003–2017)

Grupa kopalin	Wyszczególnienie	Ilość złóż	Zasoby		Wydobycie
			geologiczne	przemysłowe	
			[tys. t]		
okruchowe	piaski i żwiry, piaski: formierskie, podsadzkowe, kwarcowe do produkcji betonów komórkowych i cegły wapienno-piaskowej, kopaliny szklarskie; w tym:	3 993	7 011 490	3 609 715	183 360
	– piaski i żwiry	<b>3 935</b>	<b>5 899 210</b>	<b>3 350 910</b>	<b>173 180</b>
zwięzłe	dolomity, gips i anhydryt, kamienie łamane i bloczne, kreda, łupki metamorficzne, magnezyty, kwarc żyłowy, kopaliny skaleniowe, wapień i margle dla przemysłu cementowego i wapienniczego; w tym:	398	12 114 882	6 245 885	106 180
	– kamienie łamane i bloczne	<b>330</b>	<b>5 647 510</b>	<b>3 250 960</b>	<b>59 550</b>
	– wapień i margle dla przemysłu cementowego i wapienniczego	<b>36</b>	<b>6 085 380</b>	<b>2 767 550</b>	<b>42 310</b>
ilaste	gliny ceramiczne, gliny ogniotrwałe, kopaliny: ilaste ceramiki budowlanej, do produkcji: kruszywa lekkiego, cementu i kaolinowe	223	652 340	370 035	4 180
pozostałe	bentonity i ily bentonitowe, kopaliny dla prac inżynierskich, torf	101	51 310	89 972	1 320
Razem		4 715	19 830 022	10 315 607	295 040

byto wówczas w woj. mazowieckim – 28,8 mln t, podkarpackim – 24,2 mln t, łódzkim – 21,9 mln t i dolnośląskim – 21,7 mln t (Sroga, Glapa 2016).

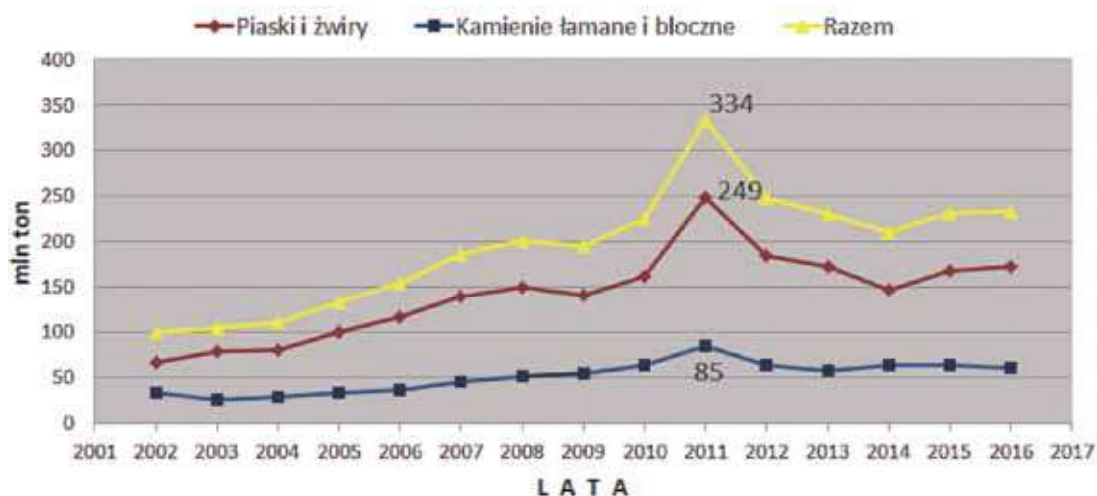
Obecnie (stan na 31.12.2016 r) eksploatacją objęto 3935 złóż piasków i żwirów o zasobach przemysłowych 3,350 mld t z wydobywaniem 173,130 mln t, co stanowi ~59 % krajowego wydobywania kopaliny skalnych (tab. 1).

**Kopaliny zwięzłe** spośród rozpatrywanych mają największe znaczenie gospodarcze. Obejmują one szeroką i zróżnicowaną pod względem litologicznym i genetycznym grupę surowców, głównie dolomity, kamienie łamane i bloczne oraz wapień i margle dla przemysłu cementowego i wapienniczego. Znaczenie to wynika z możliwych zastosowań uzyskiwanych surowców, a także z obfitości zasobów przemysłowych – 6,2456 mld t (2016 rok). Niemal dla całej grupy charakterystyczna jest duża stabilność bazy zasobowej, której ubytki z tytułu eksploatacji rekom-

pensowane są dokumentowaniem nowych i powiększaniem granic istniejących złóż.

Szczególne znaczenie gospodarcze odnosi się do złóż kamieni łamanych i blocznych, dawniej określanych kamieniami drogowymi i budowlanymi. Są to różnorodne skały magmowe, metamorficzne i osadowe (wyróżnia się 33 odmiany litologiczne tych kopaliny), cechujące się odpowiednimi parametrami fizykomechanicznymi. Znajdują one zastosowania do produkcji kruszywa łamanego oraz elementów kamiennych (bloki, płyty, elementy ścienne, kamień murowy, kostka) stosowanymi powszechnie w budownictwie, drogownictwie i kolejnictwie, a także wapień i margle dla przemysłu cementowego (Bem i in. 2015, Glapa, Sroga 2015).

W dziesięcioleciu 2002–2011 w górnictwie kruszywowym systematycznie zwiększał się popyt i podaż naturalnych kruszywa łamanego. Na Dolnym Śląsku było to szczególnie widoczne w latach 2006–2011; wzrost wydobywania wyniósł



Rys. 1. Wydobywanie kopaliny skalnych ze złóż kamieni łamanych i blocznych oraz piasków i żwirów w latach 2002–2016 (Bilanse zasobów... 2003–2017)

Fig. 1. Rock minerals output from the deposits of crushed and dimensioned stones as well sand and gravel in 2002–2016 (Bilanse zasobów... 2003–2017)

wówczas 216%. Tak dynamiczne zwiększenie wydobywania kopalini i produkcji związane było z realizacją planów budowy autostrad, dróg ekspresowych i infrastruktury dla Euro 2012. Było ono realizowane w zakładach już istniejących, a także poprzez nowe inwestycje. Po załamaniu produkcji piaskowo-żwirowych i łamanych w 2012 roku, w wyniku radykalnego spadku zapotrzebowania zarówno na rynku lokalnym, jak i krajowym, od 2014 roku obserwowany jest ponowny wzrost produkcji tych surowców. Obecnie (stan na 31.12.2016 r.) eksploatacją objęto 330 złóż kamieni łamanych i blocznych, 36 złóż wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego, z wydobywaniem odpowiednio 59,550 i 42,310 mln t, co stanowi ~35 % krajowego wydobycia kopalini skalnych (rys. 1).

**W grupie kopalini ilastych** znaczenie gospodarcze mają gliny (iły) ceramiczne, gliny (iły) ogniotrwałe, kopalini: ilaste ceramiki budowlanej, do produkcji kruszywa lekkiego oraz kaolinowe. W 2016 roku wydobycie tych kopalini na poziomie 4,180 mln t stanowi ~1,5 % całości wydobycia kopalini skalnych.

**Z grupy pozostałych kopalini** wydobywane są jedynie w niewielkich ilościach: bentonit, surowce dla prac inżynierskich, głównie w budownictwie drogowym oraz torfy. W 2016 roku wydobycie tych kopalini wyniosło 1,320 mln t.

## 2. Eksploatacja kruszywa naturalnych piaskowo-żwirowych

Kopalini te wydobywa się z 3935 odkrywkowych zakładach górniczych (tab. 1), w tym z 20 złóż o wydobyciu powyżej 1 mln t (*Bilans zasobów... 2017*). Charakterystyczna jest w kraju z jednej strony koncentracja wydobywania w dużych, nowoczesnych zakładach dostarczających kruszywa dla potrzeb budowy dróg krajowych i ekspresowych oraz produkcji betonów, z drugiej zaś znaczące rozdrobnienie eksploatacji z niewielkich złóż, w tym na podstawie decyzji udzielanych przez starostów.

W ostatnich latach w tej branży obserwuje się wiele korzystnych zmian. Jedną z nich jest ciągła modernizacja układów wydobywczych i przerobczych (*Witt 2013*). Zmiany te, a w szczególności rozwiązania wydobywania spod wody, wywierają bezpośredni wpływ na poprawę efektywności i stopnia wykorzystania zasobów złóż. W wielu zakładach górniczych dokonano zmian wyposażenia maszynowego, polegających na zastosowaniu układów wydobywczych z koparkami ssącymi. Zasada pracy tych koparek oparta jest na rozmywającym (erozyjnym) działaniu strumienia wody. Mieszanka wody z urobkiem piaszczysto-żwirowym zasysana jest przez pompę i tłoczona rurociągiem odprowadzającym

urobek bezpośrednio do tzw. odwadniacza i zlokalizowanego na ładzie zakładu przerobczego (rys. 2a).

Przewód ssawny wyposażony jest dodatkowo w elementy do hydraulicznego spulchniania urabianej pod wodą calizny w celu korzystniejszego zasysania mieszaniny (rys. 2b). Stosowanie tych rozwiązań zalecane jest szczególnie do wydobywania ze złóż z przerostami i zanieczyszczeniami ilastymi oraz w trakcie występujących utrudnień eksploatacyjnych w postaci głazów czy pni drewna kopalnego. Korzystna odległość transportowania hydromieszanki na ład wynosić może 200 do 300 m. Nie występują tu straty frakcji piaskowej, wypłukiwanej w trakcie ruchu naczyń koparek mechanicznych; odwrotnie, frakcje najdrobniejsze zacierywane są w pierwszej kolejności. Ważną zaletą tych koparek jest także realizowanie procesu płukania urobku podczas hydrotransportu mieszaniny w rurociągach tłocznych.

## 3. Pozyskiwanie kruszywa łamanych

Zasadnicza innowacyjność w krajowym górnictwie kopalini zwiżyłych dotyczy zmiany techniki urabiania skał. Coraz powszechniej realizowane są roboty wiertniczo-strzałowe z mechanicznym załadunkiem bezpiecznych materiałów wybuchowych: emulsyjnych i typu ANFO oraz nieelektryczne systemy ich inicjacji. Jest to światowy poziom wykonywania robót wiertniczo-strzałowych, często realizowanych przez specjalistyczne podmioty.

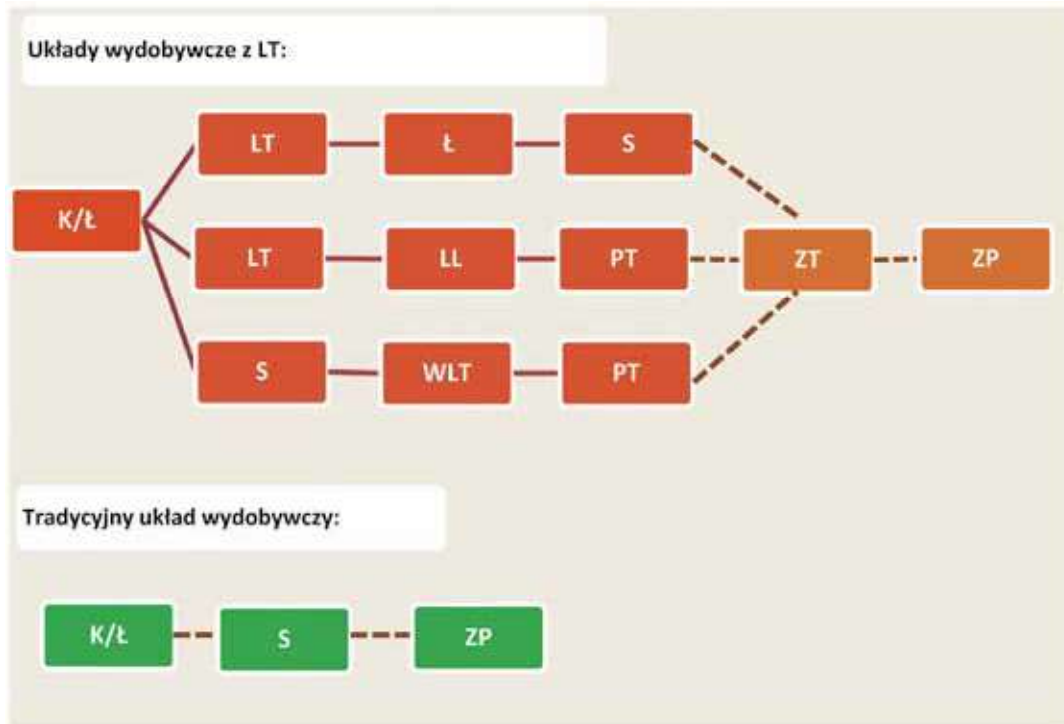
Za nie mniej innowacyjne można uznać zastosowania przejezdnych (potocznie mobilnych) urządzeń przerobczych oraz przenośników taśmowych (*Stefanicka 2011, Stefanicka i in. 2013, 2014, 2015*). Z wykorzystaniem urządzeń kruszących typu lokotrack (LT) konstruowane są różne warianty systemów wydobywczo-produkcyjnych (rys. 3).

Najczęściej stosowany jest system: K/L-LT-L-S (koparka lub ładowarka-łokotrack-ładowarka-samochód). Układ ten można dalej rozwijać, w zależności od zastosowania produktów kruszenia i wstępnej segregacji. System K-LT-L-S jest uniwersalny i możliwy do zastosowania praktycznie w każdych warunkach geologiczno-górnicznych. W małych kopalniach może być podstawowym układem wydobywczo-przerobczym z ewentualnym dodaniem mobilnego przesiewacza (rys. 4a). Istnieje możliwość rozbudowy w połączeniu z mobilnym zakładem przerobczym (rys. 4b). Zestawy te instalowane są okresowo, jako wspomagające w warunkach: udostępniania złóż (rys. 4c), selektywnej eksploatacji nadkładu i zmianach jakości kopalini (rys. 4d), także w sytuacji wykorzystywania tzw. okazji handlowych i zwiększania zdolności produkcyjnych lub zmiany profilu asortymentowego.



Rys. 2. Wydobywanie kopalini piaskowo-żwirowej spod wody; a) pływająca koparka ssąca (fot. K. Guzik), b) głowica zruszająca (fot. W. Glapa)

Fig. 2. Subaqueous mining of sand and gravel mixes: a) floating suction excavator (photo by K. Guzik); b) ripping head (photo by W. Glapa)



Rys. 3. Poglądowy schemat podstawowych układów wydobywczych w górnictwie kruszyw łamanych; K – koparka, Ł – ładowarka, S – samochód, LT – kruszarnia typu lokotrack, WLT – węzeł zasypowy do LT, LL – przenośnik typu lokolink, przenośnik taśmowy, ZT – zbiornik terenowy, ZP – zakład przeróbczy

Fig. 3. An overview of basic mining systems in the mining of crushed aggregates; K – digger, Ł – loader, S – car, LT – crushing plant of lokotrack type, WLT – charge station to LT, LL – belt conveyor lokolink type, ZT – site reservoir, ZP – processing plant



Rys. 4. Przykłady układów wydobywczych K/Ł–LT–Ł–S; a) wydobywanie i produkcja kruszyw na poziomie eksploatacyjnym w małej kopalni piaskowca, b) lokotrack współpracujący z mobilnym zakładem produkcji kruszyw w wyrobisku (I etap rozbudowy Kopalni Granitu Wieśnica), c) mobilne układy w trakcie udostępniania kopalni kruszyw łamanych w Piławie Górnej, d) układ K–LT–S w selektywnej eksploatacji partii nadkładowych złoża Wieśnica (fot. M. Stefanicka, T. Wojtaszek)

Fig. 4. Examples of K/Ł–LT–Ł–S mining systems; a) mining and production of crushes on exploitation level in small sandstone mine, b) lokotrack contributing with mobile crushers processing plant in open cast (first stage of Wieśnica Granite Mine expansion), c) mobile plants during startup of the crushed aggregates mine in Piława Górna, d) K–LT–S system in selective exploitation of overburden parts of Wieśnica deposit (photo by M. Stefanicka & T. Wojtaszek)

W rozbudowanych kopalniach lokotrack przejmując rolę mobilnej kruszarni wstępnej w układzie wydobywco-produkcyjnym: K–LT–L–S–ZT–ZP (koparka–lokotrack–ładownica–samochód–zasobnik terenowy–stacjonarny zakład przerobczy). Zasobniki terenowe są najczęściej wyposażane w tunele samoładowcze, eliminujące konieczność przeładunku urobku ładownikami kołowymi. Pełnią one również funkcję buforów produkcyjnych (rezerwy produktów) oraz wyrównawczych zbiorników międzyoperacyjnych, zapewniających płynność zasilania urządzeń przerobczych.

Za innowacyjne w polskim górnictwie kruszyw łamanych należy uznać systemy wydobywcze, w których w połączeniu z lokotrackiem wykorzystywany jest transport przemieszczający. Przykładem takiego rozwiązania jest zastosowany dla eksploatacji złoża Kowala Mała (Kopalnia Dolomitu Radkowiec) układ wydobywczy z wykorzystaniem przemieszczających lokolink, oznaczonych jako: K–LT–LL–PT (rys. 5). Skruszony urobek skalny, począwszy od przodku eksploatacyjnego do odległego o ponad 2 km zakładu przerobczego transportowany jest zestawem przemieszczającym. W jego skład wchodzi: przemieszczalnik lokolink (współpracujący z kruszarnią typu lokotrack w przodku), zestaw poziomych przemieszczających przestawnych, przemieszczalnik stacjonarny łączący wyrobisko z zakładem przerobczym, zasilanym ze zbiornika terenowego z tunelem samoładowczym. W układzie K–LT–LL–PT wyeliminowano przeładunki ładownikiem oraz typowy w wielu kamieniołomach transport samochodowy. Istotnym ograniczeniem takich układów jest możliwość ich stosowania tylko w warunkach przygotowania szerokich poziomów i odpowiedniej długości frontów eksploatacyjnych.

W sytuacji, gdy przejezdność lokotracka nie może być skutecznie wykorzystywana, a koszty transportu samochodowego istotnie rosną wraz z odległościami transportowania

i głębokością wyrobiska, możliwe jest zastosowanie rozwiązań pośrednich. Polegają one na czasowej lokalizacji lokotracka w przestawnym węźle zasypowym. Transport samochodowy odbywa się tylko na odcinku przodek – kosz zasypowy WLT w wyrobisku. Odstawa skruszonego urobku może być już realizowana zestawem przemieszczającym taśmowym na zbiornik terenowy ZT zasilający stacjonarny zakład przerobczy ZP – system: K–S–WLT–PT–ZT–ZP.

Te innowacyjne rozwiązania po raz pierwszy w kraju zastosowano w Kopalni Granitu Wieśnica w 2014 roku (rys. 6). Ograniczenie stosowania kosztownego transportu samochodowego było konieczne w warunkach zgłębienia wyrobiska (o trzeci poziom wydobywczy i planowane kolejne trzy poziomy). Udział kosztów transportu (w systemie K–LT–L–S–ZT) przekroczył 40% kosztów operacyjnych wyrobiska z dalszą tendencją wzrostu. Przy eksploatacji wielopoziomowej oraz krótkich frontach, obniżała się również wydajność eksploatacyjna zestawu kruszącego, jako wynik zwiększenia udziału przerw operacyjnych na przemieszczanie lokotracka i obsługi technicznej.

Analizę porównawczą wskaźników eksploatacyjnych dla systemów K–LT–L–S–ZT–ZP (z transportem wyłącznie samochodowym) i K–S–WLT–PT–ZT–ZP (z przestawnym węzłem zasypowym i transportem przemieszczającym) przedstawia rys. 7. Zastosowanie przestawnego węzła zasypowego z kruszarnią LT w połączeniu z transportem przemieszczającym skutkowało:

- zwiększeniem wydajności efektywnej układu z 350 do 420 t/h, tj. o 20%,
- redukcją jednostkowego zużycia paliwa z 0,46 do 0,31 l/t – o 33%,
- zmniejszeniem kosztów jednostkowych czynników energetycznych transportu technologicznego, z uwagi na istotnie niższe ceny energii i koszty utrzymania przemieszczających taśmowych.



Rys. 5. Układ wydobywczy z kruszarnią LT sprzężony z przemieszczalnikami lokolink oraz przemieszczalnikami przestawnymi na poziomie wydobywczym Kopalni Radkowiec (fot. M. Stefanicka)

Fig. 5. Mining system with LT crushing plant coupled with lokolink and sliding conveyors on exploitation level in Radkowiec Mine (photo by M. Stefanicka)



**Rys. 6.** Instalacje w Kopalni Wieńnica w układach K–S–WLT–PT–ZT–ZP: a) wyrobisko z układem wydobywczym i przeróbczym, b) przestawny węzeł zasypowy z kruszarnią LT 140, c) przestawny przenośnik trasowy PT1 200/170 oraz składujący PT 1200/68 (fot. M Stefanicka, T. Wojtaszek)

**Fig. 6.** K–S–WLT–PT–ZT–ZP systems in Wieńnica Mine; a) open cast with mining and processing systems, b) mobile charge station with LT 140 crushing plant, c) PT 1200/170 sliding belt conveyor and PT 1200/68 (photo by M Stefanicka & T. Wojtaszek)

Należy wspomnieć również o aspektach poprawy bezpieczeństwa pracy i środowiska związanych z wprowadzaniem układów z transportem przenośnikowym. Ograniczanie operacji przeładunkowych urobku i zmniejszenie zużycia olejów napędowych, istotnie wpływa na zmniejszenie emisji spalin, pyłów oraz hałasu. Wyposażenie przenośników w pełne osłony oraz zespół awaryjnego wyłączenia napędu umożliwia skuteczne ograniczanie wypadkowości, w porównaniu z transportem samochodowym i stosowaniem ładowarek.

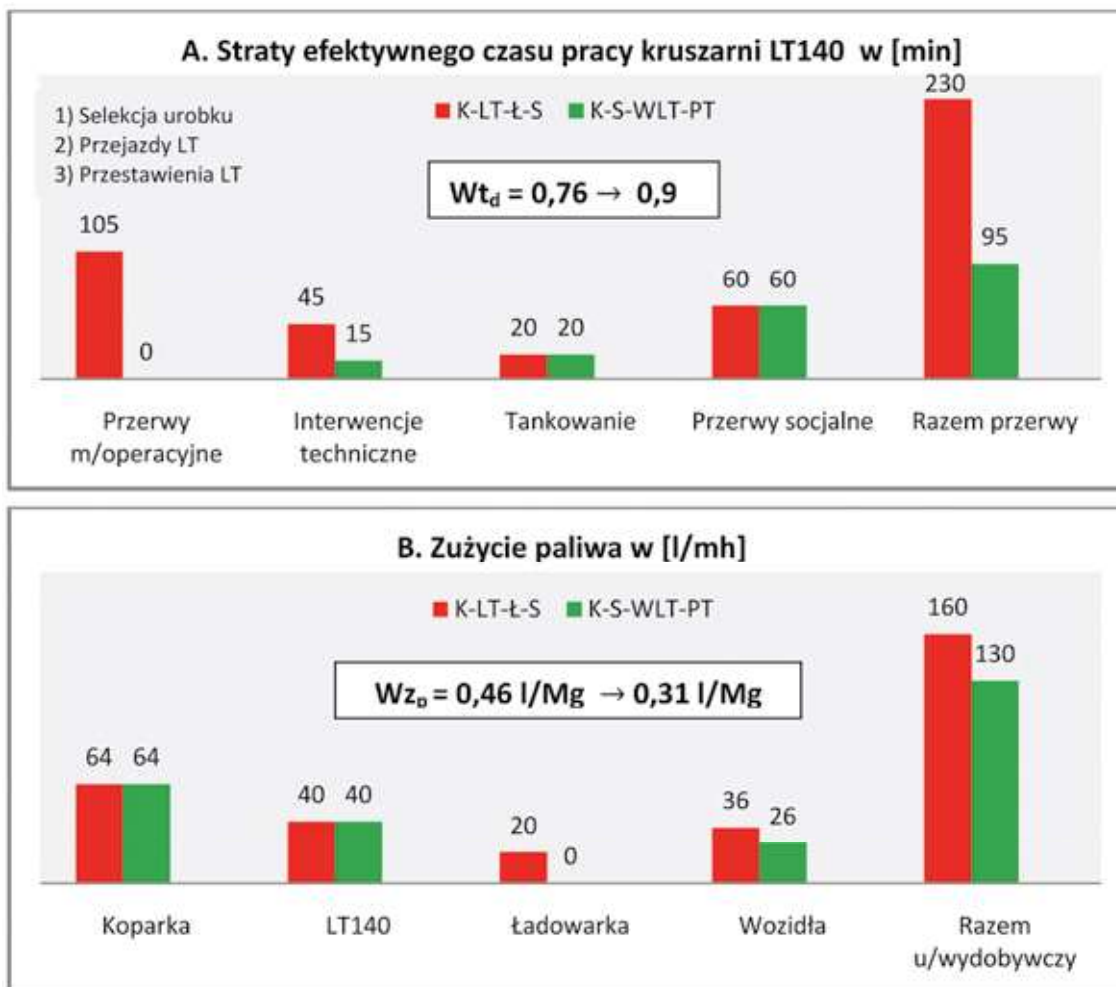
Rozbudowa Kopalni Wieńnica jest przykładem innowacyjnych działań w zakresie warunków pracy, ochrony zdrowia i środowiska naturalnego (Stefanicka 2013, Stefanicka i in. 2015). W układzie wydobywczo-przeróbczym zastosowano m.in. rozwiązania techniczne służące ograniczeniu emisji pyłu i hałasu: kompleksową hermetyzację urządzeń stacjonarnego zakładu przeróbczego, odpylanie procesowe całego stacjonarnego ciągu przeróbczego, magazynowanie kruszyw w zamkniętych boksach, rozładunek produktów w tunelu samozaładowczym z eliminacją przenośników podających produkty końcowe, załadunek kruszyw na samochody odbiorców w specjalistycznej wieży wyposażonej w teleskopowy rękaw, odpylanie i zraszanie (rys. 8).

Przedstawiony sposób hermetyzacji zakładu przeróbczego z układami magazynowania i załadunku kruszyw są unikatowymi rozwiązaniami w polskim górnictwie kopalni skalnych.

#### 4. Wydobywanie kopalni blocznych

W okresie powojennym, przez prawie 50 lat, stosowano tradycyjne metody urabiania oparte na odspajaniu monolitów piaskowcowych i granitowych od calizny górnictwem prochem skalnym z ręcznym ich podziałem klinowaniem lub pracochłonną metodą tzw. „piły wiertniczej”. W okresie powojennym praca w każdym kamieniołomie należała do najbardziej uciążliwych, szkodliwych i niebezpiecznych, charakteryzując się wysokim ryzykiem powstawania chorób zawodowych (pylica, uszkodzenia słuchu, zespoły vibracyjne, uszkodzenia układu szkieletowego i kostno-stawowego), a także zagrożeniami wypadkowymi. Do pracy często kierowano więźniów.

Pewną nowością w latach 70. ub. wieku było wdrożenie termicznego urabiania granitów palnikiem wrębowym. Dalszy rozwój nowoczesnych rozwiązań eksploatacyjnych w dolnośląskim górnictwie kopalni blocznych zapoczątkowany został na początku lat 90. Wgłębne wyrobiska granitowe udostęp-



Rys. 7. Porównanie wskaźników eksploatacyjnych układu wydobywczego w Kopalni Wieśnica dla systemu K-LT-Ł-S oraz K-S-WLT-PT po zastosowaniu węzła załadowczego z kruszarnią LT; A – straty efektywnego czasu pracy kruszarni LT140 w rozliczeniu na dobowy dyspozycyjny czas produkcji (960 min) w kopalni Wieśnica;  $Wt_d$  – wskaźnik wykorzystania czasu dyspozycyjnego, B – zużycie paliwa przez jednostki układu wydobywczego (litry/motogodzinę),  $Wz_p$  – wskaźnik zużycia paliwa (litry/tonę wydobycia)

Fig. 7. Comparison of operating indicators of mining system in Wieśnica Mine for K-LT-Ł-S and K-S-WLT-PT after application of load station with LT crushing plant; A – loss of effective working time of LT140 crushing plant in settlement for daily availability time (960 min) in Wieśnica Mine;  $Wt_d$  – usage time indicator, B – fuel consumption by mining system units (liters/hour),  $Wz_p$  – fuel consumption ratio (liters/tonne of output)

nione były z pionowym transportem bloków dźwignicami linotorowymi (w większości polskimi). Ten sposób transportu uniemożliwił zmianę poziomych wymiarów wyrobiska (Korzeniowski 1992). System eksploatacji określano jako „ławowo-schodkowy”. Przędki wydobywcze zakładano zgodnie z głównymi, poziomymi spękaniem górotworu; wyrobiska przypominały tarasy schodkowe, a ich przebieg zaburzały nieciągłości złoża.

Kolejnym wdrożeniem było częściowe zmechanizowanie prac wiertniczych i wprowadzenie do wyrobisk perforatorów pneumatycznych (rys. 9a). Wiercenie otworów równoległych w płaszczyźnie pionowej i poziomej było podstawą zastosowania nowej metody urabiania monolitów – strzelania lontem detonującym (LT), z równoczesnym odpalaniem ładunków w otworach w płaszczyźnie pionowej i poziomej (rys. 10). Skutkowało to możliwością kształtowania regularnych poziomów niezależnie od przebiegu naturalnych spęknięć górotworu. Metoda ta stała się dominującą, a wyrobiska coraz częściej

wyposażano w wydajne, samojezdne wiertnice hydrauliczne, w tym również typu „liner” (rys. 9b).

Równocześnie z mechanizacją prac wiertniczych zmieniano rozwiązania transportu pionowego, poprzez likwidację dźwignic linotorowych i zastępowanie ich dźwigami masztowymi (żurawiami) derrick. Rozwiązania te umożliwiły udostępnianie przedpola eksploatacji (tzw. „odkrywek”) z możliwością wydobywania bloków o masie 40–50 t. Transport pionowy derrickami okazał się jednak mało wydajny, stanowiąc ograniczenie wzrostu zdolności produkcyjnej wyrobiska węglanego. Częściowo zostało to zredukowane poprzez stosowanie platform transportowych, ale generalną tendencją, w miarę możliwości zalegania złoża, było (i jest) przechodzenie na transport pochylniami (złoża Borów 17, Grabina Śląska). Często wyrobiska jednocześnie obsługiwane są derrickami w partiach węglanych, a tzw. górne poziomy eksploatacyjne („odkrywki”) pochylniami, co znacznie zwiększa zdolności wydobywcze i bezpieczeństwo pracy (rys. 11).



Rys. 8. Rozwiązania techniczne w Kopalni Wieśnica: a) hermetyzacja i odpylanie przesiewaczy oraz składowanie produktów w zamkniętych magazynach, b) centralna instalacja odpylająca zakładu przerobczego, c) zautomatyzowana wieża załadownicza z instalacją odpylającą i zraszającą, d) „teleskopowy” rękaw załadunkowy (fot. M. Stefanicka, T. Wojtaszek)

Fig. 8. Technical solutions in Wieśnica Mine: a) airtight sealing and dedusting of screeners and storage of products in closed stores, b) central dedusting system of processing plant, c) automated loading tower with dust extraction and sprinkler system, d) “telescopic” loading sleeve (photo by M. Stefanicka & T. Wojtaszek)



Rys. 9. Wiercenie otworów: a) poziomym perforatorem pneumatycznym, b) wiertnicami hydraulicznymi: Commando 120H – otwory pionowe; wiertnica Commando Liner DQ 100 – otwory poziome (fot. B. Korzeniowski)

Fig. 9. Drilling holes with: 1) horizontal pneumatic perforator, 2) hydraulic drilling rig – Commando 120H for vertical holes and Commando Liner DQ 100 for horizontal holes (photo by B. Korzeniowski)





**Rys. 10. Urabianie na bloki strzelaniem lontem detonującym (LD): a) załadunek LD w otworach pionowych, b) oddzielony monolit po strzeleniu LD jednocześnie w płaszczyźnie pionowej i poziomej (fot. B. Korzeniowski)**

**Fig. 10. Granite block forming with fuse detonation: a) loading fuse detonators into vertical holes, b) monolith's division after detonation (photo B. Korzeiowski)**



**Rys. 11. Widok ogólny wyrobiska Borów 14: a) koniec lat 90. – transport pionowy dźwignicami linotorowymi, b) 2017 rok – transport z dolnej części wyrobiska derrickiem oraz pochylniami z górnych poziomów eksploatacyjnych**

**Fig. 11. General view of the excavation Borów 14: a) late 1990s - vertical transport with rope-track lifts, b) 2017 - transport with derricks from the lower part of the excavation and ramps from the upper operating levels**

Kolejna faza rozwoju eksploatacji blocznej związana była z mechanizacją operacji przemieszczania bloków i ich załadunku. Przygotowane wyrobiska, udostępnione derrickami (lub pochylniami), z rozwiniętymi poziomami, wyposażano stopniowo w specjalistyczne ładowniki z osprzętem wymiennym – tzw. szybkozłącza (rys. 12). Ładownik jednocześnie wykonuje czynności operacyjne: zrywania/podrywania, tzw. „obalania” i transportu bloków oraz czyszczenia poziomu roboczego. Wymienny osprzęt: zrywak, zgarniak, widły, łyżka umożliwia przemieszczania bloków o masie do 40 t. Ten ostatni etap mechanizacji prac w wyrobiskach blocznych zasadniczo wpłynął na poprawę bezpieczeństwa i warunków pracy.

Istotne zmiany w systemach eksploatacji granitowych złóż blocznych związane były z wdrożeniem mechanicznego

cięcia za pomocą piły linowej. W 2002 roku po udoskonaleniu rozwiązań napędu i konstrukcji liny diamentowej, stosowanie tej metody wpłynęło na rozwój systemów eksploatacji w granitowym górnictwie blocznym. Cięcie liną diamentową z „rzazem” (szczeliną) szerokości ~1 cm, istotnie zmniejsza straty bloczności w stosunku do powstających przy cięciu palnikiem (12–15 cm) oraz eliminuje strefy naprężeń termicznych w monolicie (rys. 13). Jest to metoda co najmniej trzykrotnie wydajniejsza w porównaniu do palnika termicznego, z możliwością prowadzenia prac eksploatacyjnych bez ograniczeń organizacyjnych. Piły linowe nie stwarzają istotnych zagrożeń dla środowiska i warunków pracy (rys. 13).

Dla przykładu, za imponującą można uznać skalę prowadzonych robót linami diamentowymi oraz wierceń mechanicznych w wyrobisku Borów 14. W okresie rocznym orientacyj-



Rys. 12. Przykłady zastosowania ładowarki kołowej z wymiennym osprzętem CAT 988 H: a) „obalanie” bloku zgarniakiem na poziom eksploatacyjny, b) transport bloku ładowarką z osprzętem widłowym (fot. M. Stefanicka)

Fig. 12. Examples of the use of a wheel loader with removable accessories CAT 988 H: a) dropping a block on the level of exploitation by means of a scraper, b) transporting a block with a fork (photo by M. Stefanicka)



Rys. 13. Wykonywanie wciniek: a) palnikiem termicznie, b) cięciem piłą diamentową (fot. M. Stefanicka)

Fig. 13. Making cuts with: a) a thermic burner, b) a diamond saw (photo by M. Stefanicka)



Rys. 14. Innowacyjne urabianie monolitów piłą linową: a) zmodyfikowana metoda fińska, płaszczyzna pozioma wykonana strzelaniem LT (kolor czerwony), b) metoda z „odsunięciem” – monolit wycięty z górotworu piłą linową (cięcie poziome kolor żółty) i odsunięty „prochówkami”

Fig. 14. Innovative monolith processing with the rope saw: a) modified Finnish method, horizontal plane made by LT shooting (red), b) „retracted” method – monolith cut out of the rope saw (horizontal cut – yellow) retracted with mining-powder explosion

nie wykonuje się: cięć linami diamentowymi o powierzchni 42 000 m<sup>2</sup> i wierceń o długości ~240 000 m. Prowadzone są również, trudne do wykonania, cięcia w płaszczyźnie poziomej. Kolejne zastosowania to podział monolitu na „plastry” (moduły o szerokości 1–2 m do dalszego podziału na bloki), eliminujące operacje ręcznego klinowania. Na szczególną uwagę zasługują tu autorskie wdrożenia: zmodyfikowanej metody fińskiej oraz z tzw. „odsunięciem”.

W zmodyfikowanej metodzie fińskiej (rys. 14a) wyróżnia się:

- wycięcie monolitu w płaszczyznach pionowych; wykonanie dwóch pionowych prostopadłych cięć liną diamentową, przykładowo dla monolitu 6×6×6 m, dwie płaszczyzny o powierzchni 30–36 m<sup>2</sup>,
- odspojenie monolitu w płaszczyźnie poziomej; wykonanie otworów poziomych przy użyciu perforatora pneumatycznego lub wiertnicy „liner”, przykładowo 20–25 otworów o długości 120–150 m, a następnie strzelanie lontem detonującym, o łącznie ~200 m z inicjacją zapalnikami elektrycznymi,
- podział monolitu cieciami liną na „plastry” o szerokości 1,2–2 m,
- ręczne klinowanie na bloki handlowe.

Metoda „z odsunięciem”, praktycznie eliminuje strzelanie lontem detonującym. Do odspojenia monolitu od calizny wykorzystuje się tylko i wyłącznie cięcia liną diamentową w trzech płaszczyznach. Odsunięcie monolitu od calizny następuje w wyniku strzelania prochem skalnym. Kolejnymi operacjami są (rys. 14b):

- poziome cięcia liną, wykonanie „podcięcia”,
- wycinanie monolitu w płaszczyznach pionowych; dwa pionowe, wzajemnie prostopadłe cięcia,
- przygotowanie odciętego monolitu do odsunięcia od calizny, polegające na wykonaniu pionowych otworów strzałowych w jednym z dwóch prostopadłych do siebie „rzazów”,
- „odsunięcie” monolitu z użyciem prochu skalnego,
- monolit gotowy jest do podziału piłą diamentową na „plastry”.

Zasadnicza różnica pomiędzy tymi rozwiązaniami polega na sposobie prowadzenia poziomego eksploatacyjnego: w pierwszym przypadku poziomy utworzony jest w wyniku strzelania lontem detonującym, natomiast w drugim stanowi płaszczyznę cięcia poziomego piłą linową.

Wielkość wydobycia po zmianie systemu eksploatacji, w porównaniu do lat 90. wzrosła prawie pięciokrotnie, utrzymując się na poziomie 245 000 t/rok. Nowe techniki urabiania spowodowały również ograniczenie strat bloczności poprzez zmniejszenie szerokości wciniek, minimalizację niszczących naprężeń w urabianym monolicie, a dodatkowo poprzez poziome cięcia uzyskano możliwość ochrony najbardziej blocznych, niżej zalegających partii złoża. Na wzrost bloczności górniczej istotnie wpłynęło również poszerzenie wyrobiska i zmiana geometrii systemu eksploatacji. Uzyskiwany wskaźnik bloczności górniczej przekracza 90%. W ocenie autorów Borów 14 jest największym, najbardziej rozwiniętym technologicznie wyrobiskiem granitowym w kraju (Stefanicka i in. 2017).

## 5. Podsumowanie

Podano wielkości zasobów przemysłowych złóż i wielkości wydobycia krajowych kopalni skalnych w latach 2002–2016. Opisano nowoczesne techniki wydobywania i przeróbki kopalni o podstawowym znaczeniu dla budownictwa i drogownictwa. Skoncentrowano się na dwóch grupach surowcowych o największym wydobyciu: kopalni okruczowych (piaskach i żwirach) oraz kamieniach łamanych i blocznych. Syntetyczny opis ważniejszych rozwiązań innowacyjnych podano na przykładzie wydobywania kruszyw naturalnych spod wody, produkcji dolnośląskich kruszyw łamanych w Kopalni Granitu Wieśnica i eksploatacji granitowych elementów blocznych w wyrobisku Borów 14.

## Literatura

- BEM W., GLAPA W., SROGA S. 2015 – Produkcja kruszyw w województwie dolnośląskim w latach 2009–2014. *Mining Science*, vol. 22: 3-20.
- Bilanse zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na: 31.12.2002 – 31.12.2010. PIG-PIB Warszawa 2003 – 2011.
- Bilanse zasobów kopalni w Polsce wg stanu na: 31.12.2011 – 31.12.2016. PIG-PIB Warszawa 2012 – 2017.
- GLAPA W., SROGA C. 2013 – Rozwój wykorzystania granitoidów masywu Strzegom-Sobótka w latach 2003–2012 w budownictwie i drogownictwie. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 85, 89-103.
- GLAPA W., SROGA C. 2015 – Produkcja kruszyw w województwach dolnośląskim i świętokrzyskim w latach 2009–2014. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 91: 45-65.
- KORZENIOWSKI J.I. 1992 – *Zarys dziejów górnictwa skalnego w Polsce*. Wyd. SITG Wrocław, s. 154.
- SROGA C., GLAPA W. 2016 – Aktualny stan rozpoznania i zagospodarowania krajowych złóż kopalni skalnych. „*Przeгляд Geologiczny*”, vol. 64, nr 9: 631-638.
- STEFANICKA M. 2011 – Mobilne i stacjonarne zakłady przerobcze na przykładzie kopalni Piława Górna. *Górnictwo i Geologia XV, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr*, nr 132, *Studia i Materiały* nr 39: 277-289.
- STEFANICKA M. 2013 – Techniczne metody ograniczania zapylenia w zakładach kruszyw i ocena ich skuteczności. *Mining Science*, vol. 20: 71-85.
- STEFANICKA M., PIETRAS A., KORZENIOWSKI B. 2017 – Rozwój eksploatacji i wzrost efektywności gospodarki złożem granitu „Borów”. *Kruszywa Mineralne* t. 1: 165-178.
- STEFANICKA M., WEISS M., WOJTASZEK T. 2013 – Unikatowy zakład produkcji kruszyw w Kopalni Wieśnica. *Górnictwo i Geologia XIX, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr*, nr 136, *Studia i Materiały*, nr 43: 223-232.
- STEFANICKA M., WEISS M., WOJTASZEK T. 2014 - Optymalizacja wydobycia w Wieśnicy. „*Surowce i Maszyny Budowlane*” nr 6: 49-52.
- STEFANICKA M., WEISS M., WOJTASZEK T. 2015 – Inwestycje w kopalni Wieśnica – biznes i bezpieczeństwo. *Mining Science*, vol. 22: 149-157.
- WITT A. (red.) 2013 – Eksploatacja krajowych złóż piasków i żwirów spod lustra wody z uwzględnieniem wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych. Wyd. Poltegor-Instytut, s. 187.

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2017

Artykuł akceptowano do druku 20.08.2017