

PIOTR WOJTAS  
ARTUR KOZŁOWSKI  
MAREK WOJTAS

## Cyfryzacja polskiego górnictwa metodą obniżenia kosztów i zwiększenia bezpieczeństwa oraz jakości produktu końcowego

*W artykule przedstawiono aktualny poziom cyfryzacji polskiego górnictwa na przykładzie kopalń miedzi i węgla kamiennego. Przedstawiono propozycję digitalizacji procesów biznesowych w obszarze produkcji górniczej. Zdefiniowano sześć komponentów opisujących specyfikę funkcjonowania procesów zachodzących w kopalniach: zarządzanie złożem, SOP (Sales and Operation Planning), produkcja, maszyny, bezpieczeństwo i analizy. Zaproponowano nowe metody zbierania i przetwarzania danych z wykorzystaniem technologii Big Data.*

Słowa kluczowe: cyfryzacja, Big Data, bezpieczeństwo, inteligentna kopalnia, przemysł 4.0

### 1. WPROWADZENIE

Proces restrukturyzacji polskiego górnictwa przypada na moment rozwoju kolejnej rewolucji przemysłowej zwanej Przemysłem 4.0. Przemysł 4.0 kładzie szczególny nacisk na wykorzystanie technologii cyfrowych, takich jak chmura obliczeniowa, Big Data czy Internet Rzeczy. Cyfrowa transformacja gospodarki jest nie tylko warunkiem skutecznego konkurowania, ale powoli staje się elementem przetrwania polskich przedsiębiorstw przemysłowych walczących o klientów w skali międzynarodowej.

W światowym górnictwie zarządzanie kopalnią jest realizowane na podstawie informacji uzyskiwanych w czasie rzeczywistym. Gromadzenie danych z ciągłych pomiarów procesów produkcji i ich analizowanie jest jednym z atrybutów koncepcji Przemysł 4.0 [1].

W polskim górnictwie radykalnie rośnie ilość danych pozyskiwanych z systemów technicznych, a z drugiej strony ciągle zwiększają się wymagania dotyczące wzrostu efektywności zarządzania i poprawy bezpieczeństwa pracy.

Większość danych pozyskiwanych z systemów technicznych jest wykorzystywana jedynie w systemach,

które bezpośrednio obsługują pomiary, monitorują stan bieżący urządzenia lub parametry środowiska/procesu. Dane historyczne są przechowywane, ale wykorzystywane są sporadycznie, jedynie w celu wyjaśnienia lub analizy konkretnego zdarzenia. Dane te są rozproszone, niezintegrowane, co utrudnia bądź uniemożliwia przeprowadzanie wielokryterialnych analiz i szukanie wzajemnych powiązań pomiędzy procesami oraz zdarzeniami.

### 2. DOŚWIADCZENIE I KOMPETENCJE

Firmy partnerskie Grupy CNP EMAG dostarczają do zakładów górniczych urządzenia, aparaturę i systemy do przeprowadzania pomiarów w zakresie:

- geofizyki,
- gazometrii,
- analizy jakości kopalni.

Ponadto firmy Grupy CNP EMAG dostarczają rozwiązania telekomunikacyjne dla łączności i alarmowania, podziemnej transmisji danych oraz monitorowania procesów wydobywczych, pracowników i maszyn [2].

Można zatem stwierdzić, że firmy Grupy mają szczególne kompetencje i predyspozycje do opracowania i wdrożenia systemu gromadzenia, przetwarzania i analizowania danych z systemów monitorowania i sterowania, realizowanego w czasie rzeczywistym.

Dzięki zastosowaniu czujników i zaawansowanej analityce będzie można formułować sugestie i rekomendacje w celu usprawnienia procesów biznesowych i reguł postępowania, co będzie skutkowało wzrostem efektywności produkcji oraz poprawą bezpieczeństwa pracy górników.

Zbudowany system powinien dostarczyć pełnego obrazu łańcucha dostaw, począwszy od zarządzania złożem i wydobywaniem po przygotowanie urobku do sprzedaży klientowi końcowemu. Analizy danych powinny ponadto umożliwiać optymalizację efektywności energetycznej i materiałowej procesów produkcyjnych.

Wyniki analiz korelacji parametrów maszyn, takich jak obroty silnika, jego temperatura, drgania, będą mogły być wykorzystane do reagowania i prowadzenia napraw prewencyjnych. Pozwoli to unikać nieplanowanych przerw w pracy i zapewnić utrzymanie ruchu, co pozytywnie wpłynie na zwiększenie wydobywania i redukcję kosztów eksploatacji.

Zdaniem wielu ekspertów polskie górnictwo, stosując technologie ICT (*Information and communications technology*), osiągnie znaczący wzrost efektywności zarządzania i poprawy bezpieczeństwa [3].

Cyfryzacja górnictwa pozwoli na osiągnięcie założonych celów, jeśli kompetencje i doświadczenie pracowników działów badań i rozwoju (R&D) zatrudnionych w Grupie CNP EMAG zostaną połączone z dobrymi praktykami dotyczącymi procesów górniczych oraz dostępną technologią ICT, która jest już intensywnie stosowana w wielu światowych korporacjach górniczych.

### **3. KONCEPCJA CYFRYZACJI GÓRNICTWA**

Wyniki prac badawczo-rozwojowych prowadzonych od kilku lat w firmach Grupy CNP EMAG umożliwiły zdefiniowanie Programu „Cyfrowa Kopalnia” (*Smart Mine*), zorientowanego na cyfryzację obszaru zarządzania produkcją i bezpieczeństwem kopalni [4].

Definiując program, wzięto pod uwagę obecny stan cyfryzacji obszaru zarządzania produkcją górniczą, który charakteryzuje brak realnej kooperacji pomiędzy procesami biznesowymi [3].

Stwierdza się bowiem:

- stosowanie odcinkowych, rozproszonych aplikacji ICT, pochodzących od wielu dostawców,
- brak wdrożenia korporacyjnego modelu zintegrowanych danych pozyskiwanych z technicznych systemów monitorowania i sterowania,
- stosowanie dużej liczby zindywidualizowanych arkuszy kalkulacyjnych Excel, co prowadzi do braku unifikacji i synchronizacji danych,
- konieczność ujednolicenia, gromadzenia i skonsolidowania danych, aby je udostępniać zgodnie z wymaganiami, w czasie ustalonym do podejmowania decyzji w obszarze zarządzania produkcją górniczą.

Zdefiniowany Program „Cyfrowa Kopalnia” to:

- autorskie spojrzenie specjalistów CNP EMAG na produkcję górniczą dzięki procesom biznesowym wykorzystującym technologie ICT,
- propozycja rozwiązania będącego balansem pomiędzy nowoczesną technologią i możliwością zastosowania jej z uwzględnieniem istniejących uwarunkowań (politycznych, ludzkich i technologicznych),
- wykorzystanie wiedzy kadry i olbrzymiej ilości zgromadzonych danych do znalezienia rozwiązań wspomagających, a nie ingerujących w bieżące procesy produkcyjne,
- kooperacja firm okołogórniczych z KGHM, PGG i JSW w celu osiągnięcia wspólnego sukcesu,
- wdrożenie konkretnych rozwiązań ICT realizowanych przez różnych dostawców usług i technologii.

Kluczową cechą proponowanego programu musi być jego interoperacyjność. Produkty programu będą zdolne funkcjonować w pełnej zgodności z innymi produktami/systemami, które istnieją lub mogą zaistnieć, bez ograniczonych możliwości implementacji [5].

Interoperacyjność programu zostanie osiągnięta przez zapewnienie:

- interoperacyjności prawnej – przy współpracy z jednostkami certyfikującymi i WUG w celu znalezienia, certyfikowania i dopuszczenia do górnictwa realnych rozwiązań,
- interoperacyjności biznesowej – koordynacji procesów biznesowych i reguł postępowania w obszarze zarządczym, objętym programem,
- interoperacyjności informacyjnej/semantycznej – znalezienie realnego systemu informacyjnego przy jednoznacznej interpretacji danych przez systemy stosowane w obszarze zarządczym,
- interoperacyjności technicznej – współpracy wielu maszyn i urządzeń z wykorzystaniem Internetu Rzeczy, zgodnej z założeniami koncepcji Przemysłu 4.0.



Rys. 1. Idea Programu „Cyfrowa Kopalnia”

Ideę Programu „Cyfrowa Kopalnia” prezentuje rysunek 1, z którego wynika, że cyfryzacja kopalni powinna wspomagać ekonomicznie uzasadnione wydobycie surowca w warunkach istniejącego popytu oraz obowiązujących uwarunkowań legislacyjnych poprzez racjonalne szczypanie złoża i efektywne wykorzystanie zasobów, uwzględniając istniejące zagrożenia naturalne [6].

Zakłada się, że realizacja programu będzie stanowić istotny wkład w proces transformacji systemu zarządzania górnictwem.

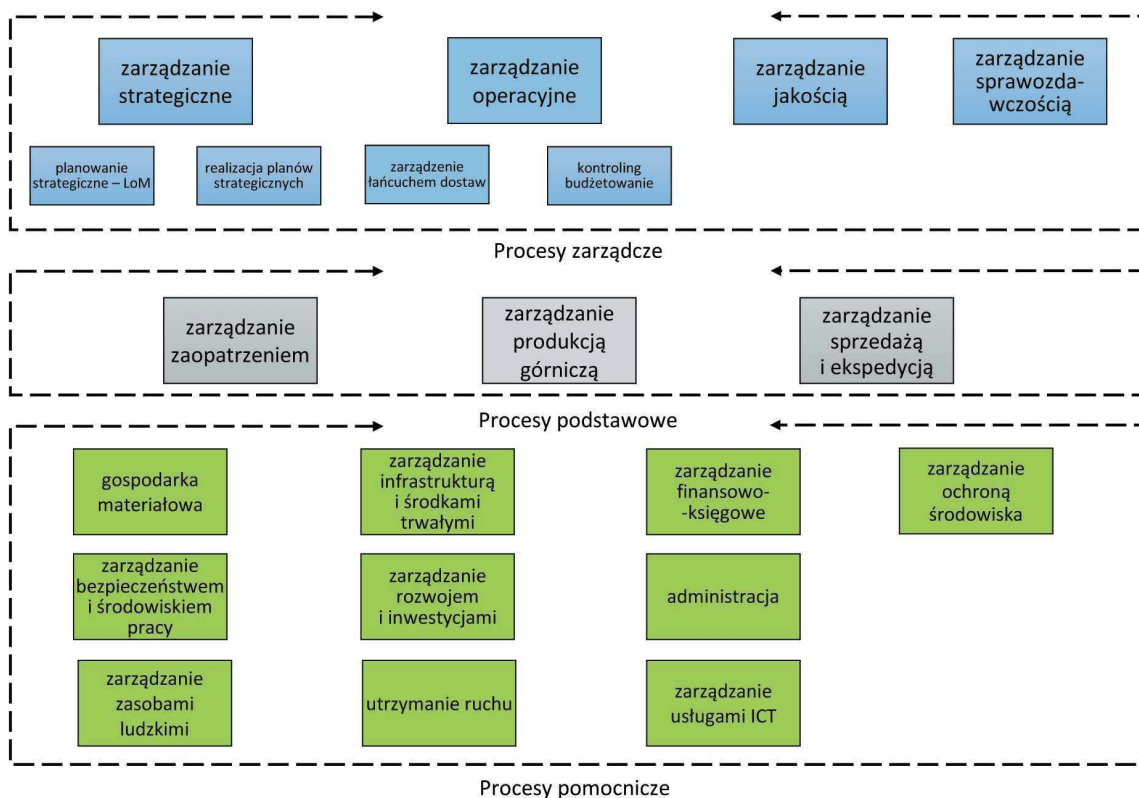
W trakcie prowadzonych prac zdefiniowano następujące cele szczegółowe programu:

- zwiększenie efektywności zarządzania produkcją górnictwem;

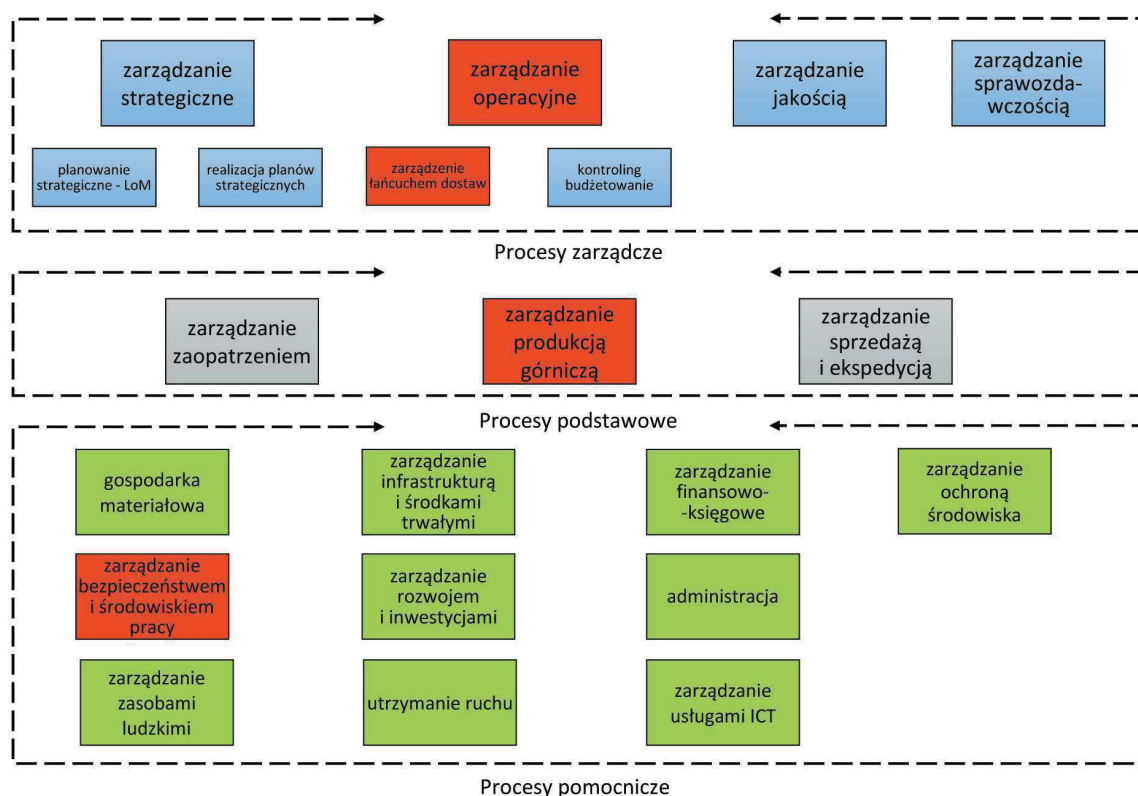
- podniesienie bezpieczeństwa środowiska pracy;
- obniżenie kosztów produkcji, ale nie tylko w wartości bezwzględnej, lecz jako procent ceny sprzedaży produktu (węgiel, miedzi i innych surowców naturalnych);
- poprawa jakości produktu finalnego dostarczanego klientom końcowym.

Cyfryzacja obszaru zarządzania produkcją i bezpieczeństwem kopalni musi być ukierunkowana na kluczowe procesy biznesowe zachodzące w przedsiębiorstwie wydobywczym.

Procesy biznesowe korporacji górniczej przedstawiono na rysunku 2, zaś na rysunku 3 wskazano, które procesy zostaną objęte programem.



Rys. 2. Mapa procesów korporacji górniczej



Rys. 3. Procesy biznesowe objęte programem – zaznaczone kolorem czerwonym

Należy podkreślić, że procesy zarządcze, a również wiele funkcjonalności pozostałych procesów jest realizowana na poziomie kierownictwa (zarządu) spółki, a nie w poszczególnych kopalniach (wchodzących w skład spółki).

Ponadto należy zwrócić uwagę na to, że wiele funkcjonalności jest już wspomaganych przez użytkowane systemy informatyczne, np. SZYK 2.

Przedmiotem programu jest cyfryzacja procesów biznesowych przedstawionych na rysunku 3 [5]. Procesy te zaznaczono na rysunku 3 kolorem czerwonym. Procesy intensywnie wspomagane przez obecnie użytkowane systemy informatyczne, a jednocześnie będące przedmiotem programu, zaznaczone cieniem czerwonym.

Założono, że program będzie tworzyć sześć komponentów funkcjonalnych (podprogramów):

- komponent 1: złoża – zakres zarządzania złożem,
- komponent 2: SOP/zakres – planowanie łańcucha dostaw,
- komponent 3: produkcja – zakres zarządzania produkcją górnictwem,
- komponent 4: maszyny – zakres zarządzania infrastrukturą oraz utrzymanie ruchu,
- komponent 5: bezpieczeństwo – zakres zarządzania bezpieczeństwem,
- komponent 6: analityka – zakres systemu analiz technicznych (TAS – *Technical Analysis System*).

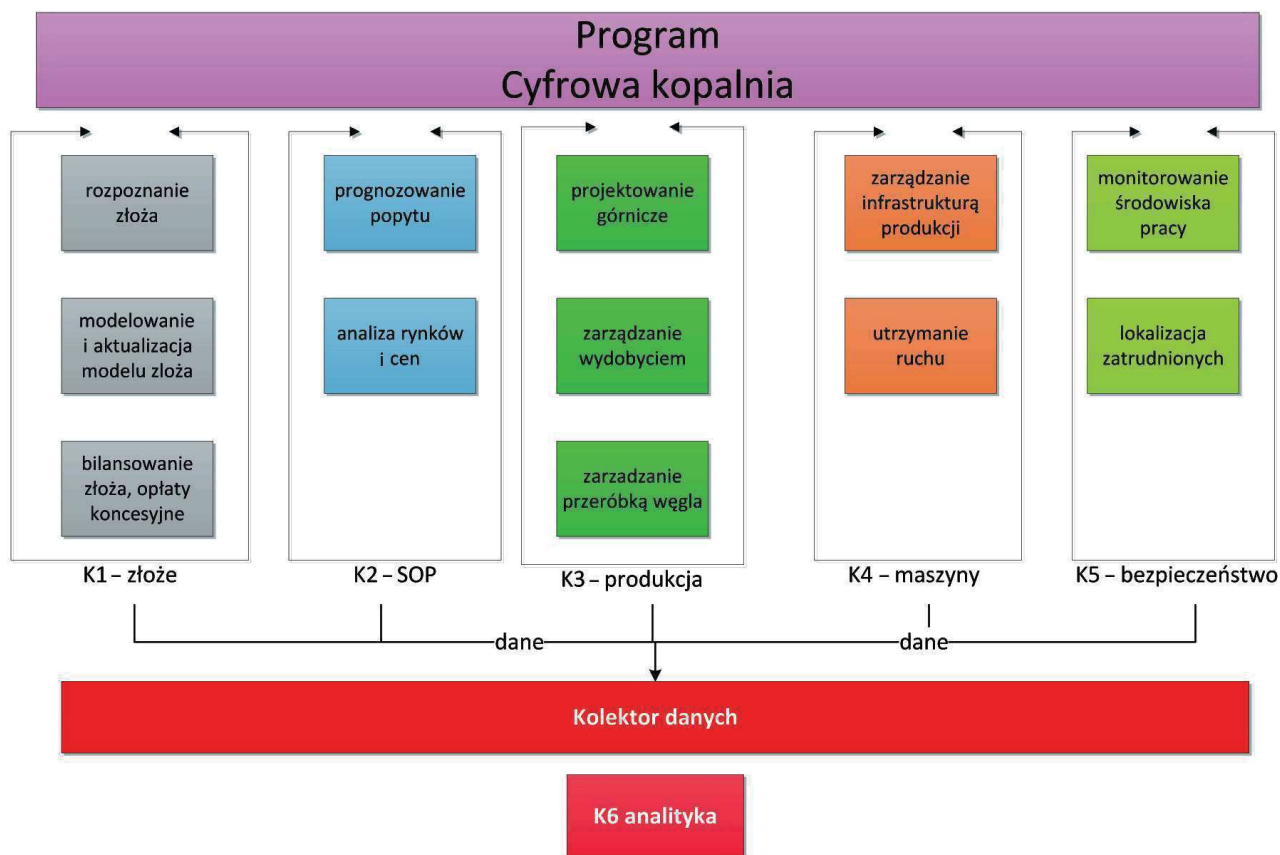
Strukturę programu oraz procesy biznesowe powiązane z jego komponentami przedstawiono na rysunku 4.

Każdy z komponentów programu jest ściśle określony przez funkcjonalności wyspecyfikowanych procesów biznesowych. Komponenty programu powstaną w wyniku zrealizowania stosownych projektów. Można założyć, że zakres funkcjonalny komponentu będzie zrealizowany przez jeden lub kilka powiązanych projektów.

Założono, że poszczególne komponenty funkcjonalne programu będą realizowane przez czołowe jednostki akademickie i instytuty PAN oraz instytuty badawcze i firmy zaplecza górnictwa posiadające odpowiednie kompetencje w obszarze górnictwa i ICT, a także największych producentów maszyn górniczych oraz Grupę CNP EMAG.

Szczegółowe funkcjonalności komponentów powinny zostać zdefiniowane w ramach prac fazy przygotowania programu. Prace te powinni zrealizować wstępnie wybrani wykonawcy. Należy podkreślić, że w przypadku realizacji programu przez wielu wykonawców konieczne jest zapewnienie spójności rozwiązania, aby możliwe było osiągnięcie założonego celu.

Spójność rozwiązania zostanie utrzymana dzięki działaniom komitetu sterującego zarządzającego realizacją programu.



Rys. 4. Komponenty i procesy biznesowe Programu „Cyfrowa Kopalnia”

Model procesów po jego opracowaniu przez powołany zespół projektowy powinien zostać zaakceptowany przez komitet sterujący programem i przyjęty jako referencyjny. Model referencyjny będzie determinował zakres prac wykonawców komponentów funkcjonalnych programu. Model referencyjny będzie podstawą stałego rozwoju i doskonalenia realizowanego programu.

Zastosowanie modelu referencyjnego procesów biznesowych do produkcji górniczej umożliwi spełnienie wymagań w zakresie korporacyjnej interoperacyjności biznesowej.

Oczekiwane są następujące rezultaty wdrożenia wyników programu:

- wzrost konkurencyjności i efektywności zarządzania produkcją górniczą w wyniku synchronizacji operacji w ramach całego łańcucha dostaw (od zarządzania złożem do ekspedycji węgla z kopalni),
- udostępnienie narzędzi do prowadzenia racjonalnej gospodarki zasobami oraz złożem przez wdrożenie kompleksowego planowania (od harmonogramów do planów wieloletnich) oraz monitorowania operacji,
- obniżka kosztów produkcji oraz zapewnienia bezpiecznych i właściwych warunków pracy w wyniku bieżącej analizy i monitorowania operacji,

- wzrost wydajności pracy przez zapewnienie lepszych parametrów klimatyzacji (temperatura, zapylenie) pracy w wyrobiskach,
- podniesienie poziomu bezpieczeństwa pracy załóg m.in. w wyniku ograniczenia przebywania w szczególnie niebezpiecznych miejscach (zastosowanie Internetu Rzeczy).

Spodziewane efekty finansowe z realizacji programu to 5-procentowa obniżka kosztów operacyjnych procesów w sferze produkcji i bezpieczeństwa.

#### 4. SYSTEM ANALIZ TECHNICZNYCH

Biorąc pod uwagę koszty, złożoność i wymagane prace przygotowawcze uruchomienia programu cyfryzacji górnictwa, proponuje się w pierwszej kolejności wdrożenie projektu, którego produktem będzie system analityczny wykorzystujący dostępne dane ze stosowanych obecnie systemów eksploatacji w kopalniach. Projekt ten będzie bazował na doświadczeniach oraz kompetencjach specjalistów firm Grupy CNP EMAG. Opracowany system analiz technicznych (TAS) będzie realizacją założeń komponentu analitycznego Programu „Cyfrowa Kopalnia”.

Korzystając z danych obszaru gazometrii, geofizyki, analiz jakości kopaliny, monitorowania maszyn oraz systemów lokalizacji ludzi i urządzeń, będzie można sprawnie przygotować i wdrożyć pierwszy komponent programu.

#### 4.1. Dane źródłowe systemu TAS

Założono, że pierwszy etap budowy systemu TAS zostanie ukierunkowany na gromadzenie, przetwarzanie i analitykę danych ustrukturyzowanych pochodzących z systemów obszaru gazometrii, geofizyki oraz monitorowania pracy maszyn i urządzeń.

Kluczowym zagadnieniem projektu w zakresie pierwszego etapu budowy systemu TAS jest opracowanie rozwiązania wspomagającego rozpoznanie i ocenę poziomu zagrożenia w środowisku górniczym, dotyczącego zmian składu powietrza i zjawisk sejsmicznych zachodzących w wyrobiskach podziemnych.

Zmieniające się parametry atmosfery w wyrobiskach górniczych wymagają ciągłej kontroli stężenia tzw. gazów kopalnianych oraz przepływów powietrza. Prowadzone jest ciągle monitorowanie stanu parametrów za pomocą systemów gazometrii automatycznej wyposażonych w czujniki pomiarowe, koncentratory danych i układy wykonawcze. Dane, za pomocą układów transmisji danych, są przesyłane na powierzchnię do systemów nadzoru dyspozytorskiego.

Można szacować, że polskie kopalnie posiadają ponad 4500 sztuk (średnio 120–150 sztuk w kopalni) metanomierzy z rejestracją danych, co informuje o skali i złożoności zagadnienia.

Stosowane w polskim górnictwie systemy sejsmiczne umożliwiają lokalizację zjawisk sejsmicznych oraz wyznaczenie parametrów ognisk wstrząsów. Znajomość parametrów sejsmicznych oraz geometrii sieci pomiarowej umożliwia stosowanie różnych algorytmów prędkościowej i tłumieniowej tomografii pasywnej. W algorytmach tomografii wykorzystuje się naturalne zjawiska sejsmiczne wywoływane eksploatacją górnictwem. System wyposażony jest w oprogramowanie do tomografii pasywnej metodą inwersji probabilistycznej. Wiarygodność uzyskiwanych wyników w dużym stopniu uzależniona jest od liczby wstrząsów i ich przestrzennego rozkładu.

Użytkowane w kopalniach systemy zapewniają rejestrację danych i komunikatów w lokalnych bazach danych. Bazy danych są kopiowane w kilku archiwach. Dane te wykorzystywane są w dziedzinowych systemach monitorowania i ostrzegania.

Biorąc pod uwagę dostępne dane pomiarowe z kopalnianych systemów monitorowania, postuluje się zbudowanie systemu TAS, który rozszerzy zakres wykorzystywania informacji w celach biznesowych. System będzie zasilany danymi pozyskanymi z kopalnianych systemów monitorowania i rejestrowania danych technicznych.

W systemie TAS zostaną zgromadzone ogromne ilości danych z monitoringu gazowego i sejsmicznego. Setki urządzeń zainstalowanych w kopalniach mierzą i monitorują stężenie metanu w powietrzu (duże ilości pomiarów ciągłych), stężenia pyłu węglowego oraz gazów: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Mierzone są prędkości przepływów powietrza do oceny warunków pracy urządzeń wentylacyjnych, wilgotności, temperatury powietrza i skał oraz temperatury zastępczej czy ciśnienia atmosferycznego.

Podobnie gromadzone są dane pomiarowe z kilkudziesięciu sejsmometrów dwu- i trójskładowych oraz geofonów, które trafiają do grupy dyspozytorów – ekspertów nadzorujących zjawiska tąpniowe w kopalniach.

Znaczna będzie również ilość informacji gromadzonych w systemie TAS z zakresu monitorowania pracy i stanu technicznego maszyn/urządzeń. Na przykład dla PGG należałoby założyć gromadzenie danych dla:

- 8000 obudów zmechanizowanych,
- 47 kombajnów ścianowych,
- 88 kombajnów chodnikowych,
- 1300 układów transportujących,
- 270 podziemnych kolejek.

Dane z tych pomiarów będą stanowić zasilenie informacyjne dla systemu TAS. System TAS będzie również zasilany danymi pozyskanymi z zewnętrznych systemów. Zakłada się, że Centrum Krajowe EPOS (*European Plate Observing System*) zapewni kompleksowo zunifikowane dane z konkretnej dziedziny (np. sejsmologiczne, geodezyjne, geologiczne) [7].

W kolejnym etapie rozwoju systemu TAS zostaną opracowane rozwiązania potrzebne do gromadzenia, przetwarzania oraz analityki danych nieustrukturyzowanych, takich jak:

- mapy geologiczne,
- dokumentacja górnicza (dane historyczne),
- dane generowane przez systemy pomiarowe oraz automatyki,
- dane geolokalizacyjne, generowane przez mobilne urządzenia lokalizacji ludzi oraz maszyn,
- dane pochodzące z internetu,
- fotografie i skany,
- dane pochodzące z innych systemów.

Należy podkreślić, że dane gromadzone w systemie TAS będzie cechować duża ilość i zmienność w czasie oraz nieoceniona wartość biznesowa, która może być pozyskana w procesie analizy i wnioskowania.

Szczegółowy zakres danych źródłowych zostanie zdefiniowany w trakcie opracowywania projektu.

#### 4.2. Technologia systemu TAS

Przyjęto założenie, że system TAS powinien gromadzić dane zarówno ustrukturyzowane, jak i nieustrukturyzowane, pochodzące z górniczych systemów technicznych oraz zewnętrznych źródeł danych (np. EPOS). Składowanie, przetwarzanie oraz narzędzia analityczne systemu powinny umożliwić pozyskanie z danych konkretnej informacji, istotnej dla poprawy efektywności procesów biznesowych w korporacji górniczej.

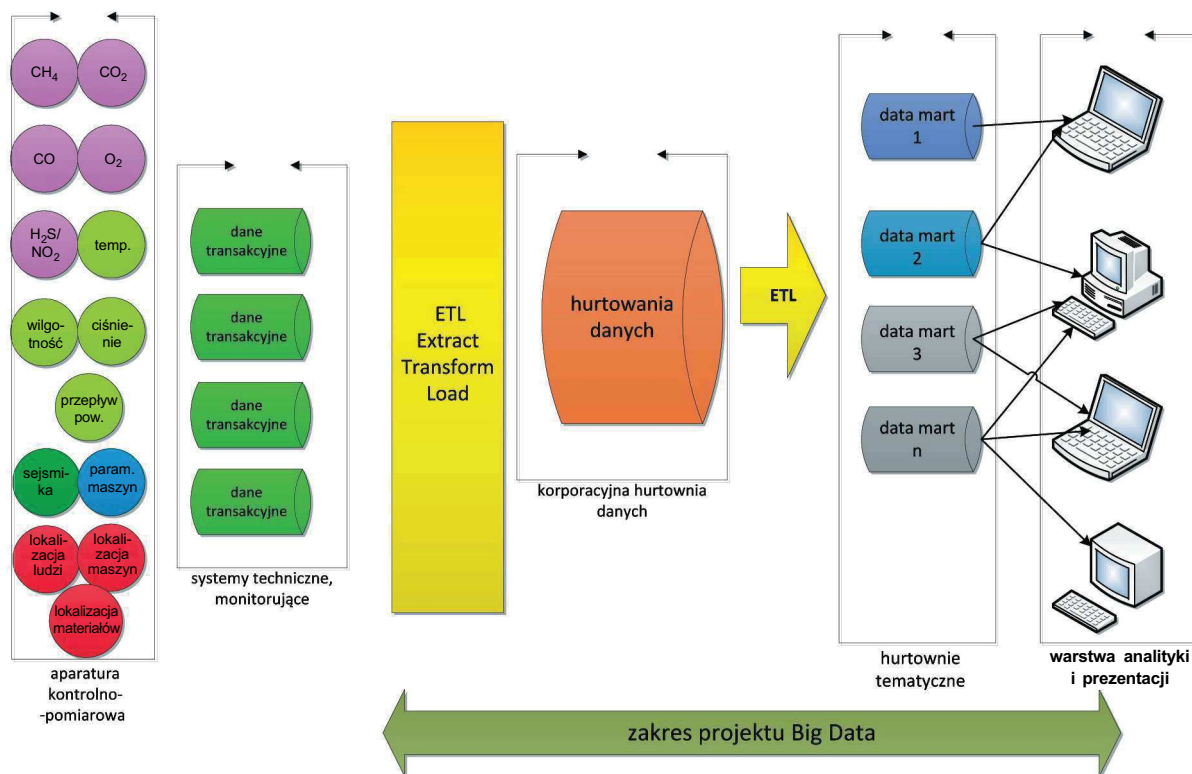
W pierwszej kolejności zostanie opracowany system TAS oparty na technologii BI (*Business Intelligence*). Schemat struktury systemu w technologii BI przedstawiono na rysunku 5. Opracowane rozwiązanie analityczne powinno umożliwić przeprowadzanie zaawansowanych analiz oraz zastosowanie metod prognozowania.

W kolejnym etapie zakres danych źródłowych zostanie rozszerzony o dane nieustrukturyzowane. Wy-

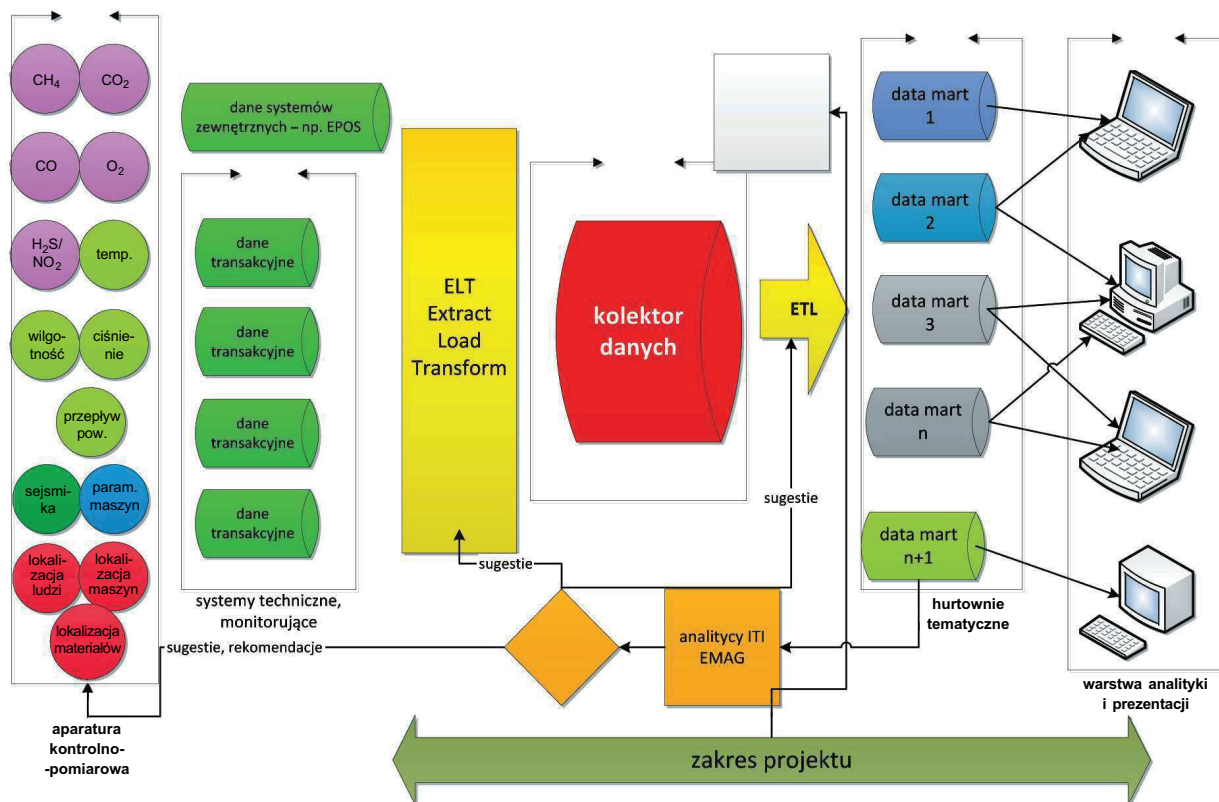
magać to będzie rozwinięcia systemu TAS o nową technologię, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 6. Zostanie zastosowana technologia określana jako Big Data.

Zastosowanie danych nieustrukturyzowanych wiąże się z koniecznością poznania możliwości zastosowania systemu szkieletowego Hadoop (oprogramowania typu *open-source*) do zbudowania własnego środowiska analitycznego obsługującego masowe, górnicze dane tego typu. Prace projektowe będą prowadzone w celu opracowania metody łączenia danych w różnych formatach i strukturach, aby możliwe było znalezienie niewidocznych obecnie relacji i zależności. Na podstawie ogólnie stosowanej technologii BI nie jest możliwe przetwarzanie tego typu danych nieustrukturyzowanych w rozsądnym czasie, z uwagi na brak specjalistycznych narzędzi analitycznych, dostosowanych do przewidywanej wielkości zbiorów i specyfiki analizowanych górniczych zagadnień.

W strukturze rozwiązania technologicznego systemu TAS należy wyróżnić warstwę danych źródłowych, danych transakcyjnych z systemów pomiarowych i monitorowania. Dane te w wyniku realizacji procesu ETL (*Extract, Transform and Load*) zostaną oczyszczone, zintegrowane i dostosowane do wymagań hurtowni danych. W proponowanym rozwiązaniu zakłada się, że dane zostaną załadowane do Hurtowni Danych Korporacyjnych.



Rys. 5. System TAS w technologii BI



Rys. 6. System TAS w technologii Big Data

Pochodzące z wielu źródeł dane w hurtowni zostaną zintegrowane i przeznaczone wyłącznie do odczytu. W przypadku znacznego zapelnienia Hurtowni Danych (*Data Warehouse*) danymi oraz dla usprawnienia analityki tworzone mogą być hurtownie tematyczne, tzw. *Data Marts*.

Rekomenduje się dwie struktury przechowywania danych w tzw. *Data Mart*:

- *Data Mart* bazodanowa – baza jednowymiarowa, przetwarzanie i agregacja danych w aplikacji np. do raportowania;
- struktura wielowymiarowa, w której dane są gotowe do analizy typu OLAP (*Online Analytical Processing*).

W systemie TAS powszechnie będzie stosowana eksploracja danych (*Data Mining*) do wyszukiwania trendów i zależności. Rozwiązanie technologiczne oparte na procesie ELT oraz kolektorze danych przedstawiono na rysunku 6.

Metody eksploracji danych powinny umożliwić wykrywanie związków przyczynowo-skutkowych, które nie mogą być obecnie identyfikowane z uwagi na ogrom danych do przeanalizowania za pomocą stosowanych technologii. Pozwoli to lepiej eliminować zagrożenia w kopalni oraz poprawić efektywność procesów biznesowych. Model prognozowania zwykle

opiera się na danych historycznych pobieranych z hurtowni danych. Podlegają one procesom analizy w module analitycznym. Dane do prowadzenia prognozowania w czasie rzeczywistym muszą być jednak dostępne na bieżąco, a nie w okresach wynikających z cykli aktualizacji hurtowni. Konieczne jest wówczas zastosowanie procesu ELT (*Extract, Load, Transform*) zamiast ETL (*Extract, Transform, Load*) i ładowanie źródłowych danych do kolektora danych lub *Data Mart* powiązanej bezpośrednio z modułem obsługi prognozowania.

Zastosowanie technologii ELT jest zasadne w przypadku zapisu i przechowywania danych nieustrukturyzowanych w kolektorze systemu TAS, zgodnie z rekomendacjami dla technologii Big Data.

Budowa systemu TAS przy zastosowaniu technologii używanej w systemach typu Big Data wymagać będzie rozpoznania zasadności zastosowania:

- koncepcji *MapReduce* – platforma Big Data, dostępnej w rozwiązaniach *Hadoop/ Apache Software Foundation*, *SAP HANA*,
- bazy danych (NoSQL), *Apache Hbase* – do zapisu strumieni danych,
- oprogramowanie do analizy dużych zbiorów danych nieustrukturyzowanych – *Apache Hadoop*, *SAP HANA* (wyszukiwanie zależności i relacji między danymi w różnych formatach i strukturach).



### 4.3. Analityka systemu TAS

System analiz technicznych powinien zapewnić narzędzia do:

- automatycznego raportowania,
- wyszukiwania danych z filtrowaniem,
- analiz typu *ad hoc*,
- eksploracji danych (*data mining – drill-down, roll-up, drill-across, drill-through*),
- budowania modeli prognostycznych (*predictive models*),
- eksportu plików do Excela.

Możliwość eksportu wybranych plików danych do Excela powinna spełnić oczekiwania tych analityków, którzy traktują Excel jako podstawowe narzędzie do prac analitycznych.

W systemie TAS powszechnie stosowana będzie eksploracja danych (*data mining*) w celu wyszukiwania trendów i zależności.

Metody eksploracji danych powinny umożliwić wykrywanie związków przyczynowo-skutkowych, które nie mogą być obecnie identyfikowane z uwagi na ogrom danych do przeanalizowania za pomocą stosowanych technologii. Pozwoli to lepiej eliminować zagrożenia w kopalni oraz poprawić efektywność procesów biznesowych.

Ocena wyniku pomiaru i wiarygodności analizowanych danych musi być prowadzona w kontekście prawdopodobnej dynamiki zmian wielkości mierzonej. Pozwala to uznać wynik pomiarów za prawdopodobny lub nieprawdopodobny. Zachodzi potrzeba zdefiniowania reguł, kryteriów oceny pomiarów, aby weryfikacja poprawności dokonanej oceny była możliwa jedynie na podstawie dalszego przebiegu procesu. W wielu przypadkach, szczególnie dotyczących zagrożeń, taka ocena musi być dokonana w czasie rzeczywistym. Wymusza to szybkość reakcji systemu analitycznego, kojarzącego wyniki bieżących pomiarów z danymi historycznymi oraz działającego zgodnie z regułami i przepisami górnictwami. Pozyskiwanie danych pomiarowych oraz częstotliwość poboru danych przez system będzie przedmiotem rekomendacji dla wielkości mierzonych. W ramach zadania zostaną zweryfikowane również stosowane reguły agregacji pomiarów, co dotyczy przypadków, gdy pojedynczy wynik pomiarowy reprezentuje wartość wielkości mierzonej w danym przedziale czasu, większym niż pozyskiwanie danych pomiarowych (okresy agregacji powinny wynikać z praktyki górnictwa i przepisów).

Modelowanie predykcyjne pozwala na prognozowanie przyszłych wyników, szacowanie ryzyka, ocenę sytuacji oraz ogólnie pojęte zarządzanie procesami.

Statystyczne analizowanie reprezentatywnych porcji dostępnych informacji w systemie TAS może pomóc w szybkości i jakości rozwijania modelu statystycznego prognozowania.

W ramach projektu powinna zostać dobrana metoda prognozowania dla wybranych, kluczowych, procesów. Przyjmując metody ilościowe prognozowania, można skorzystać m.in. z modeli: szeregów czasowych, ekonometrycznych, analizy kohortowej ze zmiennymi kluczowymi.

Metody jakościowe oparte są na osądach ekspertów i są formułowane na podstawie danych o kształtowaniu się wartości zmiennej prognozowanej i zmiennych objaśniających w przeszłości.

Podstawę wyboru metody prognozowania powinny stanowić przyjęte przesłanki oraz dostępne dane historyczne. Na obecnym etapie definiowania zakresu projektu badawczego można rekomendować metody ilościowe oparte na szeregach czasowych. Jednak w miarę pozyskania doświadczenia w prognozowaniu oraz zgromadzenia danych nierestrukturyzowanych można będzie skorzystać z metod jakościowych. Budowa modelu będzie wspomagana przez moduł obsługi prognozowania. W okresie stosowania prognoz należy prowadzić ocenę trafności prognozy za pomocą błędów *ex post*. Wyniki prognozowania będą prezentowane w formie tabel i wykresu wartości prognozowanej. Moduł prognozowania powinien zostać zasilony rzeczywistymi wartościami, które będą mogły być porównane z prognozą.

### 4.4. Centrum Analiz Danych

Komponent analityczny systemu TAS będzie przetwarzal zgromadzone informacje i umożliwił przeprowadzanie wnioskowania na podstawie zaimplementowanych modeli.

System TAS należy traktować jako narzędzie pomocnicze w procesach podejmowania decyzji w zagadnieniach technicznych.

Zakłada się, że opracowanie i wdrożenie produktów Programu „Cyfrowa Kopalnia”, a w szczególności wdrożenia systemu TAS będzie powiązane z uruchomieniem Centrum Analiz Danych (DAC – *Data Analysis Centre*).

Centrum DAC będzie prowadzić zaawansowane analizy gromadzonych danych z monitorowania procesu produkcji górniczej oraz parametry środowiska pracy górników.

Zakłada się, że w pracach DAC będą uczestniczyć eksperci z różnych jednostek organizacyjnych (wyższych uczelni, instytutów badawczych, WUG i przedsiębiorców górniczych) posiadający stosowną wiedzę.

Obecnie dostępne technologie ICT w pełni umożliwiają zdalny dostęp do danych oraz zdalne śledzenia procesów w czasie rzeczywistym przez rozproszone zespoły analityczne.

Analitycy z Centrum Analizy Danych powinni:

- posiadać umiejętności do prowadzenia analiz dużych zbiorów danych typu Big Data wykorzystujących dane ustrukturyzowane i nieustrukturyzowane,
- rozumieć „zachowanie” maszyn i sieci pomiarowej, systemów, aby rozróżniać nienaturalne, odbiegające od reguł zdarzenia/przypadki, a jednocześnie nie generować fałszywych alarmów,
- posiadać umiejętności do modelowania prognoz i symulacji,
- posiadać zdolności do interpretacji wyników analiz i prognoz w kontekście wiedzy branżowej, znajomości procesów oraz norm i reguł postępowania.

Centrum DAC będzie świadczyć usługi eksperckie (analizy, modelowanie, prognozowanie) w przypadku technologii Big Data, które będą rozliczane za pomocą systemu billingowego rejestrującego wykonywane prace. Powiązania usług Centrum DAC z systemem TAS zaprezentowano na rysunku 6.

## 5. PODSUMOWANIE

Zaproponowana w artykule koncepcja programu stopniowej cyfryzacji polskiego górnictwa jest próbą kompleksowego rozwiązania umożliwiającego wspomaganie procesów zarządczych, produkcyjnych i zagadnień bezpieczeństwa. Pozwoli to na optymalizację wykorzystania posiadanych maszyn i urządzeń w cyklu produkcyjnym, precyzyjne planowanie remontów i inwestycji. Podniesie także zdecydowanie bezpieczeństwo pracy w podziemnych zakładach górniczych. Systemowe podejście do zarządzania produkcją i bezpieczeństwem z uwzględnieniem ilościowych i jakościowych aspektów ekonomicznych jest szczególnie istotne dla restrukturyzowanego od lat polskiego górnictwa.

Dobrym przykładem pierwszego etapu cyfryzacji kopalń jest zrealizowanie koncepcji utworzenia *One Control Room* w ZG Polkowice–Sieroszowice KGHM, który stanowi nowy sposób podejścia do pozyskiwania i przetwarzania gromadzonych danych. Daje możliwość zdalnej kontroli i sterowania procesem produkcyjnym i utrzymaniowym oraz proaktywnego podejścia do utrzymania systemów zapewniających ograniczenie kosztów eksploatacji i podniesienie jakości produktu końcowego [8].

Ze względu na to, że przetwarzanie coraz większych zbiorów danych staje się codzienną praktyką w biznesie, niezbędna jest realizacja kolejnego etapu cyfryzacji górnictwa polegająca na stworzeniu systemu analiz technicznych w technologii Big Data wraz z centrum analizy danych. Znalezienie zależności i korelacje między danymi pochodzącymi z różnych obszarów procesów podstawowych i pomocniczych w kopalni stanie się znakomitym źródłem informacji zarządczych, utrzymaniowych oraz będzie umożliwiać aktywne wpływanie na przebieg procesu produkcji i wymaganą przez klienta jakość produktu końcowego. Równie ważnym elementem jest sposób prezentacji powyższych informacji uwzględniający możliwości percepcyjne osób zarządzających produkcją.

## Literatura

- [1] Kozłowski A., Wojtas P.: *Systemowe podejście do cyfryzacji w procesach technologicznych w górnictwie*, „Szkoła Eksploatacji Podziemnej”, Kraków 2017.
- [2] Kozłowski A.: *Bezpieczeństwo procesów technologicznych w ujęciu systemowym – Zintegrowany system zarządzania Silesia+*, Kongres Innowacji Polskich, Kraków 2015.
- [3] Stach R., Borkowski L.: *One control room w ZG Polkowice–Sieroszowice*, IMF, Jastrzębie-Zdrój 2017.
- [4] Kozłowski A., Wojtas P.: *Możliwość optymalizacji procesów technologicznych zakładu górnictwa w kontekście cyfryzacji górnictwa*, Polski Kongres Górniczy, Kraków 2017.
- [5] Goleń A., Gałuszka J., Wojtas P., Wojtas M.: *Studium Wykonalności Programu Cyfrowa Kopalnia/ Smart Mine*, opracowanie własne CNP EMAG S.A., Katowice 2017.
- [6] Wojtas P., Goleń A.: *Optymalizacja procesów wydobywczych poprzez cyfryzację kopalni*, IMF, Jastrzębie-Zdrój 2017.
- [7] *European Research Infrastructure on Solid Earth*, <https://www.epos-ip.org/>.
- [8] Andrzejewski M., Borkowski L.: *Kierunki rozwoju monitoringu pracy maszyn i urządzeń górniczych w KGHM „Polska Miedź” S.A.*, „Wiadomości Górnicze” 2014, 10: 550–556.

dr inż. PIOTR WOJTAS

Centrum Naukowo-Przemysłowe EMAG S.A.  
ul. Karoliny 4, 40-186 Katowice  
piotr.wojtas@cnp-emag.pl

dr inż. ARTUR KOZŁOWSKI

Instytut Technik Innowacyjnych EMAG  
ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice  
artur.kozlowski@ibemag.pl

mgr MAREK WOJTAS

TELVIS Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne  
Sp. z o.o.  
ul. Karoliny 4, 40-186 Katowice  
marek.wojtas@telvis.pl