

STAN I PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA OSIĄGNIĘĆ IDEI CZWARTEJ REWOLUCJI PRZEMYSŁOWEJ W BRANŻY GÓRNICZEJ

Kinga STECUŁA, Jarosław BRODNY, Krzysztof PUZIK

Streszczenie: W ostatnich latach obserwujemy dynamiczny rozwój wielu dziedzin nauki, w tym także nauk technicznych. W szczególności dotyczy to informatyki, automatyki i telekomunikacji. Wynikiem tych zmian jest bardzo szybki rozwój Internetu oraz systemów sztucznej inteligencji. Osiągnięcia te znajdują coraz szersze zastosowanie praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu. Szybkie tempo wprowadzania nowych, innowacyjnych rozwiązań do gospodarki powoduje jej dynamiczny rozwój. Obecnie zachodzący proces tych zmian nazywamy rewolucją przemysłową 4.0. W głównej mierze zmiany te polegają na praktycznym wykorzystaniu nowych technologii informatycznych do budowy inteligentnych systemów produkcyjnych. Usieciowienie procesu produkcyjnego oraz wprowadzenie operacyjnych systemów sterowania produkcją umożliwi zwiększenie jego efektywności i konkurencyjności, a w przypadku branży górniczej, także zwiększenie bezpieczeństwa. Oprócz aspektu technologicznego wprowadzane zmiany obejmują również nowy sposób pracy oraz podejścia pracowników do procesu produkcyjnego. W opracowaniu przedstawiono podstawowe cechy idei rewolucji 4.0 oraz omówiono wcześniejsze rewolucyjne zmiany w przemyśle. W części praktycznej skoncentrowano się na wpływie zachodzących zmian na branżę górniczą. Zachodzące w tej branży zmiany przedstawiono na przykładzie wykorzystania narzędzi informatycznych do wyznaczania efektywności pracy maszyn górniczych. Należy podkreślić, że górnictwo, w zakresie wprowadzania nowych rozwiązań zalicza się do grupy branż konserwatywnych. Oznacza to, że w stosunku do innych, większość zmian wprowadzana jest z pewnym opóźnieniem. Oprócz aspektu ekonomicznego (braku funduszy inwestycyjnych), przyczyną tego stanu jest także, w wielu przypadkach, brak aprobaty przez czynnik ludzki. Tym bardziej należy docenić próby praktycznego wprowadzenia nowych rozwiązań.

Słowa kluczowe: czwarta rewolucja przemysłowa, maszyny górnicze, efektywność maszyn, przemysł górniczy.

1. Wstęp

Współczesne przedsiębiorstwa funkcjonujące na silnie konkurencyjnym rynku stoją przed koniecznością zaspokajania coraz bardziej zindywidualizowanych potrzeb klientów, których wymagania rosną wraz z poprawą sytuacji ekonomicznej oraz rozwojem nauki i techniki. Współcześni menagerowie, aby sprostać tym wymaganiom muszą podejmować skuteczne decyzje w warunkach dynamicznie zmieniającego się makro i mikrootoczenia. Jedną z przyczyn szybkiego tempa zmian zachodzących w gospodarce jest rozwój branży IT, której osiągnięcia znajdują coraz szersze praktyczne zastosowanie. Szczególnie widoczne to jest w przemyśle, który ze względu na rosnącą konkurencję zmuszony jest do szybkiego i skutecznego wprowadzania osiągnięć techniki. Obecnie zachodzące

w gospodarce zmiany określa się mianem czwartej rewolucji przemysłowej (*Industry 4.0*) [4, 9, 10, 11, 16, 17]. Główne zmiany związane z tym procesem obejmują konsolidację systemów informatycznych i integrację ludzi ze sterowanymi cyfrowo maszynami, szeroko wykorzystującymi sieć bezprzewodową oraz technologie informacyjne i komunikacyjne. Podstawowymi komponentami tej idei jest wprowadzenie do przemysłu nowych rozwiązań technicznych i technologii, pełniejsze wykorzystanie narzędzi informatyczno-komunikacyjnych oraz nowa organizacja łańcucha wartości. Proces ten wiąże się także ze zmianą paradygmatu zarządzania produkcją. Odchodzi się w tym przypadku od produkcji masowej dostosowanej do określonych grup odbiorców na rzecz produkcji dostosowanej do indywidualnych potrzeb klienta. Wiąże się to z decentralizacją procesu wytwarzania oraz przechodzeniem na system zarządzania produkcją oparty o tzw. „zwinne wytwarzanie”. Polega on na takiej organizacji procesu wytwarzania, która zapewni przewagę konkurencyjną poprzez ciągłe doskonalenie, szybką reakcję, systematyczne podnoszenie jakości, społeczną odpowiedzialność i koncentrację na potrzebach odbiorcy [3]. Takie podejście ma umożliwić producentowi skuteczne działanie na rynku, poprzez przechodzenie z systemów kastomizowanych na zatomizowane. Z procesem tym wiąże się szereg nowych pojęć obejmujących rozwiązania techniczne i zastosowane technologie. Pojęcia takie jak: przemysłowy Internet rzeczy, technologie przyrostowe i rozszerzonej rzeczywistości, techniki symulacyjne oraz informacyjne wykorzystujące duże bazy danych oraz systemy ich przetwarzania, a także inne, definiują procesy i koncepcje, które stają się podstawą zachodzących zmian. Bardzo istotne znaczenie w tym procesie mają systemy cyber-fizyczne, których głównym zadaniem jest jak najpełniejsza integracja obszaru obliczeniowego z procesami fizycznymi. Systemy te najczęściej występują w formie wbudowanych układów oraz sieci monitorowania i kontrolowania procesów fizycznych, działających w pętli sprzężenia zwrotnego, gdzie procesy fizyczne są źródłem danych dla obliczenia sygnału sterującego obiektami [8].

W ramach *Industry 4.0*, oprócz współpracy między maszynami wspiera się także współpracę między ludźmi a maszynami. Cyfrowy przemysł stawia dużo wymagań zarówno teoretykom jak i praktykom w odniesieniu do maszyn. Dąży się bowiem do zwiększenia efektywności, produktywności, niezawodności maszyn, a także ich inteligencji, poprzez włączenie do tego procesu nowoczesnych narzędzi informatycznych. Przemysł 4.0 zakłada integrację inteligentnych maszyn celem zwiększenia wydajności produkcji. Maszyny sterowane cyfrowo mają mieć ciągły dostęp do Internetu i technologii informacyjnych, a produkty i materiały wykorzystywane w procesie produkcji powinny być identyfikowalne. Zasoby ludzkie, maszynowe oraz systemy informatyczne automatycznie mają wymieniać informacje w trakcie trwania procesu produkcyjnego zarówno w ramach jednej fabryki, jak i różnych systemów IT. Natomiast narzędzia produkcyjne mają same modyfikować własne działania, w zależności od zadań, dzięki zastosowaniu odpowiednich programów do obsługi maszyn [17]. Działania te mają na celu integrację wszelkiego typu urządzeń biorących udział w procesie produkcyjnym ze światem wirtualnym.

Oczywistym wydaje się także to, że przedsiębiorstwa wprowadzające rozwiązania zgodne z koncepcją czwartej rewolucji przemysłowej zyskują przewagę nad konkurencją. Pełna kontrola procesu produkcyjnego z dostosowaniem produktu do indywidualnych potrzeb klienta powinna bardzo pozytywnie wpłynąć na ich rozwój. W najbliższych latach rozwiązania oraz produkty będące efektem wprowadzania koncepcji czwartej rewolucji przemysłowej powinny znaleźć powszechne zastosowanie w różnych branżach gospodarki oraz w życiu codziennym.

Jedną z branż w której, ze względu na rosnącą konkurencję oraz konieczność redukcji kosztów, powinny zostać wykorzystane te osiągnięcia jest górnictwo węgla kamiennego. Dla branży górniczej proponowane rozwiązania stanowią ogromną szansę poprawy efektów ekonomicznych oraz bezpieczeństwa pracy. Zastosowanie inteligentnych systemów produkcyjnych opartych o sieci bezprzewodowe oraz technologie informacyjne i komunikacyjne powinno przełożyć się na wzrost efektywności całego sektora wydobywczego. Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że górnictwo należy do konserwatywnej grupy branż w zakresie wprowadzania nowych rozwiązań. W ostatnich latach obserwujemy jednak pozytywne zmiany w tym zakresie. Konieczność wprowadzania innowacyjnych zmian w tej branży wymusza bowiem rosnąca konkurencja na rynku energetycznym. Wydaje się więc, że również górnictwo, w coraz większym zakresie powinna być beneficjentem zachodzących zmian, związanych z wprowadzaniem idei czwartej rewolucji przemysłowej. Należy także zaznaczyć, że wprowadzenie idei czwartej rewolucji przemysłowej do praktyki wiąże się z dużymi inwestycjami, a co za tym idzie odpowiednimi nakładami finansowymi. Czynniki finansowy może w wielu przypadkach stanowić poważną barierę we wdrażaniu tej idei.

W opracowaniu scharakteryzowano dotychczasowe przełomowe osiągnięcia technologiczne, które spowodowały największe przemiany w procesach produkcyjnych, w tym także w branży górniczej. Jako przykład praktycznego zastosowania idei czwartej rewolucji przemysłowej przedstawiono wykorzystanie elementów automatyki przemysłowej do analizy efektywności wybranych maszyn górniczych.

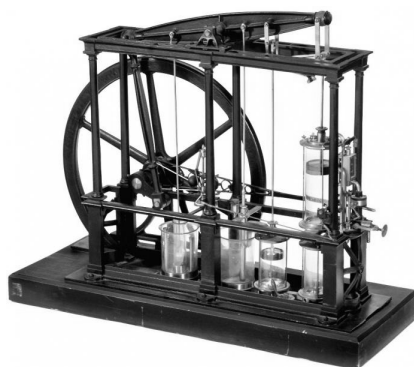
Autorzy opracowania mają nadzieję, że prezentowana tematyka, szczególnie w zakresie zastosowania idei czwartej rewolucji przemysłowej w górnictwie, powinna być szeroko dyskutowana w tej branży, gdyż może stanowić ogromną szansę na jej przetrwanie i rozwój. Tym bardziej, że zgodnie z zapowiedziami Resortu Rozwoju, od 2018 roku powinna rozpocząć prace fundacja pod nazwą „Polska Platforma Przemysłu 4.0”, której zadaniem będzie wspomaganie transformacji polskiego przemysłu, poprzez jego cyfryzację i robotyzację. Fakt ten potwierdził Pan Premier Mateusz Morawiecki, który na Kongresie Impact'17, w Krakowie stwierdził: „Rozwojowi technologii będzie towarzyszyć m.in. wzrastający poziom robotyzacji produkcji. Wdrażanie idei Przemysłu 4.0 wymaga współpracy i dzielenia się wiedzą. W tym celu powołujemy krajową platformę, integrującą i koordynującą działania wielu jednostek. Polska Platforma Przemysłu 4.0 ma dostarczać na rynek wiedzę techniczną, inicjować przepływ doświadczeń oraz wspierać przedsiębiorców w opracowywaniu i wdrażaniu nowych technologii i modeli biznesowych opartych właśnie na koncepcie nowoczesnej produkcji” [15].

2. Rewolucje przemysłowe

Rozwój naszej cywilizacji, a w szczególności gospodarki przez ostatnie kilkaset lat przebiegał w sposób etapowy. Początek każdego etapu charakteryzowany był przemianami, których skutki powodowały znaczne zmiany w życiu gospodarczym, społecznym i kulturowym. W obszarze gospodarki przemiany te nazwano rewolucjami przemysłowymi. Dotychczas zidentyfikowano cztery takie przemiany. Obecnie znajdujemy się w trakcie czwartej rewolucji przemysłowej [4, 9, 10, 16, 17].

Pierwszą rewolucją przemysłową nazywany jest proces obejmujący zmiany techniczne, gospodarcze i kulturalne, które rozpoczęły się w Anglii i Szkocji w XVIII wieku. Zmian zaczęto dokonywać wówczas w trzech kierunkach. Pierwszym z nich był przełom techniczny w ramach produkcji przemysłowej, który polegał na jej mechanizacji, czyli

odejściu od pracy ręcznej, na rzecz pracy z wykorzystaniem maszyn. W tym okresie powstało wiele wynalazków, wśród których przełomowym okazała się maszyna parowa (rys. 1), która zapoczątkowała erę industrializacji. Wynalazł ją w 1763 roku James Watt, udoskonalając atmosferyczny silnik parowy stworzony przez Thomasa Newcomena. Silnik parowy był stosowany m.in. do konstrukcji lokomotyw parowych, łodzi – tzw. parostatków, dylżansów parowych, maszyn drukarskich, młotów parowych do kucia metali, ciągników, balonów o napędzie parowym oraz innych urządzeń. Drugim kierunkiem był przełom ekonomiczny, który przejawiał się w zmianach organizacji produkcji oraz kalkulacji ekonomicznej. Trzeci przełom związany był ze strukturą społeczną. Zmienił się styl życia. Społeczeństwo miejskie zaczęło się przekształcać w przemysłowe. Nastąpiły procesy urbanizacyjne i rozwój intelektualny społeczeństwa [9, 11].



Rys. 1. Model maszyny parowej Jamesa Watta
Źródło: [18]

Początek rewolucji w Wielkiej Brytanii spowodował, że gospodarka brytyjska w XIX wieku wyraźnie dominowała nad innymi gospodarkami. W krótkim czasie inne kraje, takie jak: Francja, Stany Zjednoczone i Niemcy również dołączyły do czołówki krajów uprzemysłowionych. Natomiast już pod koniec XIX wieku USA i Niemcy zaczęły rozwijać się szybciej, co zwiastowało nadejście kolejnej rewolucji [9].

Druga rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w drugiej połowie XIX wieku i na początku XX wieku. Związana była głównie z upowszechnieniem elektryczności. Wiązało się to z rozwojem oświetlenia, elektryfikacji oraz powstaniem wielu nowych rozwiązań technicznych. W 1852 roku polski chemik, farmaceuta i przedsiębiorca J. I. Łukasiewicz opracował metodę rafinacji ropy naftowej. Dzięki temu ropa zaczęła być wykorzystana na skalę światową. W 1853 roku skonstruował lampę naftową, a w 1879 roku T. Edison wynalazł żarówkę. W Anglii wyjechały pierwsze elektryczne tramwaje, co było początkiem wykorzystania silnika elektrycznego w kolejnictwie. W 1876 roku szkocki naukowiec Alexander Bell wynalazł telefon, natomiast w 1897 roku zbudowany został pierwszy silnik spalinowy, którego twórcą był R. Diesel. W czasie tej rewolucji wynaleziony został dynamit, który został opatentowany przez Alfreda Nobla w 1867 roku. Upowszechniony został również samochód i samolot. W 1903 roku Amerykańscy bracia Orville i Wilbur Wright dokonali pierwszego lotu samolotem o silniku spalinowym. Ponadto w odniesieniu do produkcji, zaczęto produkować towary w dużych seriach, dzięki zastosowaniu linii produkcyjnych. Skonstruowano również pierwszy odkurzacz [9, 11].

Trzecia rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w latach 60-tych/70-tych XX wieku i dotyczyła głównie sfery naukowo-technicznej. Ciężko jest określić górną ramę czasową tej rewolucji, gdyż praktycznie w wielu miejscach świata trwa nadal. Trzecia rewolucja związana jest z cyfryzacją produkcji, komputeryzacją, wprowadzaniem nowych rozwiązań informatycznych oraz wykorzystaniem nowych źródeł pozyskiwania energii. W jej zakres wchodzi automatyzacja pracy, rozwój telekomunikacji i transportu. Ponadto, wiąże się również z rozwojem wysokiej technologii (ang. *high tech*). Do głównych osiągnięć tej zmiany zaliczamy wprowadzenie do powszechnego użytku tranzystorów, układów scalonych, światłowodów oraz produkcję energii atomowej. Szeroko stosuje się także systemy IT do planowania oraz kontroli produkcji. Rosnąca liczba prac wykonywana jest przy pomocy komputera, poprawiając produktywność przedsiębiorstw. W coraz większym zakresie wykorzystuje się roboty, które potrafią współpracować z ludźmi. Efektem trzeciej rewolucji przemysłowej był także rozwój usług oferowanych drogą internetową. Rozwinął się e-learning, d-learning (*distance learning*) oraz m-learning (*mobile learning*). Pojawiła się możliwość dokonywania e-zakupów, płatności przez Internet i innych czynności, które można wykonywać na odległość. Do najważniejszych wynalazków należy mikroprocesor (1971 r.) i mikrokomputer (1975 r.), który został wprowadzony na rynek w 1977 roku. Projekt Internetu sprawił, iż pod koniec lat 90 XX wieku rozpoczęła się informatyzacja. Opracowano i wdrożono technologię druku 3D, który znajduje coraz większe zastosowanie w przemyśle, medycynie, stomatologii, architekturze energetyce, reklamie, marketingu, modzie, przemyśle spożywczym oraz innych branżach [9, 12].



Rys. 2. Zestawienie najważniejszych osiągnięć rewolucji przemysłowych
Źródło: [16]

Czwarta rewolucja przemysłowa określana jest również akronimem „Przemysłem 4.0” (Industry 4.0). Po raz pierwszy pojęcie to zostało zaprezentowane podczas Hannover Messe w 2011 roku. Miało ono na celu opisanie i powiązanie występujących trendów w różnych branżach produkcyjnych. Z biegiem czasu zwrot ten przeobraził się w zapowiedź nowego paradygmatu w produkcji. Pojęcie Industry 4.0 stanowi zbiorcze określenie dla innowacji technicznych, a także koncepcji organizacji łańcucha wartości, które dokonują rewolucyjnych zmian w produkcji przemysłowej [4]. W ramach tej rewolucji wyróżnia się trzy podstawowe zjawiska, do których należą [10]:

- powszechna cyfryzacja i stała komunikacja między ludźmi, między ludźmi a urządzeniami oraz między urządzeniami,
- wzrost wdrażanych „innowacji wywrotowych” (ang. *disruptive innovations*), które przekładają się na skokowy wzrost sprawności i efektywności funkcjonowania systemu społeczno-gospodarczego,
- rozwój maszyn do poziomu, który umożliwi autonomiczne zachowania się dzięki wykorzystywaniu w procesie ich sterowania sztucznej inteligencji (ang. *artificial intelligence*).

Jednym z istotniejszych osiągnięć czwartej rewolucji przemysłowej jest Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things – IoT*). Odnosi się on do zastępowania ludzi przez maszyny i inne urządzenia w gromadzeniu, przetwarzaniu i interpretacji danych w sieci komputerowej. Idea przesyłu danych za pomocą urządzeń posiadających dostęp do sieci jest bowiem kluczem do rozwoju gospodarki przyszłości. Internet of Things może być stosowanych w ogromnej skali, czego przykładem są inteligentne urządzenia domowe, inteligentne budynki, inteligentne systemy energetyczne oraz systemy sterowania produkcją. Oprócz Internetu Rzeczy rozwijają się także usługi chmury obliczeniowej (ang. *cloud computing*), analityka dużych zbiorów danych – tzw. Big Data, robotyzacja, automatyzacja i sztuczna inteligencja [13].

Na rysunku 2 przedstawiono zestawienie najważniejszych osiągnięć kolejnych rewolucji przemysłowych [16].

3. Górnictwo, a rozwój techniki

Analizując przemiany zachodzące w trakcie kolejnych rewolucji przemysłowych, zasadnym wydaje się odniesienie ich do branży górniczej. Tym bardziej, że opracowana maszyna parowa, w pierwszej fazie została właśnie zastosowana w przemyśle włókienniczym i górnictwie.

Początki górnictwa przypadają na epokę kamienia. Następnie nastął okres górnictwa metali np. złota, srebra, miedzi, a w późniejszym czasie górnictwa rud. W Europie środkowej rozwój górnictwa przypada na XI wiek. W XV i XVI wieku poza wyrobiskami pionowymi coraz bardziej powszechne stały się także wyrobiska pochyłe i poziome, co bardzo korzystnie wpłynęło na jego rozwój. Zaczęto także mechanizować niektóre prace, stosując: jednokołowe taczki, później wózki i transport konny. W odniesieniu do techniki wydobywania uróbku, ręczne kołowroty udoskonalono o koło zamachowe, następnie zastosowano koło wodne oraz pompy tłokowe usuwające wodę z kopalni. W XVII wieku do urabiania skał zaczęto stosować proch. W XVII/XVIII wieku zastosowano nowe rodzaje obudów kopalnianych, czterokołowe wozy torowe oraz maszynę parowo-powietrzną służącą pompowaniu wód kopalnianych. Pierwsza rewolucja przemysłowa sprawiła, że wzrosło zapotrzebowanie na węgiel kamienny, który stosowany był do maszyn parowych, lokomotyw, pieców (tzw. angielskich), w gospodarstwie domowym i w hutnictwie (koks).

W XVIII i XIX wieku górnictwo węgla kamiennego przeżywało ogromny rozwój, a węgiel stał się głównym źródłem energii. Od drugiej połowy XIX wieku (gdy I. Łukasiewicz dokonał destylacji ropy naftowej), nastąpił rozwój górnictwa kopalin ciekłych. Zamiast kopania studni zastosowano metodę wiercenia otworów do wydobywania ropy naftowej. We Francji w 1845 roku rozwiązano problem odwadniania kopalń dzięki metodzie drążenia szybów wodoszczelnych i ulepszeniu pomp. Następnie, zastosowano klatki wyciągowe w transporcie pionowym, co zwiększyło wydajność procesów wydobywczych. Na przełomie XIX i XX wieku w coraz szerszym zakresie wykorzystywano energię elektryczną do napędu maszyn górniczych. Od XX wieku w procesach urabiania i transportu zaczęto wprowadzać mechanizację i automatyzację. W tym zakresie zaczęto powszechnie stosować wręboładowarki, kombajny, strugi, zdalnie sterowane zgrzeblowe i taśmowe przenośniki oraz nowoczesne urządzenia wyciągowe w szybach [2, 5, 6, 14].

W Polsce po II wojnie światowej nastąpił dynamiczny rozwój górnictwa węgla kamiennego i brunatnego, soli kamiennej, siarki i surowców skalnych oraz rud miedzi, cynku, ołowiu i żelaza. Od około 1990 roku nastąpił jednak kryzys krajowego górnictwa. Związany on był z niskimi cenami surowców, niską efektywnością krajowych kopalń oraz wzrastającą świadomością ekologiczną. Kryzys ten, w szczególności dotknął kopalnie węgla kamiennego. Proces ciągłej restrukturyzacji kopalń oraz braku inwestycji, w dalszym ciągu skutkuje jej niedofinansowaniem i problemami płynnościowymi.

Obecnie, rosnące ceny węgla oraz pozytywne efekty wielu programów restrukturyzacyjnych wprowadzanych w górnictwie, skutkują poprawą efektywności ekonomicznej tej branży. Spore szanse na rozwój branży wiążane są także z rozpoczynającą się czwartą rewolucją przemysłową. Wiele założeń idei Przemysłu 4.0 dobrze wpisują się w branżę górniczą. Dotyczy to przede wszystkim wzrostu efektywności, redukcji kosztów oraz poprawy bezpieczeństwa pracy. Zakłada się konsolidację systemów oraz integrację zasobów ludzkich ze sterowanymi cyfrowo zasobami maszynowymi. Nowoczesne maszyny mają wykorzystywać bezprzewodowe sieci oraz technologie komunikacyjne i informacyjne. Przedsiębiorstwa będą mogły w pełni kontrolować procesy produkcyjne oraz identyfikować i eliminować wąskie gardła. Nowe maszyny oraz stosowane technologie wykorzystują najnowsze osiągnięcia informatyki, automatyki, robotyki i komunikacji. Przetwarzanie w chmurze, które wydawać się może abstrakcyjne w przypadku kopalń, może stanowić szansę na ich dynamiczny rozwój. Kopalnie przyszłości, aby przetrwać i być rentownymi muszą wykorzystywać modele zawierające zdobycze informatyki, obejmujące magazynowanie, przetwarzanie, archiwizowanie danych w chmurze, prowadzić tam obliczenia (cloud computing), korzystać z różnego typu aplikacji oraz narzędzi informatycznych. Chmura gwarantuje dostęp do danych z każdego miejsca, ułatwia i usprawnia proces zarządzania oraz inne procesy biznesowe [2, 6].

Obecnie coraz częściej mówi się o planach tworzenia inteligentnych kopalń czyli tzw. e-kopalń, które będą wykorzystywać systemy zdalnego sterowania maszynami z powierzchni [2, 6]. E-kopalnie umożliwiają sterowanie i monitorowanie maszyn w oparciu o rozwiązania informatyczne i komunikacyjne. Do ich zadań należą zdalne i lokalne sterowanie, agregacja, transmisja, wizualizacja, archiwizacja i analiza danych, a także generowanie raportów. E-kopalnia zwiększa bezpieczeństwo pracy, gdyż pracownicy są oddaleni od stref niebezpiecznych – w nich pozostają tylko maszyny. Głównym celem inteligentnej kopalni jest optymalizacja jednostkowych kosztów produkcji, dzięki wysokiej efektywności technicznej i ekonomicznej procesów technologicznych, przy jednoczesnym dążeniu do minimalizacji negatywnego wpływu na

środowisko. Inteligentne kopalnie mają zwiększać bezpieczeństwo pracy ludzi, których praca fizyczna będzie ograniczona, a wykorzystywane w szerszy zakresie będą ich umiejętności analityczne. Maszyny mają być sterowane przez człowieka, w początkowych fazach, a w następnych – pracownik ma być już tylko nadzorcą. Obecność pracowników będzie zastępowana przez kamery i sensory. Nowe rozwiązania będą miały także duży wpływ na poprawę poziomu bezpieczeństwa. Ich praca ograniczy do minimum obecność pracowników w strefach niebezpiecznych. Kluczowe znaczenie ma mieć wiedza i kompetencje ludzi, którzy będą pracować w centrach zdalnego sterowania oraz monitorowania maszyn i urządzeń pod ziemią i na powierzchni [2, 6].

W ramach planowanych i zachodzących zmian w górnictwie, coraz częściej rozważa się funkcjonowanie bezzałogowych kopalniach, które mają działać już w niedalekiej przyszłości. Zakłada się także zastosowanie technologii do pozyskiwania energii z węgla bezpośrednio pod ziemią [14].

Przedstawione zamysły, w celu ich realizacji będą oczywiście wymagały zaprzęgnięcia mechanizmów, metod i narzędzi lokalizowanych w podstawowych filarach Przemysłu 4.0. Co istotne, nie wszystkie formułowane wizje będą realne do wprowadzenia w życie, szczególnie w takich warunkach górniczo-geologicznych, w jakich funkcjonują polskie kopalnie węgla kamiennego. Stąd istotne jest by podejmować próby, realizować praktyczne studia przypadków, których zamysłem będzie urealnianie tychże koncepcji, wpisując się jednocześnie w ideę Przemysłu 4.0. Taką właśnie próbę podjęto przy realizacji projektu dedykowanemu efektywności pracy maszyn górniczych.

4. Efektywność pracy maszyn

Swoistym przykładem implementacji idei Przemysłu 4.0 do praktyki funkcjonowania górnictwa węgla kamiennego jest realizowany aktualnie projekt związany z próbą adaptacji metody efektywności całkowitej maszyn (*Overall Equipment Effectiveness - OEE*), w obszar eksploatacji złóż węgla kamiennego przy użyciu kompleksu ścianowego. Geneza projektu tkwiła w artykułowanych potrzebach ze strony zakładów górniczych, w zakresie opracowania innowacyjnych rozwiązań w obszarze zarządzania parkami maszynowymi, a ukierunkowanymi na podnoszenie efektywności produkcji, pod warunkiem jednakże wykorzystywania metod dających możliwie obiektywizowany obraz pracy kompleksów maszynowych. Wybór naukowców Politechniki Śląskiej i specjalistów KHW SA oraz COIG SA skłonił się w kierunku dokonania adaptacji metodyki OEE, wywodzącej się z doświadczeń firmy Toyota i skutecznie wykorzystywanej, jako narzędzie strategii kompleksowego zarządzania utrzymaniem ruchu. Żądanym czynnikiem obiektywizującym ten proces są pomiary automatyki przemysłowej, co nie stanowi standardu w wykorzystywaniu tej metody.

Sama metodyka OEE sprowadza się do precyzyjnej identyfikacji różnego rodzaju strat powstających w czasie pracy maszyny, pogrupowaniu tych strat w warstwy i wyznaczeniu na tej podstawie drzewa wskaźników mających służyć, jako wyznaczniki efektywności. Ideę praktycznego zastosowania metodyki OEE przedstawiono na rysunku 3 [1].

Przyjęta do realizacji wizja, jak się szybko okazało, zaczęła bardzo wyraźnie wpisywać się w zasadnicze filary stojące u podstaw czwartej rewolucji przemysłowej. Niezależnie od sposobu podejścia do idei Przemysłu 4.0, zawsze mówimy o Internecie Rzeczy. W pewnym uproszczeniu i uogólnieniu Internet Rzeczy to model podpięcia do zasobów informacyjnych niemal wszystkiego, dla wzajemnego skomunikowania i wprowadzenia interakcji między podpiętymi zasobami informacyjnymi, tak by w konsekwencji uzyskać

wartość dodaną na poziomach monitorowania, informowania, sterowania, zarządzania.

Dyspozycyjność produkcyjna			T_b
Dyspozycyjność	T_o	Przestoje planowane	$OEE.O = T_o / T_b$
Dostępność	T_d	Przestoje nie-planowane	$OEE.D = T_d / T_o$
Wykorzystanie	T_w	Straty wydajności	$OEE.W = T_w / T_d$
Pełnowartościowość	T_j	Braki	$OEE.J = T_j / T_w$
$OEE = OEE.O * OEE.D * OEE.W * OEE.J = T_j / T_b$			

Rys. 3. Idea wyznaczania drzewa wskaźników OEE

W omawianym rozwiązaniu znamiona te wystąpiły w wielu aspektach, z których najistotniejsze to [1]:

- standardem postępowania dla OEE jest odnoszenie się do konkretnych maszyn. W rozwiązaniu przyjęto zajęcie się całym kompleksem ścianowym, obejmującym przynajmniej kombajn ścianowy, przenośniki ścianowy i podścianowy, kruszarkę oraz obudowę zmechanizowaną, z intencją by powstałe rozwiązanie można było dalej rozwijać przez dołączanie kolejnych kompleksów maszynowych (odstawa pozioma i pionowa).
- wsparcie współczesnej kopalni ze strony IT koncentruje się na wykorzystaniu kilku, w zasadzie rozdzielnych grup oprogramowania. Kluczowymi grupami są oprogramowanie wspierające zarządzanie klasy ERP, oprogramowanie inżynierskie oraz automatyka przemysłowa. Nadmienić należy, że rozdzielność tych grup w dużym stopniu zdeterminowana jest odrębnymi technologiami i architekturami stosowanymi w tych klasach oprogramowania. Budowane rozwiązanie nie przystaje do żadnej z tych grup, a wręcz wykorzystuje bądź tworzy nowe zasoby właściwe dla każdej z tych grup. Podstawowe zasoby danych na których bazuje tworzone rozwiązanie jest dodatkowym wykorzystaniem zasobów automatyki przemysłowej wykorzystywanych w procesie eksploatacji maszyn i urządzeń. Dla uzyskania oczekiwanych jakości informacyjnych niezbędna z kolei jest interakcja z oprogramowaniem inżynierskim, z zakresu miernictwa górniczego. Finalna sfera przetwarzania danych i cała warstwa prezentacyjna mieści się w kanonach oprogramowania właściwego dla ERP (będąc zresztą w interakcji z modułami dedykowanymi produkcji).

Kolejną kluczową podwaliną Przemysłu 4.0 jest wykorzystywanie zasobów i metod przetwarzania (analityki), kwalifikowanych w kategoriach Big Data. W pewnym uproszczeniu, Big Data to zbiory danych (informacji) o dużej objętości, dużej zmienności i różnorodności, które wymagają specyficznych form przetwarzania, by w efekcie stanowić zasób do wspomaganie podejmowania decyzji, odkrywania nowych zjawisk lub optymalizacji procesów. Dokładnie taki obraz pojawił się przy realizowanym projekcie. Obserwacja wskaźników OEE jest celowa i sensowna gdy dotyczy pełnego eksploatacyjnego cyklu życia ściany węglowej – a to najczęściej okres od kilku do kilkunastu miesięcy.

Współcześnie wykorzystywane do eksploatacji maszyny górnicze oferują bogaty arsenał czujnikowania monitorującego proces ich pracy. Przeciętnie to sumarycznie dla maszyn kompleksu ścianowego kilkaset parametrów, z których znakomita większość to

parametry próbkowane w sposób dyskretny, z okresem próbkowania 0,2 – 1 sekundy. Wystarczy wielkości te przez siebie przemnożyć, by mieć świadomość z jak dużym zbiorem danych mamy do czynienia. Ponadto zbiór ten jest szalenie różnorodny bowiem same formaty danych są różnicowane zależnie od maszyny i jej producenta. W konsekwencji dla takiego zasobu należy zastosować gromadzenie go na poziomie hurtowni danych i wykorzystywać metody przetwarzania właściwe dla Big Data. W szczególności dotyczyło to rozwiązania problemów związanych z eliminacją pomiarów wadliwych i nieinterpretowalnych, standaryzacją danych oraz eliminacją nadmiarowości danych dla każdego z parametrów. Całokształt tych działań realizowany jest na poziomie dwu warstw hurtowni danych – danych surowych i danych przetworzonych, gdzie umieszczone są już dla każdego z parametrów przedziały czasowe, właściwe dla poszczególnych warstw strat w znaczeniu OEE. Dopiero wybrane grupy tych przetworzonych danych trafiają do kolejnej bazy danych (już relacyjnej), gdzie odbywa się końcowy proces – naliczania wskaźników drzewa OEE, analiz i prezentacji. Procesy te przebiegają w ramach „standardowej” aplikacji udostępnianej końcowym użytkownikom, mając im dostarczać informacji o stanie efektywności prowadzonych eksploatacji.

Z założenia, docelowo, dostarczany obraz ma operować nie tylko suchymi wskaźnikami, lecz również projekcją trendów, czy też ekonomicznych skutków prowadzonych robót, z możliwością formułowania programów proefektywnościowych. Co istotne, ze względu na różny wpływ poszczególnych gremiów kierowniczych, grup pracowniczych czy brygad na skutki odzwierciedlane drzewem wskaźników OEE, warstwa prezentacyjno-raportowa musi być różnicowana pod kątem potencjalnych odbiorców, jak również kształtowania się wskaźników zależnie od obserwowanych perspektyw czasowych (od czasu bezpośredniej obecności załóg na przodku do pełnej perspektywy kalendarzowej).

Trzecim, wszędzie eksponowanym filarem czwartej rewolucji przemysłowej są wszechobecne powiązania sieciowe. Jak wynika ze skrótowo przedstawionego zarysu rozwiązania – tak również jest przy realizowanym w projekcie prototypie, zaś zakres i obszar tych powiązań ma charakter dotychczas nie występujący w użytkowanych rozwiązaniach informatycznych.

Spadek strat	Dostępność		Wykorz.	Jakość	Czas efekt.	Czas zmian	Skrawy	Urobek	Wzrost wydajności	WOEE
	poza kompleksem	w kompleksie								
	S.DYO1	S.DYO2	S.W	S.Q	T	TZ	Mg			
0%	4:33:02	6:07:29	11:50:54	4:05:31	44:06:09	70:43:05	29,6	14770	0%	62,4%
20%	3:38:26	4:53:59	9:28:43	3:16:25	49:25:32	70:43:05	33,2	16550	12%	69,9%
40%	2:43:49	3:40:29	7:06:32	2:27:19	54:44:55	70:43:05	36,7	18340	24%	77,4%
56%	2:00:08	2:41:42	5:12:48	1:48:02	59:00:26	70:43:05	39,6	19760	34%	83,4%
Średnie dla zmiany										
0%	0:24:49	0:33:24	1:04:38	0:22:19	4:00:34	6:25:44	2,7	1340	0%	62,4%
20%	0:19:51	0:26:44	0:51:42	0:17:51	4:29:36	6:25:44	3,0	1500	12%	69,9%
40%	0:14:54	0:20:03	0:38:47	0:13:24	4:58:38	6:25:44	3,3	1670	25%	77,4%
56%	0:10:55	0:14:42	0:28:26	0:09:49	5:21:51	6:25:44	3,6	1800	34%	83,4%

Rys. 4. Platforma OEE. Przykładowa projekcja wg kryterium „co by było gdyby”, wynikająca z drzewa wskaźników OEE

W konsekwencji, uzyskiwany prototyp mieści się w kategoriach rozbudowanej platformy informatycznej (rys. 4), łączącej logicznie i sieciowo „prawie wszystko”, co

informacyjnie rozgrywa się na przodku węglowym, w fazie jego eksploatacji. Do tego celu wykorzystywane są wyrafinowane narzędzia i środki z obszaru analityki, doprowadzając w konsekwencji do uzyskania nowych jakości informacyjnych z obszaru procesu eksploatacji, udostępnianych drogą internetową. To wszystko zaś predestynuje, by traktować taki produkt już w kategoriach właściwych dla Przemysłu 4.0.

5. Podsumowanie

Patrząc kategoriami historycznymi, to obecnie jesteśmy świadkami narodzin oraz stopniowego krystalizowania się idei i praktyki czwartej rewolucji przemysłowej, znaczonej akronimem „Przemysł 4.0”. Wiele wskazuje na to, że może to być początek globalnej „inteligencji maszynowej”, skutkującej stopniowym zanikaniem bariery człowiek-maszyna.

Przymioty, jakie przypisujemy tej zmianie pozwalają nam obserwować postęp jej krystalizacji oraz określać, jak i gdzie plasujemy się w tym procesie. Przytoczone studium implementacyjności metody OEE, w sektorze wydobywczym, wskazuje, że jesteśmy już nie tylko świadkami lecz również, na razie w pewnym skromnym zakresie, współtworzącymi ten proces. Zaś fakt, że dzieje się to w sektorze uznawanym jako bardzo konserwatywny, wskazuje na nieuchronność i celowość tego procesu.

Realizacja tego typu projektów, w trudnych technicznie warunkach, w kontekście wchodzenia w realia Przemysłu 4.0 ma jeszcze jedną istotną zaletę: uzmysławia skalę i poziom naszej gotowości technicznej, technologicznej i mentalnej do przekuwania określonych wyzwań w praktykę. Problemy, jakie napotykamy w jednym przedsięwzięciu, mogą się stać przyczynkiem do ich uniknięcia w kolejnych projektach. To więc również asumpt ku temu, by określić, na jakie aspekty technologiczne czy badawcze dziś zwrócić baczniejszą uwagę, aby wiele pomysłów i koncepcji wpisujących się w Przemysł 4.0, zyskało szansę na przekształcenie się w pełnowartościowy, użyteczny produkt.

Artykuł jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr PBS3/B6/25/2015 pt. „Wykorzystanie metody efektywności całkowitej dla poprawy efektywności pracy maszynowych kompleksów ścianowych w procesie eksploatacji węgla kamiennego”, realizowanego w latach 2015-2018 i finansowanego przez NCBiR.

Literatura

1. Brodny J., Stecula K., Tutak M.: Application of the tpm strategy to analyze the effectiveness of using a set of mining machines. SGEM2016 Conference Proceedings, Book1 Vol. 2, 65-72 pp. DOI: 10.5593/SGEM2016/B12/S03.009
2. Dudała J.: Górnictwo 4.0 – czyli zwiększać efektywność i konkurencyjność krajowych producentów węgla, www.gornictwo.wnp.pl, 2017.
3. Fertsch M., Cyplik P., Hadaś Ł.: Logistyka produkcji. Teoria i praktyka. ILiM, 2010.
4. Gracel J., Stoch M., Biegańska A.: Inżynierowie Przemysłu 4.0 (Nie)gotowi do zmian?, Astor Publishing, Kraków 2017.
5. Jezierski A., Leszczyńska C.: Historia gospodarcza Polski, Wydawnictwo Key Text, Warszawa 2003.
6. KGHM. Inteligentna kopalnia to dzisiaj przymus. Gazeta Lubuska, www.gazetalubuska.pl

7. Kopp R.: Przemysł 4.0 i jego wpływ na przemysł kuźniczy. *Obróbka Plastyczna Metali* Vol. XXV, Nr 1, 2014, str. 75–85.
8. Lee E.: *Cyber Physical Systems: Design Challenges*, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley, 2008.
9. Michalski M.: *Od I do IV Rewolucji Przemysłowej, Człowiek w Cyberprzestrzeni 1/2017*, Warszawa 2017.
10. Paprocki W.: *Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej*. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Gdańsk 2016.
11. Popczyk J.: *Postprzemysłowa energetyka. Piąta fala innowacyjności*, 2009.
12. Rifkin J.: *Trzecia Rewolucja Przemysłowa. Jak lateralny model władzy inspirowane całe pokolenie i zmienia oblicze świata*, Wydawnictwo Sonia Draga, Katowice 2012.
13. Szymańska J.: *Samodiagnostyka dzięki Internetowi Rzeczy*. *Magazyn Przemysłowy*, www.magazynprzemyslowy.pl, 2016.
14. Waydel P.: *Bezzałogowa kopalnia, czyli podziemne procesowanie węgla*, *Eurogospodarka* nr 2, www.eurogospodarka.eu, 2010.
15. <http://nettg.pl/news/142873/resort-rozwoju-polska-platforma-przemyslu-w-przyszlym-roku> (14.01.2017 r.) 2017.
16. <http://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/>, 2017.
17. www.kierunekfarmacja.pl/artukul,27997,przemysl-4-0.html, *Przemysł 4.0. Inteligentne urzędnicy będą się ze sobą komunikować przez Internet i koordynować swoje działania*, (22-12-2017), 2016.
18. www.nextews.com/704c1079/

Mgr Kinga STECUŁA

Dr hab. inż. Jarosław BRODNY, prof. nzw. w Pol. Śl.

Instytut Inżynierii Produkcji, Politechnika Śląska

41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28

Tel. (032) 277 73 11, fax. (032) 277 73 62

e-mail: kinga.stecula@polsl.pl

jaroslaw.brodny@polsl.pl

Mgr inż. Krzysztof PUZIK

COIG S.A.

40-065 Katowice, ul. Mikołowska 100