



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk

Główne kierunki rozwoju technicznego i technologicznego w obszarze górnictwa

prof. dr hab. inż. Herbert Wirth PWr

dr hab. inż. Michał Kopacz prof. IGSMiE PAN

mgr inż. Wojciech Kaczan PWr

Kraków, dn. 30.06.2021

Plan prezentacji

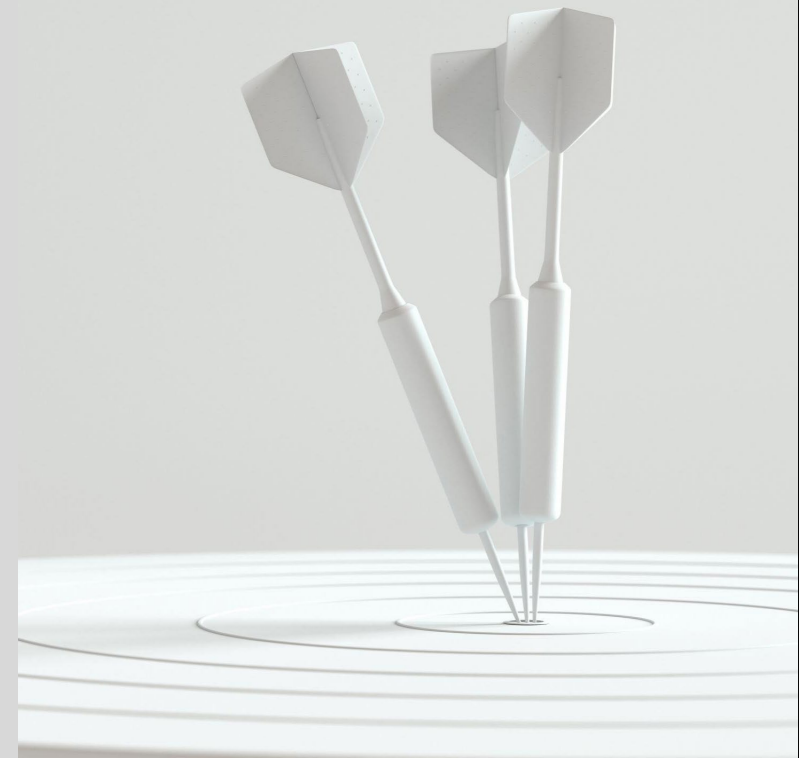
1. Górnictwo w ujęciu procesowym
2. Procesy główne górnictwa
3. Wyzwania technologiczne procesów głównych
4. Wyzwania techniczne procesów głównych
5. Wyzwania zarządcze procesów głównych
6. Wyzwania społeczne, ekonomiczne i środowiskowe procesów głównych
7. Przykłady
8. Trendy technologiczne
9. Podsumowanie
10. Wnioski
11. Źródła informacji



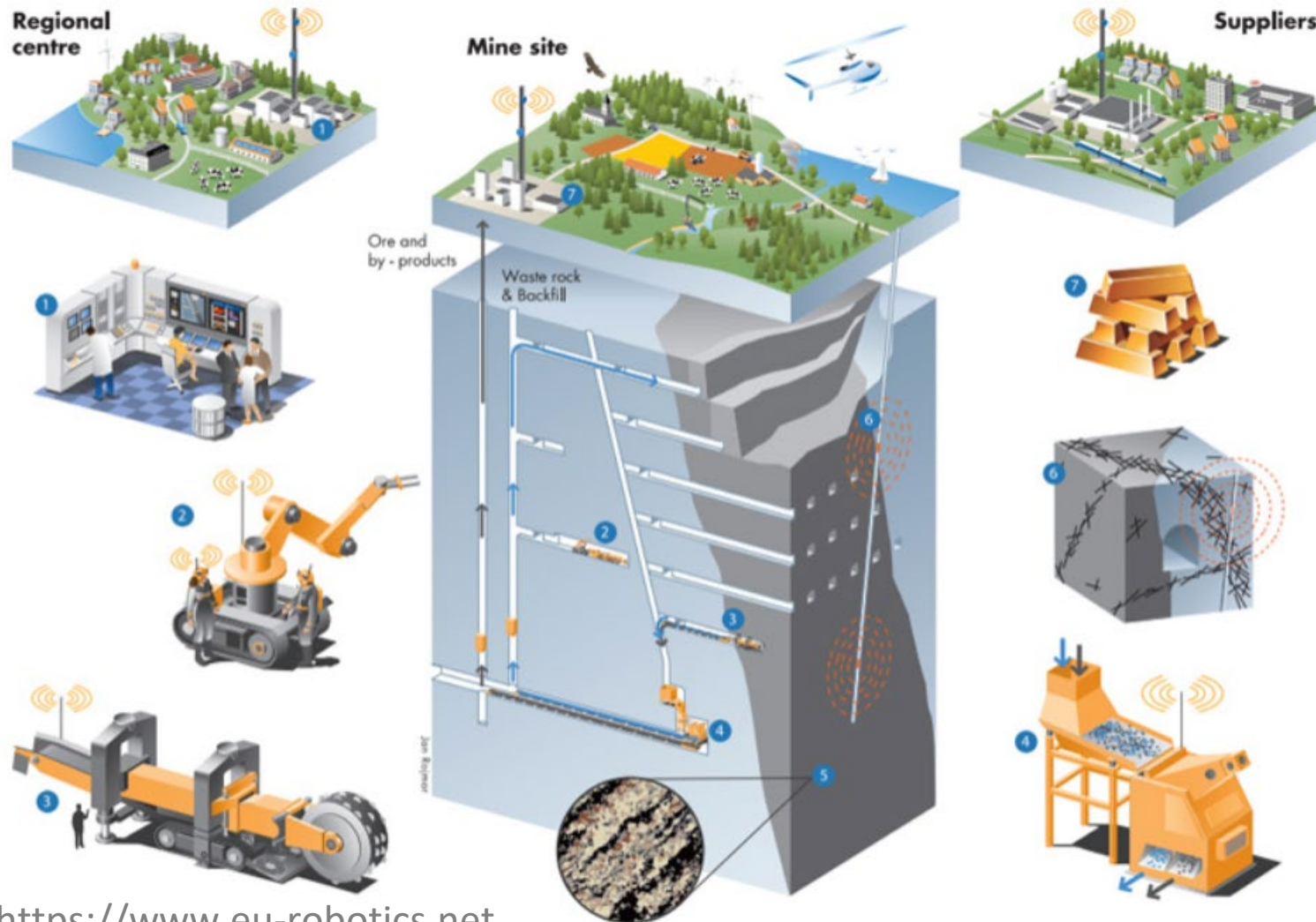
Mining.com, evilrobotgames.com, PiG

Cele rozwojowe górnictwa

- 1) Zabezpieczenie potrzeb społecznych na surowce przy zachowaniu zasad zrównoważonego rozwoju
- 2) Generowanie bezpiecznego miejsca pracy
- 3) Redukowanie ryzyka
- 4) Tworzenie atrakcyjnego miejsca pracy w górnictwie
- 5) Zwiększenie produktywności aktywów oraz efektywności ekonomicznej
- 6) Redukcja kosztów udostępnienia aktywów
- 7) Atrakcyjnego obszaru inwestycyjnego



Kopalnia inteligentna



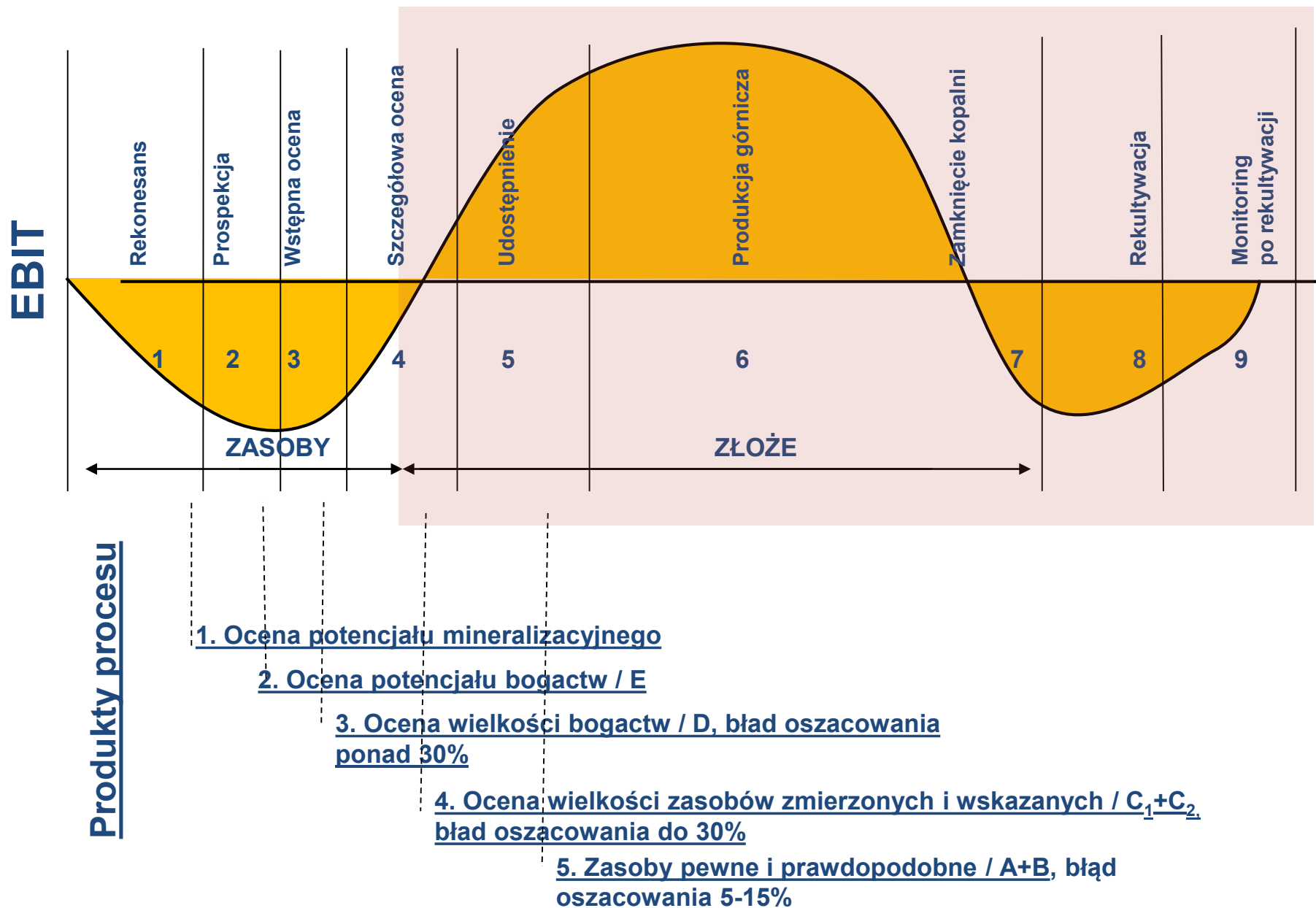
Inteligentna kopalnia to kopalnia bezpieczna w której wkład pracy fizycznej człowieka jest ograniczony a wykorzystywany jest jego intelekt

<https://www.eu-robotics.net>

Smart Mine of the Future report

Główne kierunki rozwoju technicznego i technologicznego w obszarze górnictwa

Cykl życia projektu geologiczno-górniczego

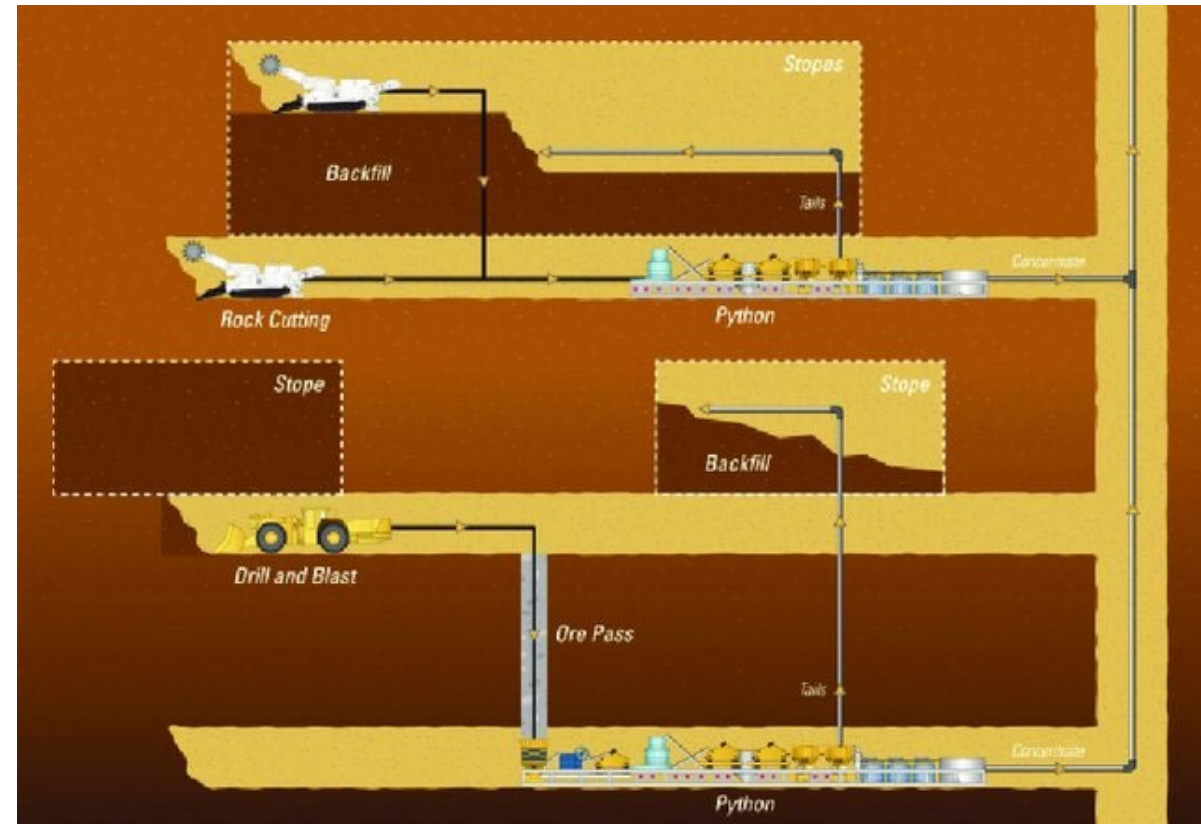


Wyzwania technologiczne procesów głównych

- **Zasadniczym wyzwaniem** technologicznym górnictwa jest "**kopalnia inteligentna**" w której stosowane są sprawdzone technologie górnicze (mechaniczne urabianie, hydro- i bioługowanie) z "oprzyrządowaniem" cyfrowym bezobsługowym (autonomicznym) z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (uczenie maszynowe).
- **Produktami aktualnie** realizowanych procesów w górnictwie (**kopalnia w czasie rzeczywistym**) to: zdalnie sterowana produkcja, bezobsługowy proces produkcyjny, procesowo zorientowana produkcja, autonomiczność wszystkich maszyn oraz kopalniana sieć informatyczna.
- **Wykorzystanie technologii** do poprawy wydajności i uzysków, optymalizacji utrzymania ruchu, redukcji kosztów oraz wzrostu produktywności i efektywności wykorzystania wyposażenia poprzez zastosowanie podziemnej sieci WiFi i 5G.
- **Wykorzystanie zaawansowanych technologii** do zwiększenia uzysków i produkcji poprzez zastosowania nowoczesnych narzędzi i wglądu do dziennych planów produkcji, specjalnie powołanego zespołu obejmującego metalurga, operatora zakładu przeróbczego i utrzymania ruchu (współpraca i kooperacja).

Wyzwania technologiczne procesów głównych

- **Podziemna** prekoncentracja
- **Ekstrakcja** metali z ubogich i głęboko zalegających złóż pierwotnych i wtórnych (hydro- i biometalurgia).
- **SAG** i wielkogabarytowe flotowniki do przerobu rud.
- **Wykorzystanie** likwidowanej infrastruktury górniczej dla innych celów.
- **Górnictwo ciepła** (HM) nowoczesne technologie głębienia otworów pow. 5km



Schemat podziemnego procesu wzbogacania (Dominy, 2010)

Wyzwania techniczne procesów głównych

- **Zastosowanie techniki cyfrowej** do analizy łańcucha wartości i wykorzystania doświadczenia poprzez automatyzację wyposażenia, dynamicznego modelowania łańcucha dostaw, optymalizację harmonogramu i kontrola oraz optymalizacja wydajności (**górnictwo cyfrowe**).
- **Mapa technologiczna górnictwa cyfrowego** obejmuje 4 etapy: włączenie nowoczesnych technologii, ciągła automatyzacji operacji, górnictwo cyfrowe w czasie rzeczywisty oraz elastyczny łańcuch wartości.
- **Wdrożenie strategii** utrzymania ruchu, digitalizacja planów utrzymania ruchu oraz cyfrowa komunikacja z operatorami utrzymania ruchu.
- **Utworzenie zintegrowanego centrum operacyjnego** (one control room) działające w czasie rzeczywistym poprzez zbieranie informacji z zainstalowanych sensorów w całym ciągu produkcyjnym.

Wyzwania techniczne procesów głównych

- **Podstawowym wyzwaniem** dla górnictwa jest wdrożenie technik realizujących ideę sztucznej inteligencji we wszystkich procesach z tym, że w przemyśle wydobywczym będzie to uczenie maszynowe obejmujące ustalenie prognozy i działań (uczenie nadzorowane i nienadzorowane).
- **Górnictwo Cyfrowe** w czasie rzeczywistym w ujęciu procesowym obejmuje wykorzystanie obecnych technik “oczujnikowanych” działających w sieci bezprzewodowej.

Wyzwania techniczne procesów głównych

W zakresie procesów zarządczych, zastosowanie cyfrowego systemu B2B, zintegrowana architektura cyfrowa, wykorzystanie cyfrowych rozwiązań, wykorzystanie analitycznego centrum doskonałości obejmującego ekspertów jako wsparcie procesów głównych.

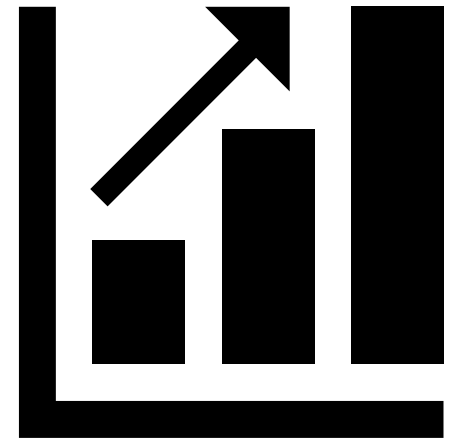
TOP6 trendy poprawiające produktywność górnictwa:

- 1) *Automatyzacja*
- 2) *Śledzenie mobilności pracowników.*
- 3) *Technologie GPS.*
- 4) *Cyfrowe bliźniaki.*
- 5) *Inteligentne operacje (OI).*
- 6) *Monitoring bezprzewodowy.*

Wyzwania techniczne procesów głównych

Kopalnia inteligentna, **6 efektów** twojej kopalni cyfrowej:

- 1) redukcja kosztów operacyjnych,
- 2) usprawnienie automatyzacji operacji,
- 3) utrzymanie bezpieczeństwa załogi,
- 4) monitoring aktywów operacyjnych,
- 5) zapewnienie długoterminowego utrzymania krytycznych aktywów,
- 6) zapewnienie bezpieczeństwa danych.



Wyzwania zarządcze procesów głównych

- **Doskonałość cyfrowa** w górnictwie - wdrożenie technologii obejmującą cyfryzację, analitykę i automatyzację w całej organizacji jako kluczowe dla zwiększenia produktywności, bezpieczeństwa, satysfakcji klienta i lepszego zarządzania łańcuchem dostaw i cyberbezpieczeństwo danych.
- **Wdrożenie zarządzania** jako ciągłego systemu dającą możliwość włączenia przedsiębiorstwa do realizacji potencjałów oferowanych przez nowe technologie.
- **Wdrożenie Lean management** w celu zwiększenia efektywności produkcji i Six Sigma w celu redukcji problemów i zmienności procesu.
- **Gruntownie zbadanie** kultury i zdolności organizacji do osiągnięcia większej elastyczności i wrażliwości na osiągnięcie wartości w adaptowaniu nowoczesnych technologii.

Wyzwania zarządcze procesów głównych

Górnictwo jest zorientowane na lepszą, tańszą technologię i metodę wydobywczą.

Z punktu biznesowego możemy wyróżnić trzy koncepcje rozwoju biznesu:

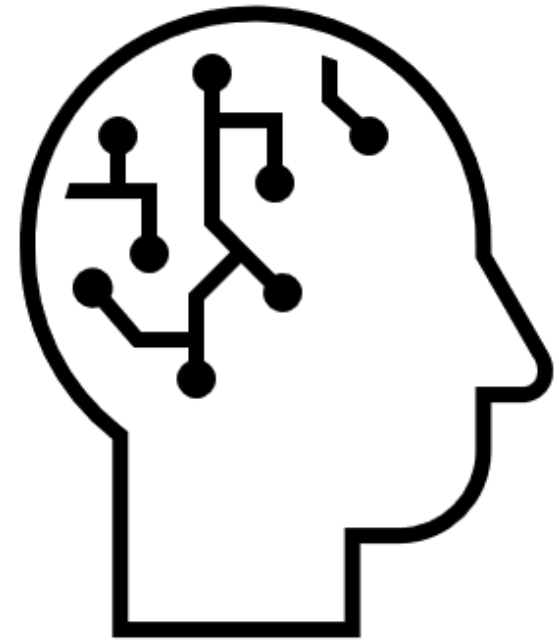
- 1) **corowy** - doskonałość operacyjna poprzez ciągłe doskonalenie procesów takich jak eksploracja czy efektywność produkcyjną.
- 2) **przyległy** - zastosowanie nowych technologii poprzez zastosowanie wczesnej detekcji bogatszych złóż jako wzrastające wyzwanie środowiskowe związane z głębokością, zalegających w strefach arktycznych czy położonych na obszarach wrażliwych.
- 3) **transformacyjny** - idee przełomowe, powstające we współpracy między firmami lub branżami i adaptacja nowoczesnego podejścia do redukcji ryzyka i kosztów.

Zmapowane źródła wartości wzdłuż łańcucha wartości

Łańcuch wartości	Planowanie		Kontrola		Niezawodność	
Górnictwo	1)	Planowanie produkcji w czasie rzeczywistym	1)	Alokacje floty (wzdłuż i wewnątrz obszarów)	1)	OEE poprawa przez eliminację defektów opartych na danych
	2)	Wdrożenie krótkoterminowego planowania i harmonogramowanie	2)	Ocena produkcji	2)	Ciągle doskonalenie strategii aktywów OEE
Przeróbka	1)	Spojrzenie holistyczne wydobytcie – przeróbka	1)	Przewodnik operacyjny i regulacje w czasie rzeczywistym dla operatorów instalacji	1)	OEE poprawa przez eliminację defektów opartych na danych
	2)	Planowania działań i harmonogramowanie			2)	Ciągle doskonalenie strategii aktywów OEE
Logistyka	1)	System harmonogramowania instalacje –	1)	Koordinacja przepływu materiałowego	1)	OEE poprawa przez eliminację defektów opartych na danych
	2)	Planowanie logistyki i harmonogramowanie	2)	Transport i koordynacja interfejsu portu	2)	Ciągle doskonalenie strategii aktywów OEE
Utrzymanie ruchu	1)	Planowanie utrzymania ruchu (np. proces naprawy) i harmonogramowanie	1)	Stan monitorowanych aktywów	1)	Zarządzanie stanem aktywów
	2)	Spojrzenie holistyczne na flotę	2)	Realizacja utrzymania ruchu i koordynacja	2)	Działanie i utrzymanie małych i średnich dostawców i koordynacja
Wsparcie i inne funkcje	1)	Strategia długoterminowych działalności	1)	Scentralizowana kontrola bhp	1)	Koordinacja systemu zarządzania bezpieczeństwem
	2)	Planowanie wykorzystania mediów	2)	Planowanie napraw i zarządzanie ich wykonywaniem		
Wszystkie funkcje	1)	Planowanie zintegrowane	1)	Systemy kontroli zintegrowanej i podejmowanie decyzji	1)	Standaryzacja systemów niezawodności
	2)	Budowanie zdolności planowania cyfrowego			2)	Centrum wiedzy o niezawodności
	1)	Użycie analityki do identyfikacji możliwości poprawy	1)	Użycie analityki do identyfikacji możliwości poprawy	1)	Użycie analityki do identyfikacji możliwości poprawy
	2)	Optymalizacja łańcucha wartości zintegrowanym planowaniem + kontrola transportu i danych utrzymania ruchu	2)	Optymalizacja łańcucha wartości zintegrowanym planowaniem + kontrola transportu i danych utrzymania ruchu	2)	Optymalizacja łańcucha wartości zintegrowanym planowaniem + kontrola transportu i danych utrzymania ruchu

Wyzwania zarządcze procesów głównych

Wykorzystanie uczenia maszynowego (ML) do odpowiedzi na scenariusze rynkowe pomocne w unikaniu problemów finansowych wyników sprzedaży w wariancie przed optymalizacją i po niej.



Wyzwania społeczne, ekonomiczne i środowiskowe procesów głównych

- **Zastosowanie MPI** do pomiaru produktywności
- **Inflacja geologiczna** (masa urobku wzrasta), wzrasta zużycie wody (brak wody technicznie nadającej się do wykorzystania), coraz większe trudności z uzyskaniem koncesji.
- **Brak akceptacji** społecznej efekt NIMBY, BANANA
- **Wyzwania dla organizacji** innowacyjnej to: wzmacnianie komunikacji, zrozumienia i przekonania o innowacyjności, wsparcie formalnych narzędzi dla zrozumienia potrzeby innowacyjności, rozwój talentów i umiejętności, rola modelowania.
- **On-line** systemy monitorowania środowiska na każdym etapie projektu górniczego na potrzeby zarządcze i społeczne.
- **Zredukowanie** co roku kilkaset milionów ton CO₂ (GHG) poprzez wdrożenie kosztowo efektywnych rozwiązań oraz inwestycje w OZE

Wyzwania społeczne, ekonomiczne i środowiskowe

- **Własne** źródła energii odnawialnej na bazie fotowoltaiki (Rio Tinto), elektrowni wodnej (Southern Copper), wiatrowej (Antofagasta i GlencoreXstrata), CSP (Pampa Elivira i Gabriela Mistral).
- **Ograniczony dostęp** do kapitału - Streaming i royalty sposób finansowania nakładów inwestycyjnych.
- **Aspekty środowiskowe** i ich monitorowanie jest istotnym elementem wpływającym na wartość firmy górniczej - wdrożenie technik LCA oraz LCC i LCIA w projekcie geologiczno-górniczego.
- **Zużyte** powietrze źródłem energii użytkowej.
- **Recykulacja** wody w obrębie procesów i wodonośca.
- **Akceptacja** społeczna nowych technologii w kopalni oraz bliższym i dalszym otoczeniu.

Wyzwania społeczne, ekonomiczne i środowiskowe

- **Dialog społeczny** - kooperacja i współpraca w redukcji ryzyk (wczesne identyfikowanie konfliktów oraz zapobieganie sytuacjom kryzysowym w górnictwie) i rozwój i innowacja (pogłębienie zrozumienia potrzeb i wzajemnego oddziaływania interesariuszy na siebie i poszukiwanie wspólnych rozwiązań problemów).
- **Strategie** CSR i raportowania ESG
- **Tworzenie** centrów doskonałości na etapie operacyjnym jak i taktycznym



Przykłady

Rio Tinto - Pilbara. Zachodnia Australia

- AHS Autonomiczne wozy odstawcze.

Dudee Precious Metals - Chelopech, Bułgaria

- Bezprzewodowa sieć do śledzenia wyposażenia i załogi.

Goldcorp- James Bay, Quebec. Kanada

- Bezprzewodowa sieć (WiFi) w wyrobiskach podziemnych oraz lokalizuje ludzi i sprzęt.

Vale - Worthinton, Ontario. Kanada

- one control room, bezprzewodowe czujniki ruchu, wibracji, ID kontrola, kontrola bram, temperatury i gazu oraz sterowanie wentylacją.

KGHM - Sierra Gorda. Chile

- one control room ciągu technologicznego, ponad 14000 czujników bezprzewodowych procesu produkcji koncentratu Cu i Mo.

KGHM - ZG Polkowice. Polska

- One control room, bezprzewodowa łączność, identyfikacja ludzi w strefach zagrożeń - czujniki osobiste.

Carmichael coal project

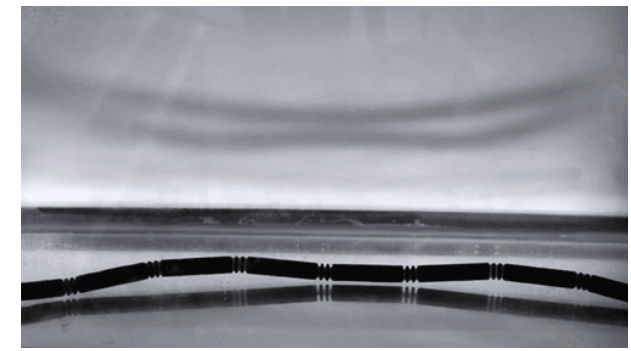
- sieć bezprzewodowa.

Hatch

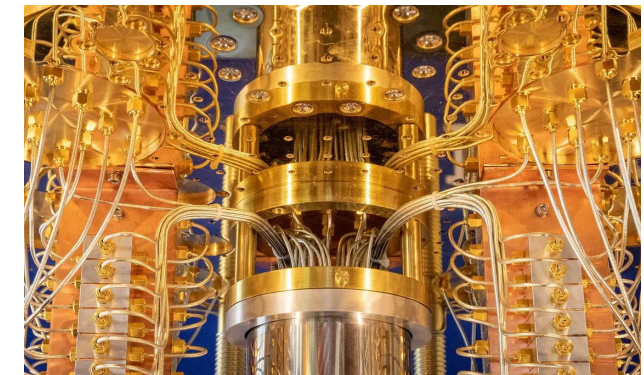
- Inteligentny górniczy cykl.

Technologiczne trendy

- **Następny poziom procesów automatyzacji** - przemysłowe IoT/Roboty/Roboty współpracujące/automatyzacja procesów robotycznych.
- **Procesy wizualizacji** - cyfrowe wieże/drukarki 3D i 4D
- **Przyszła łączność** - 5G i łączność IoT
- **Infrastruktura rozproszona** - przetwarzanie w chmurze i na brzegu sieci.
- **Następna generacja komputerów** - komputery kwantowe/chipy neuromorficzne (ASIC- application specific integrated circulus)
- **Stosowane AI** - wizja komputerowa, przetwarzanie języka naturalnego/technologia mowy.
- **Programowanie przyszłości** - oprogramowanie 2.0
- **Architektura zaufania** - bezpieczeństwo zero zaufania/blockchain
- **Biorewolucja** - biomika/biomaszyny/biokomputery/rescalling
- **Materiały następnej generacji** - nanomateriały/grafen/materiały 2D/nanocząstki dwusiarczku molibdenu.
- **Przyszłość czystych technologii** - fuzja nuklearna/rozkład inteligentny/dozowanie inteligentne/baterie/przechowanie/produkcja energii węglowo neutralnej.



Druk 4D, źródło: wiki



Komputer kwantowy, źródło: guardian



Spot – robot, źródło: boston dynamics

Podsumowanie

- Prezentujemy własne doświadczenia oraz wiedzę zgromadzoną w kilkudziesięciu raportach firm.
- Skoncentrowaliśmy się na procesach głównych, które tradycyjnie tworzą wartość dodaną, ale wspomagane są procesami zarządczymi, społecznymi, ekonomicznymi i środowiskowymi realizującymi ideę zrównoważonego rozwoju.
- Zagadnienia społeczne są fundamentalne dla rozwoju górnictwa a zagadnienia ekonomiczne pozwalają na zabezpieczenie w surowcowe społeczeństwa oraz stworzenie konkurencyjności górnictwa w pozyskaniu kapitału dla jego rozwoju.
- Górnictwo bazuje na sprawdzonych technologiach wyposażonych w techniki cyfrowe a docelowo wdrażana jest idea inteligentnej kopalni oraz wykorzystanie sztucznej inteligencji.
- Prezentowana wizja górnictwa przyszłości jest wyzwaniem technicznym, technologicznym i społecznym, którego powinniśmy się podjąć by stworzyć nowoczesny przemysł surowcowy. Prezentowane zagadnienia były przedstawione w układzie procesowym gdzie np. wyniki procesu rozpoznania geologicznego są danymi wejściowymi do procesu udostępnienia złoża obejmującego planowanie, wykonawstwo oraz ramp up.

Wnioski

- Zgodnie z celami, światowe górnictwo przechodzi w swoim myśleniu w wykorzystanie w większym stopniu cyfryzacji procesów oraz ich inteligentne zarządzanie w oparciu o doskonalenie wymagań w stosunku do załogi.
- Wykorzystując zasoby koncentruje się na zrównoważony rozwój, monitorując jego aspekty w kontakcie ze społeczeństwem lokalnym.
- Górnictwo podlega silnej transformacji w kierunku wykorzystania sztucznej inteligencji, w tej chwili w szczególności w procesach zarządczych.
- Są zaawansowane prace na etapie uczenia maszynowego.
- Względy społeczne począwszy od interesariusza wewnętrznego jak i zewnętrznego wymagają kooperacji między tymi podmiotami jak i dla poprawy produktywności tworzy się zespoły interdyscyplinarne w organizacji jak i poza nią.
- Każde wdrożenie technik powinno być rozpatrywane w całym cyklu procesów górniczych.

Wykorzystana literatura

- 1) Behind the Mining Productivity Upswing: Technology - Enabled Transformation. 2018. McKinsey & Company.
- 2) The Executive's Primer for Artificial Intelligence (AI). 2019. McKinsey & Company.
- 3) A Dialogue for Step Change in Mining. Hatch.
- 4) Decarb Europe. Connecting technologies for cleaner future. 2017. European Copper Institute.
- 5) Intelligent Mining. Delivering Real Value. 2018. Deloitte.
- 6) Innovation in mining Australia. Monitor Deloitte. 2016. Create. Change. Illuminate.
- 7) Innovation in Mining. Canada. 2013. Monitor Deloitte.
- 8) Innovation in Mining. Canada PDAC. 2015. Monitor Deloitte.
- 9) Innovation in Mining. Latin America 2017. Monitor Deloitte.
- 10) The digital revolution. Mining starts to reinvent the future. 2017. Deloitte.
- 11) Strategia KGHM 2009-2015.
- 12) Inside a mining company's AI transformation. 2020. McKinsey & Company.
- 13) ROC in mining :Unlocking their full potential. 2020. McKinsey & Company.
- 14) Mining: Why digital innovation is vital? 2021. Bentley Nevada.
- 15) Dominy S.C., Gray A.H., Daffern T.J., Development of underground gold processing plant, 2010



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk

Dziękuję za uwagę i zapraszam do dyskusji

prof. dr hab. inż. Herbert Wirth PWr
dr hab. inż. Michał Kopacz prof. IGSMiE PAN
mgr inż. Wojciech Kaczan PWr

Kraków, dn. 30.06.2021