

LIÊN HIỆP CÁC HỘI KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT VIỆT NAM  
HỘI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ MỎ VIỆT NAM



HỘI THẢO KHOA HỌC  
**CHUYỂN ĐỔI SỐ  
DOANH NGHIỆP MỎ**



**NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG**  
Hà Long, tháng 9 năm 2022



- 9. Thực hiện chuyển đổi số tại Công ty TNHH MTV Nhôm Lâm Đồng - TKV** 48  
*Vũ Minh Thành, Nguyễn Văn Phòng, Nguyễn Đức Thái,  
 Võ Văn Hiếu, Nguyễn Văn Tình, Hồ Thanh Tùng*
- 10. Về chuyển đổi số, công nghệ số và các phương pháp chuyển đổi số trong doanh nghiệp** 52  
*TS. Lưu Thị Thu Hà, TS. Đồng Thị Bích*  
 Trường Đại học Mở - Địa chất
- 11. Kinh nghiệm quốc tế về chuyển đổi số trong doanh nghiệp nhỏ** 57  
*GS.TS. Võ Chí Mỹ*  
 Hội Khoa học và Công nghệ nhỏ Việt Nam  
*TS. Nguyễn Quốc Long, ThS. Võ Ngọc Dũng*  
 Trường Đại học Mở - Địa chất
- 12. Chuyển đổi số trong doanh nghiệp khai thác mỏ Việt Nam - Xu hướng thuận lợi, thách thức và giải pháp thực hiện** 62  
*TS. Giang Quốc Khánh, NCS. Vũ Thị Duyên, TS. Lành Thị Hòa*  
 Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh - Email: quockhanh@edu.misis.ru  
*TS. Hoàng Thị Bến*  
 Trường Đại học Ngoại thương
- 13. Một số định hướng về chuyển đổi số trong Doanh nghiệp nhỏ ở Việt Nam từ kinh nghiệm của thế giới** 73  
*ThS. Nguyễn Bảo Linh; TS. Vũ Kim Hùng; TS. Đào Duy Anh*  
 Viện KH và CN Mỏ - Luyện kim  
 Email: mineralvimluki@gmail.com
- 14. Kinh nghiệm ứng dụng chuyển đổi số trong thiết kế nhà máy tuyển than** 80  
*Bùi Huyền Trang, Trần Tiến Huệ*  
 Công ty CP Tư vấn Đầu tư mỏ và công nghiệp - Vinacomin
- 15. Ứng dụng công nghệ số trong ngành luyện kim Việt Nam nhìn từ kinh nghiệm của thế giới** 86  
*Đỗ Văn Quảng, Đào Duy Anh*  
 Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim  
 (\*)Email: dovanquang@vimluki.vn
- 16. Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu phục vụ chuyển đổi số công tác quản lý, điều hành sản xuất cấp công trường phân xưởng thuộc các lĩnh vực sản xuất của TKV** 93  
*TS. Phan Văn Việt, TS. Nhữ Việt Tuấn, TS. Dương Đức Hải*  
 Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin



# KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VỀ CHUYỂN ĐỔI SỐ TRONG DOANH NGHIỆP MỎ

GS.TS. VÕ CHÍ MỸ

Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam

TS. NGUYỄN QUỐC LONG, ThS. VÕ NGỌC DŨNG

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

## Tóm tắt

Chuyển đổi số là xu thế tất yếu của các ngành kinh tế quốc dân, trong đó có công nghiệp khai thác khoáng sản. Quá trình chuyển đổi số bao gồm nhiều sự thay đổi trong văn hoá công nghiệp, chiến lược và mô hình sản xuất, kinh doanh. Báo cáo trình bày hiện trạng quá trình chuyển đổi số trong các doanh nghiệp khai thác mỏ trên thế giới, đặc biệt trong các nước công nghiệp mỏ phát triển. Khả năng ứng dụng các nền tảng công nghệ 4.0 như điện toán đám mây, dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo, internet vạn vật, v.v... trong các nội dung chuyển đổi số được phân tích, đánh giá. Kinh nghiệm của thế giới cung cấp thông tin nhằm đánh giá cơ hội và thách thức đối với công nghiệp mỏ Việt Nam trong hành trình chuyển đổi số quốc gia.

**Từ khóa:** Chuyển đổi số mỏ, AI, IoT, dữ liệu lớn, điện toán đám mây, đánh giá trưởng thành số.

## 1. Chuyển đổi số là xu thế tất yếu của thế giới

Trong hơn 30 năm qua, thế giới đã trải qua ba giai đoạn công nghệ liên quan đến kỹ thuật số. Giai đoạn thứ nhất, từ năm 1985 đến năm 2000 gắn liền với quá trình số hoá, chuyển các dữ liệu dạng tương tự sang dạng số. Thời kỳ thứ hai từ năm 2000 đến năm 2015 là quá trình ứng dụng kỹ thuật số trong các quy trình công nghệ và nghiệp vụ nhằm nâng cao năng suất và hiệu quả. Từ năm 2016 đến nay, thế giới đang ở trong làn sóng chuyển đổi số là quá trình thay đổi tư duy, văn hoá, phương thức tổ chức, quản lý, qui trình sản xuất, kinh doanh, v.v... từ xã hội thực lên không gian số. Nếu coi sự vận hành của xã hội là con sâu thì quá trình số hoá và ứng dụng số của hai làn sóng đầu chỉ nhằm mục đích cho con sâu bò nhanh hơn, nghĩa là để nâng cao năng suất và hiệu quả lao động thì chuyển đổi số là quá trình lột xác con sâu thành con bướm. Chuyển đổi số là một cấu phần của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0). Chuyển đổi số được hình thành từ khi có sự giao thoa của bốn nền tảng công nghệ tiêu biểu là điện toán đám mây, dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo và internet vạn vật. Gần đây, chuỗi khối (blockchain) cũng

được coi là công cụ hỗ trợ quá trình chuyển đổi số. Từ kinh nghiệm và thành tựu của chuyển đổi số trong tất cả các lĩnh vực từ chính phủ số, kinh tế số và xã hội số, thế giới coi chuyển đổi số là xu thế tất yếu. Nhiều tập đoàn công nghiệp, đơn vị sản xuất, kinh doanh đã đề ra các khẩu hiệu như: “chuyển đổi số: tồn tại hay không tồn tại”, “chuyển đổi số hay là chết”, v.v... thể hiện sự quyết tâm thực hiện chuyển đổi số và coi đó là xu thế tất yếu của xã hội tương lai [14, 15]. Do tiếp cận chuyển đổi số chậm, nhiều tập đoàn kinh tế lớn đã bị phá sản, trong khi nhiều đơn vị nhỏ mới nổi nhưng tận dụng cơ hội nhanh hơn đã vươn lên với năng suất và hiệu quả sản xuất kinh doanh vượt trội và nhanh chóng chiếm lĩnh thị trường. Chuyển đổi số đã biến thành ngữ “cá lớn nuốt cá bé” thành “cá nhanh nuốt cá chậm”. Từ khi có chuyển đổi số, bản đồ năng lực các tập đoàn sản xuất, kinh doanh thế giới đã thay đổi hẳn kể cả các tập đoàn, các công ty hoạt động trong lĩnh vực khai thác khoáng sản. Tùy thuộc vào loại hình khai thác lộ thiên, hầm lò, khai thác dầu khí trên đất liền hay trên biển mà các công đoạn đều có những đặc thù về công nghệ, đặc điểm dữ liệu trong các điều kiện khác nhau. Vì vậy, không có một nguyên mẫu nào cho các



tập đoàn, công ty khai thác mỏ, đặc điểm mọi mặt của đơn vị là cơ sở để lựa chọn chiến lược và qui trình chuyển đổi số phù hợp.

## 2. Chuyển đổi số trong doanh nghiệp mỏ

Tuy không có nguyên mẫu cụ thể nào cho các doanh nghiệp mỏ, tuy vậy, từ kinh nghiệm chuyển đổi số của các tập đoàn, các công ty khai thác mỏ trên thế giới, có thể khái quát lộ trình chung bao gồm ba bước chính như sau [1, 5, 10]:

*Bước 1.* Nhận thức, tư duy, tâm huyết của lãnh đạo đơn vị là điều kiện tiên quyết. Ý chí của người đứng đầu truyền khát vọng và quyết tâm cho cán bộ cấp dưới và các phòng ban.

*Bước 2.* Xây dựng chiến lược và kế hoạch hành động. Xác định hiện trạng sản xuất kinh doanh của mỏ; xác định chiến lược và mô hình phát triển của mỏ trong môi trường số; xây dựng kế hoạch và lộ trình phù hợp với điều kiện thực tế.

*Bước 3.* Xác định công nghệ số chủ yếu trong lĩnh vực hoạt động của mỏ và các nền tảng số cần có để hỗ trợ quá trình chuyển đổi số. Xây dựng năng lực số gồm đào tạo và đào tạo lại nhân lực, hình thành văn hoá với mô hình hoạt động mới.

Chuyển đổi số là sự thay đổi văn hoá công nghiệp, thay đổi nhận thức và tư duy tổ chức sản xuất, quản lý doanh nghiệp mỏ. Vì vậy, giám đốc đơn vị khai thác mỏ phải là người đứng đầu, đề xướng và chỉ đạo toàn diện quá trình chuyển đổi số. Giám đốc mỏ không nhất thiết phải hiểu biết về công nghệ số nhưng phải thấu đáo các khâu trong toàn bộ công đoạn hoạt động khoáng sản để kết hợp với các chuyên gia tư vấn công nghệ số sẽ giúp tìm được các giải pháp tối ưu. Cho đến nay, nhiều bài toán ứng dụng số, đơn vị thường giao cho phòng công nghệ thông tin. Trong chuyển đổi số, người đứng đầu đơn vị phải có tầm nhìn chiến lược về sự phát triển mọi mặt của mỏ, công nghệ thông tin chỉ là một cấu phần công nghệ trong quá trình thực hiện.

Trên thế giới, quá trình thực hiện chuyển đổi số của các doanh nghiệp mỏ có nhiều quy trình khác nhau. Phụ thuộc vào điều kiện của từng đơn vị mỏ, một số có chiến lược chuyển đổi tổng

thể, toàn diện; trong khi một số mỏ chuyển đổi từng phần, lựa chọn bắt đầu từ các vấn đề quy mô nhỏ, ngắn hạn hoặc các vấn đề ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất, hiệu quả và lợi nhuận của đơn vị; vừa thử nghiệm vừa rút kinh nghiệm và điều chỉnh, bổ sung. Vẫn tồn tại sự nhầm lẫn giữa số hoá, ứng dụng số với chuyển đổi số. Số hoá, ứng dụng số là giải pháp để nâng cao hiệu quả và năng suất của mô hình đã có. Chuyển đổi số là thay đổi văn hoá, mô hình, quy trình vận hành và theo đó, cả sơ đồ tổ chức sản xuất của doanh nghiệp mỏ.

Trí tuệ nhân tạo (AI) là một trong những công nghệ của CMCN 4.0. Khi mạng neuron nhân tạo hoàn hảo như của bộ não con người thì các chức năng của AI như học máy, học sâu sẽ cho phép máy móc phân tích, đánh giá và ra quyết định chính xác, khách quan vì không bị chi phối bởi cảm tính của con người. Cho đến nay, trong công nghiệp khai thác mỏ, AI được tích hợp giải quyết các nội dung chính như: Thu thập và phân tích dữ liệu thăm dò, tự động hoá thiết bị, điều hành chu trình công nghệ, vận tải và an toàn mỏ. Trong điều kiện các vỉa ngày càng xuống sâu, quá trình thăm dò và xử lý dữ liệu địa chất ngày càng khó khăn. Robot tích hợp AI cho phép tự động xử lý các số liệu thăm dò, xác định chính xác các yếu tố hình học, thể tích và chất lượng của vỉa; xây dựng cơ sở dữ liệu địa chất, tự động thành lập mặt cắt địa tầng, các loại bản đồ đẳng trị, đẳng vách, đẳng độ sâu và đẳng hàm lượng. Điều đáng lưu ý là các robot xử lý số liệu chính xác hơn nhiều so với con người. Các thống kê cho thấy rằng: 60% các lỗ khoan có độ chính xác thăm dò đến 90%. Khả năng xử lý khối lượng dữ liệu lớn cho phép xác định vị trí mở mỏ tối ưu. Công nghệ AI được ứng dụng nhằm thay thế con người trong các điều kiện đặc biệt khó khăn trong mỏ. Các thiết bị máy mỏ tự động hoá đào lò, điều khiển áp lực đều tích hợp công nghệ AI. Công nghệ AI được sử dụng trong vận tải đất bóc và khoáng sản. Hệ thống ô tô tự lái giúp thống kê chính xác khối lượng đất bóc và khoáng sản, tối ưu hoá cung đường vận chuyển, minh bạch hoá thông tin và an toàn. Hệ thống ô tô tự lái đã làm giảm gần 30% nhiên liệu trong các công ty khai thác mỏ [6, 7, 8].



Internet vạn vật (IoT) là mạng lưới các đối tượng vật lý được trang bị hệ thống cảm biến, phần mềm hoặc các công nghệ khác được kết nối với internet để xử lý, phân tích, trao đổi dữ liệu và thông tin với nhau (M2M). Trong hoạt động khai thác mỏ, hàng loạt công đoạn cần có sự theo dõi, giám sát thường xuyên. IoT kết nối các phương tiện, các thiết bị công nghệ và cung cấp thông tin theo thời gian thực hỗ trợ ra các quyết định kịp thời. IoT là nhân tố bảo đảm quy trình sản xuất hiệu quả và an toàn. Mạng lưới cảm biến IoT kết nối hệ thống điện, hệ thống thông gió cung cấp hiện trạng tiêu thụ năng lượng, công suất gió, điều kiện vận hành để kịp thời điều chỉnh, bổ sung. Từ dữ liệu các cảm biến của hệ thống thiết bị có thể dự báo và cảnh báo nguy cơ hỏng hóc các hạ tầng thiết bị trong toàn bộ dây chuyền sản xuất nhằm kịp thời có các phương án bảo trì (bảo trì tiên đoán). Hệ thống cảm biến IoT từ các vị trí tiềm ẩn sạt lở, dịch chuyển đất đá kể cả trong mỏ lộ thiên và hầm lò cung cấp dữ liệu, thông tin nhằm có các giải pháp ngăn ngừa, giảm thiểu nguy cơ mất an toàn trong quá trình khai thác [12, 13]. Trong điều kiện đặc biệt khó khăn, con người luôn được lưu ý bảo vệ. Mỗi công nhân mỏ được trang bị một cảm biến IoT. Các thông số về sức khỏe và trạng thái tâm lý luôn được theo dõi và giám sát theo thời gian thực. Mặt khác, nhờ có cảm biến IoT, các hành vi gây mất an toàn của cán bộ công nhân cũng được ngăn chặn kịp thời. Một trong những yếu tố quan trọng của chuyển đổi số là hạ tầng kết nối. Trong mỏ hầm lò và mỏ lộ thiên khai thác sâu, mạng lưới 5G đã và đang được trang bị để thay thế cho các phương pháp liên lạc truyền thống. Nhờ khả năng kết nối nhanh, xử lý tức thời, mạng lưới 5G đồng hành phát triển công nghệ IoT theo thời gian thực và là nhân tố nâng cao năng suất của mỏ và an toàn.

Dữ liệu lớn (big data) là hạ tầng số quan trọng trong chuyển đổi số. Dữ liệu hoạt động mọi mặt của doanh nghiệp mỏ rất phức tạp được tạo ra qua nhiều công đoạn từ thăm dò, xây dựng, khai thác, kết thúc và bảo vệ môi trường mỏ. Dữ liệu trong doanh nghiệp mỏ đa dạng về không gian và phi không gian; có cấu trúc, bán cấu trúc và phi cấu trúc. Dữ liệu mỏ thể hiện đầy đủ đặc điểm 5V, bao gồm: (volume) dung lượng kích

thước lớn, (variety) tính đa dạng, đặc biệt là dữ liệu không cấu trúc là vấn đề lớn trong xử lý, lưu trữ và khai thác; (velocity) tốc độ lớn, liên tục của dòng dữ liệu từ rất nhiều nguồn khác nhau; (variability) sự biến thiên của dữ liệu theo không gian và thời gian là nhân tố gây khó khăn cho việc lưu trữ, xử lý và quản lý. Khối lượng lớn nhưng không phải tất cả các dữ liệu đều chính xác, tin cậy. Vì vậy, cần sàng lọc đánh giá tính xác thực (veracity) của dữ liệu. Hệ quả từ mô hình hoạt động truyền thống, dữ liệu thường bị phân tán manh mún, cát cứ ở các bộ phận phòng ban làm giảm giá trị, không phát huy được sức mạnh của dữ liệu. Trong quá trình chuyển đổi số, cơ sở dữ liệu mỏ được xây dựng, chuẩn hoá và kết nối dùng chung trong các trung tâm dữ liệu (đám mây). Với quá trình tự động hoá nhiều công đoạn sản xuất tích hợp công nghệ AI và IoT, v.v... dữ liệu mỏ có dung lượng càng lớn, tốc độ càng cao, cấu trúc và định dạng càng phức tạp [4, 11]. Xử lý dữ liệu lớn khai thác tối đa tri thức và sức mạnh của dữ liệu là nhân tố thành công của chuyển đổi số trong doanh nghiệp mỏ.

Điện toán đám mây (cloud computing) là hạ tầng của chuyển đổi số. Không có chuyển đổi số nếu không có điện toán đám mây. Tập đoàn, công ty khai thác mỏ trả tiền cho cơ sở hạ tầng và kiến thức chuyên môn cho một nhà cung cấp bên ngoài để lưu trữ và xử lý dữ liệu thay vì sử dụng tài nguyên của đơn vị (thiết bị phần cứng, phần mềm và nhân sự). Điện toán đám mây giúp tạo ra kết nối mạng bao trùm rộng khắp, tiện lợi theo yêu cầu tại một kho dùng chung cho toàn bộ tập đoàn hoặc công ty. Điện toán đám mây cho phép sử dụng công nghệ thông tin linh hoạt hơn, năng suất lao động cao hơn vì cán bộ, nhân viên có thể làm việc ở bất kỳ không gian và thời gian nào. Kinh nghiệm của thế giới cho thấy rằng: Xuyên suốt các công đoạn hoạt động khai thác mỏ, khối lượng dữ liệu là rất lớn. Điều quan trọng là cần phải lựa chọn loại trữ dữ liệu dư thừa có thể làm chậm tốc độ truyền tải (độ trễ) [3, 9]. Như một nhà máy, vận hành khai thác mỏ cần sự kết nối liên tục, tại mọi thời điểm với băng thông cao và độ trễ thấp để cho phép hoạt động đồng bộ và hài hòa bảo đảm tính liên tục, hiệu quả và an ninh mạng.



### 3. Đánh giá mức độ trưởng thành số trong doanh nghiệp nhỏ

Đánh giá mức độ trưởng thành số DMA (Digital Maturity Assessment) là nội dung quan trọng của quá trình chuyển đổi số. Mỗi đơn vị khai thác mỏ đều có mô hình tổ chức sản xuất, qui trình công nghệ, thiết bị và hệ thống dữ liệu khác nhau. Mức độ số hoá và ứng dụng số trong các cấu phần của đơn vị cũng khác nhau. Đánh giá mức độ trưởng thành số là bước kiểm kê hiện trạng thực tế theo từng giai đoạn của đơn vị. Kết quả đánh giá là cơ sở để hoạch định đúng hướng chiến lược, lộ trình chuyển đổi số và điều chỉnh bổ sung trong quá trình thực hiện. Có nhiều mô hình đánh giá chuyển đổi số DMM (Digital Maturity Model) khác nhau. Các mô hình đều có ưu nhược điểm và điều kiện ứng dụng riêng. Mỗi mô hình sử dụng bộ tiêu chí đánh giá riêng, hệ thống thang đo (cho điểm) các tiêu chí cũng khác nhau. Thang đo mức độ trưởng thành số thể hiện mức độ sẵn sàng chuyển đổi số của doanh nghiệp nhỏ. Lựa chọn mô hình với các tiêu chí và thang đo phù hợp phụ thuộc vào hiện trạng thực tế, mục tiêu và chiến lược phát triển của từng đơn vị [2].

### 4. Những rào cản trong quá trình chuyển đổi số doanh nghiệp nhỏ

Bên cạnh những thành tựu trong sản xuất kinh doanh nhờ vào chuyển đổi số kịp thời, không ít kinh nghiệm thất bại của nhiều doanh nghiệp nhỏ trên thế giới mà nguyên nhân chính là:

1. Người đứng đầu các đơn vị nhỏ không tâm huyết, không quyết tâm thực hiện chuyển đổi số. So với các lĩnh vực kinh tế khác ngoài xã hội, đa số các cán bộ, nhân viên làm việc trong ngành mỏ có tuổi đời khá cao, không còn độ nhanh nhạy, tính mạo hiểm và nhiệt huyết đổi mới;
2. Quán tính với thói quen của nền sản xuất truyền thống tạo ra sức ỳ. Thay đổi thói quen đòi hỏi sự đột phá trong nhận thức;
3. Năng lực tài chính và nhân sự trình độ cao có hạn, không thể theo đuổi đến cùng lộ trình chuyển đổi số theo chiến lược đã hoạch định;

4. Đánh giá sai mức độ trưởng thành số dẫn đến sai sót trong hoạch định chiến lược và lộ trình chuyển đổi số;

5. Sự lo ngại về dư thừa lao động, thất nghiệp do ứng dụng công nghệ hiện đại trong quá trình chuyển đổi số.

Cần lưu ý rằng: Sự ra đời ba cuộc cách mạng trong quá khứ không hề gây ra tình trạng thất nghiệp. Thất nghiệp chỉ xảy ra tại các thời kỳ suy thoái kinh tế toàn cầu. Khi tiến hành chuyển đổi số, sẽ làm giảm một số nội dung hoạt động trong mỏ, một số các ngành nghề có thể biến mất nhưng có các ngành nghề khác xuất hiện đòi hỏi trình độ cao hơn, kỹ năng số thành thạo hơn. Khi đó, hệ thống đào tạo các trường đại học, các trường dạy nghề mỏ chắc chắn không thể giáo điều với các giáo trình cũ mà đòi hỏi mô hình và chương trình giáo dục khác hơn (kể cả đào tạo lại) đáp ứng yêu cầu phát triển công nghệ mới trong hành trình chuyển đổi số quốc gia.

### Kết luận

So với các lĩnh vực hoạt động sản xuất kinh doanh khác, hành trình chuyển đổi số trong doanh nghiệp nhỏ được đánh giá là tiến triển chậm. Tuy vậy, nhờ kịp thời chuyển đổi số và ứng dụng các nền tảng công nghệ 4.0, nhiều đơn vị khai thác mỏ trên thế giới đã gặt hái được nhiều thành công, biến các mỏ khai thác truyền thống thành các mô hình mỏ thông minh (smart mining) nâng cao năng suất, hiệu quả lao động và an toàn. Mặt khác, chuyển đổi số, khai thác mỏ thông minh và trách nhiệm làm giảm thiểu tác động của quá trình khai thác mỏ đối với môi trường.

Chuyển đổi số là cơ hội cho các nước đang phát triển vì mọi ngành, mọi quốc gia đều cùng một vạch xuất phát như nhau. Chuyển đổi số tạo ra giá trị mới, giúp tăng năng suất lao động, tạo động lực tăng trưởng mới trong các ngành sản xuất, kinh doanh nói chung và công nghiệp khai thác khoáng sản nói riêng. Nhiều tập đoàn và công ty mỏ trên thế giới coi chuyển đổi số là yếu tố quyết định để thực hiện dự án “Hệ thống mỏ thông minh bền vững” SIMS (Sustainable



Intelligent Mining Systems). Chuyển đổi số là cơ hội hàng trăm năm mới có. Ngành khai thác mỏ Việt Nam cần vượt qua thử thách, tận dụng cơ hội để không bị bỏ lại đằng sau trong xu thế chung của thế giới: khai thác mỏ thông minh và trách nhiệm.

### Tài liệu tham khảo

[1]. Aaron Young & Pratt Rogers (2019), A review of digital transformation in mining, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36:683–699.

[2]. Alexander Rossmann (2018), Digital Maturity: Conceptualization and Measurement Model, 39th International Conference on Information Systems, San Francisco USA.

[3]. Chaulya S. K., Prasat G. M. (2016), Application of cloud computing technology in mining industry, Chapter in: *Sensing and monitoring technologies for mines and hazardous areas*, Elsevier (pp.351-396).

[4]. Fekete Jonatan Adam Fekete (2015), Big data in mining operation, Master's thesis, Copenhagen Business School, Denmark.

[5]. Lars Barnewold, Bernd G. Lottermoser (2020), Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry, *International Journal of Mining Science & Technology*, Volume 30, Issue 6.

[6]. Maksymowicz Adam (2019), Sztuczna inteligencja w poszukiwaniu i eksploatacji surowców, *Przegląd Geologiczny*, vol. 67, nr 4.

[7]. Marr B. (2018), The 4th Industrial revolution: How mining companies are using AI, Machine learning and robots, *Forbes*.

[8]. Mohammad Hossein Jarrahi (2018), Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making, School of Information & Library Sciences, University of North Carolina, Chapel Hill, 200 Manning Hall, Chapel Hill, NC 27599, USA.

[9]. Naim Baftiu, Veheebi Sofiu, Betim Maloku (2022), Cloud computing system application in the mining industry, *World Conference on Information System & Technology*, World CIST: Information System & Technology.

[10]. Pasche M., Lebedeva O., Shabalov M., Ivanova D. (2021), Economic and legal aspects of digital

transformation in mining industry, *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*.

[11]. Soofastaei Ali (2020), Digital transformation, Chapter in: *Data analytics applied to the mining industry*, Taylor & Francis Group.

[12]. Singh Ankit, Kuma Dheeraj, Hotzel Jurgen (2018), IoT based information and communication system for enhancing underground mines safety and productivity: Genesis, Taxonomy and Open Issues. Project: IoT and Security in Underground Mines Communication.

[13]. Swapnaneel Bhuiya (2019), IoT application in the mining industry, *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*. <http://dx.doi.org/10.21172/ijiet.123.02>.

[14]. Thomas M. Siebel (2019), *Digital transformation: Survive and thrive in an era of mass extinction*, Publisher Rosetta Books.

[15]. Vial Grigory (2019), Understanding digital transformation: A review and a research agenda. Elsevier, *The Journal of Strategic Information Systems*, volume 28, Issue 2, pages 118-144.